

Воронежский государственный технический университет
кафедра технологии машиностроения

3-я Всероссийская
научно-техническая конференция

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНИКА

сборник научных статей

19 декабря 2025 года

ТОМ 1

Воронеж – 2025

УДК 621.7
ББК 34.5
С56 ТМ-14

Организационный комитет:

Смоленцев Е.В. – председатель организационного комитета, д.т.н., профессор кафедры ТМ, Воронежский государственный технический университет;
Куц В.В. – профессор кафедры МТиО, ЮЗГУ, г.Курск заместитель председателя, д.т.н., профессор;
Горохов А.А. – к.т.н., доцент, ЗАО «Университетская книга», г.Курск;
Юхневич С.С., и.о. зав. кафедрой "Технология машиностроения", к.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет;
Жарких Е.В. – директор Орловского автодорожного техникума, к.и.н., член организационного комитета.

Современные технологии, материалы и техника: сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции (20 декабря 2025 года) (отв. ред. Смоленцев Е.В.); Воронежский государственный технический университет, в 2-х томах, Том 1 - Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга» 2025.- 343 с.

ISBN 978-5-00261-730-2

Содержание материалов конференции составляют научные статьи отечественных и зарубежных молодых ученых. Излагается теория, методология и практика научных исследований в области технологий обработки и оборудования в машиностроении.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР, специалистов в области механики, машиностроения, преподавателей, студентов и аспирантов вузов.

Материалы в сборнике публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-00261-730-2

УДК 621.7
ББК 34.5

© Воронежский государственный
технический университет, 2025
© Авторы статей, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абрамов И.В.</i> РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ АДДИТИВНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УЧАСТКОМ	8
<i>Абросимов И.П.</i> ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИГНАЛОВ	13
<i>Абросимов И.П.</i> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОННЫХ СИГНАЛОВ	16
<i>Абросимов И.П.</i> ОСОБЕННОСТИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	19
<i>Аветисян Т.В.</i> О ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	22
<i>Аветисян Т.В.</i> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАЗНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	25
<i>Аветисян Т.В.</i> О МЕТОДАХ ОЧИСТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ШУМОВ	28
<i>Акименко Е.Н., Вирабян С.А., Калиновская В.Б., Воронов А.А.</i> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ	31
<i>Андреенков А.А., Лабутин А.Н.</i> ФРЕДУЦИРОВАННЫЙ РЕГУЛЯТОР СОСТОЯНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ	34
<i>Ахромешин А.В.</i> ОПИСАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДИЛЕРСКОГО ЦЕНТРА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ	38
<i>Бабенко И.С., Рыжков В.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAD И САМ СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	42
<i>Бабкина В.И., Записоцкая О.Т., Зотов С.А., Преображенский Ю.П.</i> ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТЯХ ОБЪЕКТОВ	45
<i>Баринев А.И., Агеева Е.В.</i> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД ХГДН	49
<i>Берестнев М.М., Латипов Ш.И., Полевицков И.С.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ УЧЕБНЫХ РАБОТ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ	53
<i>Божкова А.Н., Жилейко А.А., Нестеренко Е.Д., Воронов А.А.</i> О ПРИМЕНЕНИИ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	56
<i>Болдырев А.А., Болдырев А.И., Григораиш В.В., Родюков И.Н.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА «СОРМАЙТ-2» ЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	60
<i>Болдырев А.А., Болдырев А.И., Григораиш В.В., Родюков И.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ШЛИФОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ	63
<i>Бородин А.В., Гуреев Ю.А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЙ	67
<i>Бреев А.А., Корниченко Д.В.</i> КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД	71

<i>Бутиков Н.А., Зокиров М.М., Иванов В.О., Калинин Н.А.</i> УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ	74
<i>Былинкин Д.А., Коровкина А.И.</i> ИННОВАЦИИ В ПРОКЛАДКЕ ПОДВОДНОГО ГАЗОПРОВОДА	78
<i>Васильев Н.А., Ворначева И.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ АГРЕГАТОВ ПИТАНИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК	82
<i>Ведищев С.М., Глазков Ю.Е., Трифонов Г.И., Муатаз Мохаммед А.Р.</i> ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В НАНОСИМЫХ ПОКРЫТИЯХ	87
<i>Веретенников А.Н., Гулаков Д.И., Донской Ю.В.</i> ОБ АНАЛИЗЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯ	91
<i>Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Смирнов В.М.</i> ТЕМПЕРАТУРА РАЗУПРОЧНЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ МЕДИ	94
<i>Воропаев А.Е., Малов В.Ю., Белоусова Т.В., Белоусов Н.И.</i> СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ	105
<i>Воропаев А.Е., Кулакова С.А., Белоусова Т.В., Белоусов Н.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛЬФРАМО-КОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ КАК СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	109
<i>Гаджибеков Р.М., Сарсенгалиев А.М.</i> УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРЕН ИЗ СТАЛИ 40Х МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ	112
<i>Галка А.С.</i> КОНТРОЛЛЕР «Elreha EVR3150» ДЛЯ ТОРГОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ	117
<i>Гаркавенко В.В., Гончарова Ю.А.</i> ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ	120
<i>Гаркуша А.В., Панфилова Е.О., Позорилко А.Р.</i> О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ	123
<i>Герасимова Т.В.</i> УПРАВЛЕНЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕДЕНИЕ УЧЁТА КЛИЕНТОВ	126
<i>Гончаров Д.Д., Кромина Л.А.</i> ДОМИНИРУЮЩИЕ ПАРАДИГМЫ В АРХИТЕКТУРЕ ОБЛАЧНЫХ САХ-СИСТЕМ: КОМПАРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ МОНОЛИТНОЙ И МИКРОСЕРВИСНОЙ МОДЕЛЕЙ	129
<i>Горелых М.В., Куделина Д.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	134
<i>Данилов В.А., Алябьев В.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ НА СНИЖЕНИЕ ОТКАЗОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	137
<i>Должиков Д.Р., Коровкина А.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ ЗА СЧЁТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ГОРЕНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	142
<i>Евенок К.В.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МЕТОДИК ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ	146
<i>Ельшин Н.И., Завгородний Д.Г., Засорин Ф.С.</i> ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ	150

Ефимов А.А., Медведева К.С. МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ИХ ПОСЛЕДУЮЩАЯ ТЕРМООБРАБОТКА.....	153
Ефимов А.А., Медведева К.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.....	156
Ефимов А.А., Медведева К.С. РАЗВИТИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА.....	160
Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Михальченко А.В., Котов А.П. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ЕГО ШЕРОХОВАТОСТЬ.....	163
Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Иванчура В.И., Петерин Н.К. АНАЛИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ НАПЫЛЕНИЯ.....	167
Жильцов Н.А., Коровкина А.И. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ.....	170
Зверовицков В.З., Миронычев Н.А., Казин А.А. ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВНЫМИ СРЕДАМИ.....	174
Змейкина А.А., Сунгатов И.З. ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА «АЗБУКА МОРЗЕ».....	180
Зубарева Е.О., Филатов Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 кВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ.....	183
Игнатьев А.А., Добряков В.А., Курчин Е.А. АНАЛИЗ МЕТЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОДАТЧИКОВ МНОГОКАНАЛЬНОГО БЛОКА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОТОЧНЫХ СТАНКОВ.....	185
Калуцкий Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ.....	191
Каримова А.Р., Назарова О.Б. РАЗРАБОТКА ПАНЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ (DASHBOARDS) ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИТ-ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	194
Кельмухамедов Т.М., Лукьянова А.А. ВНЕДРЕНИЕ ПРАКТИК DEVOPS И CI/CD ДЛЯ АППАРАТНЫХ И ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ.....	197
Кисель И.А., Клычев И.С., Корыстин В.Д., Кочуров В.Д. О ТРАНСПОРТНЫХ СЛУЖБАХ В КОМПАНИЯХ.....	199
Ключникова Д.А., Пономарева С.А., Шабарин Е.Д., Преображенский Ю.П. О ВОЗМОЖНОСТЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ СВЯЗИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	202
Кожевников А.Е., Рыжков В.В. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЧЕТЫРЕХДВИГАТЕЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ САМОЛЕТА.....	206
Кожевников А.Е., Ходырев Т.А., Рыжков В.В. ИННОВАЦИОННЫЕ СВАРОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ В КОНСТРУКЦИИ НОВОГО РОССИЙСКОГО ЛАЙНЕРА МС-21.....	209
Кожевников А.Е., Ходырев Т.А., Рыжков В.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТИТАНА В ОБЛАСТИ АВИАСТРОЕНИЯ.....	212

Кондратьев Д.Е., Котов А.В., Куприянов А.Н. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ РЗЛИЧНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ.....	214
Конюхова М.В., Бирулин В.И. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-35кВ.....	217
Кормилицын А.С., Перинская И.В. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТОЙКИ СТАБИЛИЗАТОРА ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ.....	220
Коровкина А.И., Орехова В.С., Серёжников Д.Г. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ) И СЖАТОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (КПГ) ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УДАЛЕННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ.....	224
Коровкина А.И., Логинова Я.В., Порядин П.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА.....	229
Костин Н.А., Колмыков В.И., Костин Н.Н. МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ Х12МФ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЕЙ В ЖИДКИХ СРЕДАХ.....	237
Котенжи Е.В., Лазутин Е.В., Гуляев Д.С., Преображенский Ю.П. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	244
Кривоусков М.М., Куликов П.В., Макаров Д.М., Платонов Д.П. О ПЕРСПЕКТИВАХ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПАНИЯМИ.....	247
Крюков Д.Б. К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ БРОНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ.....	250
Кулакова Е.М., Петров М.А., Винокурова И.М. ПОДХОДЫ МОДИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕЗА МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МОНОТОПЛИВА.....	254
Куралесин В.В. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ САД-МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	260
Куралесин В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ САД-МОДЕЛЕЙ.....	263
Куралесин В.В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В САЕ.....	266
Курочкина И.Н. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	269
Курочкина И.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	272
Лаврёнова Д.О., Шариков А.В., Зиновьев И.Е., Назарова О.Б. ПРОВЕДЕНИЕ ИТ-АУДИТА И ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ИТ-ПРОЦЕССОВ ВУЗА НА ПРИМЕРЕ ФГБОУ ВО «МГТУ ИМ. Г.И. НОСОВА».....	276
Лазарев Н.С. ЛАЗЕРНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ 30ХГСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ.....	281
Лейкин Р.И., Налетов Г.А., Ярнык А.И. О РАССМОТРЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ПРЕДПРИЯТИИ.....	287
Лесняк О.Н., Филатов Е.А. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 750 кВ.....	290

<i>Литвинов В.С., Гуреев Ю.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОИНЖЕНЕРИИ	293
<i>Логутков П.Д.</i> ВНЕДРЕНИЕ ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА C2 В ШЕЙНЫЙ ОТДЕЛ.....	297
<i>Лукьянчиков Д.Ю., Мясоедова М.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	301
<i>Луц В.М., Соколова О.А., Закамов Д.В.</i> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА D16-10%TiC	304
<i>Манжури Н.Р., Полещук Р.Р., Рязанова А.А.</i> О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОДДЕРЖКИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.....	308
<i>Маркова Г.В., Бучков А.Е.</i> О ВЫБОРЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЙ УПРУГОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА	311
<i>Медников А.С., Илларионова К.В.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ.....	313
<i>Минеева Н.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ	318
<i>Михалев О.Н., Янюшкин А.Р.</i> ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА И ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В АВИАСТРОЕНИИ И АВИАЦИИ	321
<i>Морозова В.В.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ	326
<i>Морточкин М.А.</i> CALS-ТЕХНОЛОГИЙ КАК СИСТЕМНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	330
<i>Морточкин М.А.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА БАЗЕ ГИБРИДНОГО ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА	333
<i>Морточкин М.А.</i> ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В СОВРЕМЕННОЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	336
<i>Музалевская И.С., Филонович А.В.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО РАЙОНА	340

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ АДДИТИВНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УЧАСТКОМ

Абрамов Игорь Викторович, управляющий партнер
(e-mail: abramov@globatek.ru)
АО «Глобатэк», г. Москва, Россия

Статья посвящена разработке архитектуры цифрового двойника для оперативного управления аддитивным производственным участком, ориентированной на повышение качества изделий и эффективности использования оборудования в условиях промышленного внедрения аддитивных технологий. Применение цифровых двойников в аддитивном производстве рассматривается как ключевой элемент перехода к концепции умного производства на машиностроительных предприятиях.

Ключевые слова: аддитивное производство, цифровой двойник, управление производством, киберфизическая система, Индустрия 4.0.

Современная промышленность находится в стадии активной цифровой трансформации, где ключевым фактором изменений выступает интенсивное развитие и повсеместное внедрение передовых цифровых технологий [1], при этом внешние шоки и санкционные ограничения выступают дополнительным стимулом к поиску инновационных решений и перестройке бизнес-моделей [2]. Аддитивное производство (АП), также известное как 3D-печать, играет в этом процессе особую роль, обладая значительным потенциалом для преобразования производственных процессов, логистических цепочек и бизнес-моделей в целом [3]. АП активно интегрируется в такие отрасли, как аэрокосмическая, автомобильная и медицинская, обеспечивая возможности от быстрого прототипирования до создания персонализированных изделий со сложной геометрией [4]. Однако, для достижения необходимого уровня масштабируемости, качества и предсказуемости в аддитивном производстве требуется полная цифровая интеграция всего цикла создания стоимости [5]. Такая интеграция создает предпосылки для оптимизации производственных процессов, начиная от проектирования в CAD/CAM/CAE системах и заканчивая контролем качества с использованием Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) [6]. Основным трендом становится формирование киберфизических систем, объединяющих виртуальные и физические компоненты для ускорения разработки и производства высокотехнологичной продукции [7], что согласуется с приоритетами государственной политики в области стимулирования инновационной активности предприятий [8]. Таким образом, развитие АП сегодня определяется не только самим процессом 3D-печати, но и его глубокой интеграцией с цифровыми платформами на всех этапах жизненного цикла.

В последние годы аддитивные технологии (АТ) перешли от использования преимущественно в прототипировании к применению в серийном и мелкосерийном производстве ответственных изделий, в том числе для машинострое-

ния, авиакосмической и медицинской отраслей. При этом аддитивные процессы характеризуются высокой чувствительностью к отклонениям технологических параметров, свойств материала и внешних условий, что приводит к возникновению скрытых дефектов и значительному уровню брака.

Концепция цифрового двойника (Digital Twin, DT) в промышленности предполагает создание виртуального аналога физического объекта или процесса, синхронно связанного с ним по данным и способного воспроизводить его поведение в реальном времени [9,10]. В области аддитивного производства цифровой двойник позволяет объединить данные с датчиков, модели процессов и средства анализа для мониторинга качества и активного влияния на параметры печати. Развитие киберфизических производственных систем и внедрение цифровых двойников следует рассматривать в контексте эволюции экономических систем и перехода к новым моделям организации производства и создания стоимости [11]. Цифровые двойники, интегрированные с корпоративными платформами и аналитическими контурами, становятся важным элементом целостной архитектуры цифровой трансформации бизнеса, обеспечивая связность стратегического и операционного уровней управления [12].

Аддитивный производственный участок в общем виде включает группу 3D-принтеров различного типа (например, FDM, SLM, DMLS), вспомогательное оборудование для подготовки и постобработки, а также инфраструктуру контроля и хранения материалов. Входными управляющими воздействиями являются технологические параметры процесса, включая мощность источника энергии, скорость перемещения рабочего органа, температуру рабочих зон, расход защитного газа и режимы подачи материала. К возмущающим факторам относятся вариации свойств порошка или филамента, изменения температурно-влажностных условий в помещении, вибрации от соседнего оборудования и нестабильность электропитания.

С точки зрения систем управления подобный участок представляет собой сложную киберфизическую систему, в которой значительная часть критически важных параметров традиционно недоступна для прямого измерения или анализа в режиме реального времени [13]. Отсутствие механизмов оперативной диагностики приводит к тому, что дефекты обнаруживаются на стадии контроля готового изделия, когда затраты на их устранение максимальны. Указанные особенности обуславливают необходимость разработки архитектуры цифрового двойника, обеспечивающей прозрачность процесса и возможность замыкания контура управления по измеряемым и оцениваемым показателям качества.

Разрабатываемая архитектура цифрового двойника аддитивного производственного участка имеет четырехуровневую структуру, включающую физический уровень, уровень данных и коммуникаций, ядро цифрового двойника и сервисный уровень приложений. На физическом уровне расположены 3D-принтеры и вспомогательное оборудование, оснащенные системой датчиков и исполнительных механизмов. Система измерений включает датчики температуры в зоне построения, пирометры для контроля ванны расплава, акселерометры для регистрации вибраций узлов привода, а также камеры машинного зрения для по-

слойного контроля геометрии и полноты заполнения. Исполнительные механизмы представлены блоками управления лазером или экструдером, приводами перемещения, системами регулирования газовой среды и подогрева камеры.

Уровень данных и коммуникаций реализует сбор, предварительную обработку и передачу информации от оборудования к ядру цифрового двойника с использованием современных промышленных протоколов, таких как MQTT и OPC UA. Для снижения нагрузки на сеть и уменьшения задержек применяется концепция периферийных вычислений (edge computing), при которой часть фильтрации и агрегирования данных выполняется на микроконтроллерах или промышленных шлюзах, расположенных в непосредственной близости от оборудования. Такой подход позволяет выделить значимые события, уменьшить объем передаваемых данных и повысить устойчивость системы при сетевых сбоях.

Ядро цифрового двойника включает два тесно связанных компонента: виртуальную тень и предиктивную модель процесса. Виртуальная тень отвечает за отображение текущего состояния оборудования и процесса построения: геометрия растущего изделия, позиция рабочего органа, текущие значения технологических параметров и статус подсистем. Предиктивная модель реализует анализ отклонений по отношению к плановым значениям, полученным из системы подготовки производства (CAD/CAM/CAE), а также упрощенное численное моделирование тепловых и напряженно-деформированных состояний для оценки вероятности возникновения дефектов. Взаимодействие двух компонентов позволяет сопоставлять фактические данные с эталонной траекторией и прогнозировать последствия отклонений.

На сервисном уровне размещаются приложения для операторов, технологов и систем управления производством. Панель оператора обеспечивает визуализацию ключевых параметров, отображение цифровой модели изделия в процессе печати, сигнализацию о достижении предельных значений и рекомендаций по действиям. Модуль принятия решений реализует алгоритмы формирования управляющих воздействий на основе результатов анализа предиктивной модели: изменение скорости перемещения, мощности лазера, локальной стратегии сканирования либо инициирование остановки или перезапуска процесса для предотвращения выпуска дефектной продукции.

Алгоритм оперативного управления на основе цифрового двойника реализует замкнутый контур "измерение – анализ – решение – воздействие" с временным шагом, сопоставимым с динамикой ключевых технологических параметров. На этапе измерения данные с датчиков температуры, вибраций, камер и других средств контроля поступают на уровень сбора и передаются в ядро цифрового двойника через промышленную сеть. На этапе анализа виртуальная тень синхронизируется с фактическим состоянием процесса, а предиктивная модель оценивает отклонения от плановых значений по геометрии, тепловым полям и другим критериям качества. При превышении заданных порогов формируется набор диагностических признаков, характеризующих потенциальные дефекты.

На этапе принятия решения модуль управления использует набор правил, а также, при наличии, обученные модели машинного обучения для выбора оптимальной реакции на обнаруженные отклонения [14]. Возможные варианты воздействия включают локальную корректировку режимов печати, перераспределение тепловой нагрузки, изменение параметров траектории или остановку процесса. На заключительном этапе соответствующие команды передаются на исполнительные механизмы и реализуются на физическом уровне, после чего цикл повторяется. Таким образом обеспечивается адаптивное управление процессом печати с учетом текущего состояния системы.

Оценка эффективности внедрения цифрового двойника для оперативного управления аддитивным участком может осуществляться на основе ряда количественных показателей, используемых в практике индустриального инжиниринга. Одним из ключевых интегральных индикаторов является общая эффективность оборудования (ОЭО), учитывающая доступность, производительность и качество. Ожидается, что за счет сокращения простоев, связанных с неконтролируемыми сбоями печати и доработками, значение ОЭО может быть увеличено за счет повышения доли полезного времени работы оборудования. Вторым показателем выступает уровень брака (УБ), который при внедрении механизмов раннего обнаружения и коррекции дефектов может быть снижен с двузначных значений до приемлемого диапазона, соответствующего требованиям машиностроительного производства. Оценка эффективности внедрения архитектуры цифрового двойника может базироваться не только на технических показателях (ОЭО, УБ), но и на подходах к оценке зрелости управленческих систем, адаптированных из моделей зрелости в смежных областях, таких как управление взаимоотношениями с клиентами [15].

Важной характеристикой является и время реакции системы на возникновение отклонений, которое в традиционных схемах контроля исчисляется часами или днями и связано с пост процессным контролем образцов. Использование цифрового двойника позволяет перейти к обнаружению дефектов *in situ*, то есть в процессе построения, сократив время реакции до уровня, соответствующего интервалу съема и обработки данных (секунды или доли секунды). Дополнительным эффектом является формирование цифровых паспортов изделий с полной историей параметров печати, что упрощает трассируемость и способствует внедрению риск-ориентированного подхода к управлению качеством.

Предложенная архитектура цифрового двойника аддитивного производственного участка представляет собой многослойную киберфизическую систему, обеспечивающую интеграцию физических средств измерения, промышленных коммуникаций, моделей процессов и сервисных приложений для операторов и систем управления предприятием. В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на пост процессный контроль качества, разработанное решение позволяет реализовать операционное управление технологическими параметрами на основе анализа данных в реальном времени и предиктивных моделей, и это создает предпосылки для снижения доли брака, повы-

шения эффективности использования оборудования и перехода к интеллектуальному аддитивному производству.

Список литературы

1. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровая трансформация промышленных предприятий в цифровые бизнес-экосистемы: структурные компоненты и практические аспекты реализации // *Фундаментальные исследования*. – 2024. – № 9. – С. 78-85. – EDN EFIZBI.
2. Экономические санкции как способ стимулирования инновационной активности организаций / Е. Л. Богданова, В. И. Абрамов, А. К. Титов, Д. М. Кучерявенко // *Экономика и предпринимательство*. – 2015. – № 8-1(61). – С. 667-671. – EDN VRHWVV.
3. Абрамов И. В., Абрамов В. И. Центры аддитивных технологий - драйверы цифровой трансформации экономики // *Вопросы инновационной экономики*. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 1325-1344. – EDN NMQXKW.
4. Абрамов И.В. Управление цифровым аддитивным производством: особенности и перспективы. // *Экономика и управление*. – 2023. – Т. 29, № 5. – С. 574-580. – EDN CLZVKR.
5. Глобальное состояние индустрии 3D-печати и аддитивного производства // *Wohlers Report 2024*. – 2024.
6. Ronchini A., Moretto A.M., Caniato F. Adoption of additive manufacturing technology: drivers, barriers and impacts on upstream supply chain design // *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. – 2023. V.53. - N 4. - P.532-554. DOI 10.1108/IJPDLM-12-2021-0541
7. Концептуальная модель цифрового завода производственного предприятия аэрокосмической отрасли / И. С. Ткаченко, Д. В. Антипов, А. В. Куприянов [и др.] // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2023. – Т. 25, № 3(113). – С. 90-106. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-3-90-106. – EDN LGNIZM.
8. Государственное регулирование инновационной активности организаций / В. И. Абрамов, В. В. Асаул, С. Г. Вагин, К. С. Николаева // *Вестник Самарского государственного экономического университета*. – 2014. – № 11(121). – С. 91-94. – EDN TJSXDR.
9. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. – 2014.
10. Жарасов Б.С., Абрамов В.И. Цифровые двойники в управлении производством: принципы создания, проблемы внедрения и перспективы развития. // *Современная экономика: проблемы и решения*. – 2024. – № 6(174). – С. 80-94. – DOI 10.17308/meps/2078-9017/2024/6/80-94. – EDN WCDNVP.
11. Развитие экономических систем: теория, методология, практика : Монография (научное издание) / под редакцией Б. Н. Герасимова. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – 275 с. – ISBN 978-5-00196-308-0.
12. Абрамов В. И. Цифровая трансформация бизнеса. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2025. – 290 с. – ISBN 978-5-00261-555-1.
13. Хомяков Н.В. Концепция виртуального контроля качества деталей при аддитивном производстве на основе цифрового двойника // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2024. Т. 22. №2. С. 163-169. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-163-169>
14. Гордеев В. В., Столяров А.Д., Абрамов В.И. Роль цифровых двойников в управлении производством и базовые принципы их создания // *Экономика и управление: теория и практика*. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 29-39. – EDN FOTNAH.
15. Абрамов В. И., Чуркин Д. А. Оценка уровня зрелости системы управления взаимоотношениями с клиентами // *Вестник университета*. – 2022. – № 12. – С. 5–13. – DOI 10.26425/1816-4277-2022-12-5-13. – EDN FSACWD.

*Abramov Igor Viktorovich, managing partner
JSC "Globatek", Moscow, Russia*

DEVELOPMENT OF DIGITAL TWIN ARCHITECTURE

FOR OPERATIONAL MANAGEMENT OF ADDITIVE MANUFACTURING SITE

Abstract. The article is devoted to the development of a digital twin architecture for the operational management of an additive manufacturing site, aimed at improving the quality of products and the efficiency of equipment use in the context of the industrial implementation of additive technologies. The use of digital twins in additive manufacturing is seen as a key element in the transition to the concept of smart production in mechanical engineering enterprises.

Keywords: additive manufacturing, digital twin, production management, cyber-physical system, Industry 4.0.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИГНАЛОВ

Абросимов Иван Петрович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", г.Воронеж, Россия

В статье дается анализ особенностей обработке сигналов в системах связи и обработке информации.

Ключевые слова: сигнал, обработка, анализ.

Часто при обработке реальных данных наблюдается ситуация, когда исследуемый сигнал представляет собой сумму нескольких отдельных составляющих. Подобные элементы возникают благодаря характерным особенностям компонентов [1] изучаемых объектов. Для выявления и количественного определения каждого компонента в результирующем сигнале необходимо обладать сведениями об параметрах этих составляющих. К примеру, важно знать положение их пиков, величину амплитуды, среднюю ширину и другие характеристики [2].

Это позволяет провести анализ и разделить сигналы, определяя таким образом параметры отдельных элементов. Процесс анализа и разделения основан на принципах комплексного выделения и предполагает использование методов аппроксимации кривых. Основным допущением является возможность представления любого элементарного сигнала посредством аналитической функции [3].

Предлагаемая модель позволяет создавать и объединять различные функции, представляя их через характеристики базового сигнала. Для каждого сигнала можно задать свои параметры, формирующие индивидуальный профиль [4].

Перед исследователями стоят задачи по снижению различий между искусственно создаваемыми и реальными сигналами. На основе оптимальных параметров, полученных при минимизации этих отличий, выполняется анализ и декомпозиция общего сигнала [5].

Для эффективного разделения сигналов с использованием вычислительных ресурсов целесообразно применять методы нелинейной оптимизации, включая стратегии прямого поиска параметров синтезированных сигналов [6].

Последующее сравнение параметров с оригинальным сигналом выявляет существующие расхождения и определяет направления корректировки для дальнейшего сокращения этих расхождений [7].

Обычно предопределённые стратегии применяют на начальных стадиях алгоритмов оптимизации. При поиске минимального отклонения они демонстрируют неплохую результативность. Однако существенным ограничением служит невысокая скорость достижения решения. Чтобы определить вектор движения к наименьшему отклонению, целесообразно использовать метод Гаусса-Ньютона и методы, основанные на градиентах. Эти подходы отличаются высокой скоростью сближения [8]. Тем не менее, критически важен грамотный выбор исходных значений для гарантированного поиска глобального экстремума. Когда количество локальных максимумов и оцениваемых параметров значительны, градиентные методы могут оказаться предпочтительнее метода Гаусса-Ньютона. Поэтому, при практической реализации, рекомендуется учитывать сильные стороны каждого подхода [9].

Первоначально применяются методы прямого поиска. Затем, для повышения эффективности процесса, переходят к использованию градиентных подходов. Время расчетов в обоих случаях зависит от формы, количества и степени пересечения исходных сигналов. При разделении сигналов возникает необходимость оценивать параметры элементарных составляющих, такие как форма и средняя ширина. Эта форма может определяться с помощью математических формул. Например, при анализе оптических сигналов она определяется волновым числом и описывается либо гауссовой, либо лоренцевской функцией. Нестабильность характеристик измерения приводит к появлению шумов [10], которые могут быть скорректированы посредством аппроксимации линейной функцией.

При анализе структуры базовых сигналов часто используют гауссову и лоренцевскую функции. Увеличение количества взаимодействующих факторов приводит к возрастанию расхождения между первоначальными и фактическими значениями этих самых факторов. Определение формы сигналов состоит из нескольких шагов.

1. Сначала рассчитывается вторая производная сигнала.
2. Затем определяются моменты, где третья производная равна нулю.
3. Для второго этапа выбираются конкретные точки, в которых вторая производная имеет отрицательное минимальное значение. Эти найденные точки интерпретируются как позиции максимальных значений.
4. Определяют дистанцию между позициями максимальных значений и соседними точками с максимальной второй производной, рассматривая сигнал как слева, так и справа от этих позиций.
5. Вычисляют наблюдаемые показатели для каждой из выявленных позиций максимального значения.

6. На заключительном этапе создаётся модель сигнала на основе полученных исходных данных.

Список литературы

1. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
2. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
3. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
4. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
5. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
6. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
7. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
8. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
9. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
10. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
11. Расчёт вероятности возникновения коллизий при использовании алгоритма контроля подлинности сообщений/ Таныгин М.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2-2. С. 179-182.
12. Определение погрешностей при использовании низкочастотной аппаратуры в электроразведке на постоянном токе/ Шкуратник В.Л., Таныгин О.Ф., Таныгин М.О.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 142-144.
13. Верификация данных, передаваемых между устройством и программным обеспечением/ Таныгин М.О.// Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2010. № 2. С. 49-52.
14. Об одном методе контроля целостности передаваемой поблоково информации/ Таныгин М.О., Алшааи Х.Я., Алтухова В.А.// Телекоммуникации. 2019. № 3. С. 12-21.
15. Теоретические основы идентификации источников информации, передаваемой блоками ограниченного размера/ Таныгин М.О.// Курск, 2020.
16. Организация системы сетевого мониторинга и оценки состояния информационной безопасности объекта/ Марухленко А.Л., Селезнёв К.Д., Таныгин М.О., Марухленко Л.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23. № 1. С. 118-129.

Ambrosimov Ivan Petrovich, specialist

Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh, Russia

FEATURES OF ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING

Annotation: The article analyzes the features of signal processing in communication and information processing systems.

Key words: signal, processing, analysis.

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА
ЭЛЕКТРОННЫХ СИГНАЛОВ**

Амбросимов Иван Петрович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", г.Воронеж, Россия

В статье дается анализ возможностей применения аппаратуры для обработки сигналов в системах связи.

Ключевые слова: сигнал, обработка, анализ.

При изучении систем передачи информации с тем, чтобы были определены соответствующие закономерности, требуется опираться на соответствующие экспериментальные методы. Должна быть разработана измерительная аппаратура, а исследователи стремятся к тому, чтобы открыть что-то новое. Новые явления обнаруживаются на основе аппаратуры, рассматриваемой в виде специального инструмента [1]. Аппаратура, которая не имеет аналогов среди других измерительных средств, ведёт к возможностям захвата лидерства исследователями [2].

Экспериментаторы должны быть упорными, стремящимися к достижению поставленных целей. Анализ истории экспериментальных исследований показывает, что на первых этапах объекты разработок в телекоммуникационной сфере были довольно простыми [3]. Постепенно объекты усложнялись и для их описания стало требоваться всё большее число характеристики и параметров [4]. Относительно точности также стали ужесточаться требования. В этой связи разработчики стали изготавливать, помимо того, что проводились фундаментальные изыскания, различные опытные образцы измерительной техники [5].

Она позволяла осуществлять относительно экспериментальных результатов в тщательную проверку. Требования экспериментаторов непрерывно возрастали, что определило потребность при разработке измерительной аппаратуры в подготовке инженеров и исследователей. Аппаратура для измерений составляла основу технических средств, чтобы были исследованы новые явления. Для работы с такой аппаратурой возникли новые профессии.

Укажем некоторые ключевые особенности, которые характерны для аппаратуры подобного типа.

- не всегда конструкция являлась идеальной, но чувствительность, которую она позволяет достигать больше в сравнении с обычной аппаратурой.

- разработчики не стремятся к тому, чтобы обеспечить высокую стоимость технических средств [6] к воздействию внешней среды. Связано это с тем, что она будет применяться, большей частью, в разных лабораториях.

- параметров, рассматриваемых в исследованиях, довольно много, они регулируются, технические средства применяются широким образом.

Указанные условия ведут к гибкости аппаратуры [7] для разных экспериментальных условий.

- Аппаратуру, чтобы были достигнуты цели, эксплуатируют интенсивным способом.

Там исследователь имеет хороший опыт и знания с точки зрения применения аппаратуры.

- Аппаратура [8] выпускается в большинстве случаев мелкими партиями.

Это ведет к увеличению как времени, так и усилий при её создании.

- Пользователи и изготовители аппаратуры взаимодействуют.

Тогда технические средства нуждаются в авторском сопровождении.

Различные измерения осуществляются на базе сложной аппаратуры [9], которую не всегда можно было рассматривать как надежную с точки зрения конструкции. Исследователи должны были иметь при работе соответствующую подготовку.

По мере развития разных областей информатики [10] наблюдалась упрощение в средствах аппаратуры, повышалась её надежность, возникали возможности для того, что бы не только проводить фундаментальные исследования. Традиционные измерительные приборы могут быть рассмотрены, как базирующиеся на прототипах - средствах аппаратуры, позволяющих вести разные измерения.

С точки зрения обеспечения высокого уровня преподавания дисциплин информационного профиля необходимо проводить, опираясь на современную экспериментальную базу. Именно тогда будут выявляться индивидуальные способности среди обучающихся.

Аппаратура, которую применяли для исследований в экспериментальной информатике в дальнейшем была преобразована в измерительные приборы, которые традиционным образом используются в настоящее время, чтобы вести промышленные измерения.

Если применяются нетрадиционные принципы в аппаратуре, то с ней могут работать не рядовые сотрудники, а подготовленные специалисты. Аппаратура рассматривается всё ещё в виде средства, в таких случаях, для поддержки различных видов измерений.

Список литературы

1. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.

2. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.

3. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).

4. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).

5. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

6. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).

7. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

8. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).

9. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).

10. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.

11. Патент на полезную модель № 26142 U1 Российская Федерация, МПК G05B 19/18, G05B 17/02. Система автоматического управления следящими приводами оборудования с ЧПУ : № 2001106392/20 : заявл. 06.03.2001 : опубл. 10.11.2002 / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь ; заявитель Курский государственный технический университет. – EDN ZVGMAH.

12. Беседин, А. В. Система компьютерной поддержки технологического проектирования механической обработки с прогнозированием точности технологических процессов / А. В. Беседин, В. С. Титов // Медико-экологические информационные технологии - 2000 : Третья международная научно-техническая конференция, Курск, 23–24 мая 2000 года / Ответственный редактор: Н.А.Кореневский. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2000. – С. 82-84. – EDN WUJFFP.

13. Сеть абонентского доступа с использованием технологий Ethernet FTTH, PON / А. М. Белицкий, Р. Р. Иваненко, А. В. Беседин, А. Я. Клочков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2017. – № 1(70). – С. 8-15. – DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-8-15. – EDN YLZFTZ.

14. Титов, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом обработки деталей методами нечеткой логики / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике : Региональный сборник научных трудов. Том Выпуск 4. – Курск : Курский государственный технический университет, 2002. – С. 163-256. – EDN SIPXBT.

15. Титов, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом обработки деталей методами нечеткой логики / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике : Региональный сборник научных

трудов.. Том Выпуск 4. – Курск : Курский государственный технический университет, 2002. – С. 163-256. – EDN SIPXBT.

Abrosimov Ivan Petrovich, specialist

Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh, Russia

FEATURES OF ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING

Annotation: *The article analyzes the features of signal processing in communication and information processing systems.*

Key words: *signal, processing, analysis.*

ОСОБЕННОСТИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Абросимов Иван Петрович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", г.Воронеж, Россия

В статье рассматриваются некоторые характеристики хранения данных в информационно-телекоммуникационных системах.

Ключевые слова: система, информация, хранение.

Современные организации часто имеют сложные информационные системы, включающие различные бизнес-процессы, такие как управление поставками, административные функции и ведение финансовой отчетности. Количество производимых товаров нередко достигает значительных размеров, что непосредственно отражается на количестве документов, используемых в логистических процессах [1]. Оценка этого количества зависит от ассортимента продукции, разнообразия исходного сырья, числа клиентов, получающих товары за определенный период времени, а также от структуры филиальной сети предприятия. В процессе работы база данных постепенно расширяется, аккумулируя подробную информацию. За несколько лет она может вырасти до десятков гигабайт [2]. При этом необходимо оперативно решать ряд задач, включая поиск по ключевым параметрам, ввод новых данных и экспорт информации при ограниченном объеме доступных ресурсов.

Длительность решения этих вопросов варьируется от секунд до нескольких минут. Существует также категория задач, связанных с анализом обширных объемов информации.

Обработка таких массивов данных обычно занимает год, включая сопоставление показателей текущего периода с результатами за прошлый год.

Решение подобных задач нередко требует значительных временных затрат – нескольких часов.

Причина кроется в том, что информация поступает в различных форматах и часто не структурирована [3].

Этот аспект особенно проявляется в организациях с многочисленными подразделениями.

Запросы и процедуры утверждения могут растягиваться на продолжительное время.

Как следствие, возникает необходимость создания сводного отчета [4].

Поэтому важно работать над совершенствованием информационных систем, используемых для анализа данных [5], дабы обеспечить эффективное принятие управленческих решений.

Какие методы целесообразно использовать для решения данной проблемы?

Существуют два основных подхода.

Итоговые документы планируется объединять в группы в определенные отрезки времени. Такая группировка происходит согласно типам выполненных действий, особенностям произведенной продукции и другим критериям [6]. Повышение эффективности обеспечится возможностью поиска непосредственно по конкретным видам документов. Альтернативный метод предполагает получение сводных данных за установленный период [7], используя специально организованную базу данных, где могут использоваться технологии OLAP [8]. Исследования демонстрируют, что первая методика позволяет снизить расходы – и временные, и требуемые усилия. Некоторые компании уже используют этот способ, однако им следует учитывать, что даже при небольшом интервале времени может образоваться значительное количество транзакций. Следовательно, ресурсы будут расходоваться на повторное выполнение аналогичных процедур.

Этот метод представляется более практичным, поскольку исключает необходимость назначать ответственного за конкретный набор документов. Какие действия необходимы для его внедрения? Реализация этого подхода требует выполнения нескольких этапов:

1. Создание изолированной базы данных для проведения анализа.
 2. Опрос пользователей для определения потребностей в данных.
 3. Анализ информации и классификация данных в соответствии с политиками компании.
 4. Установление периода актуальности данных [9].
 5. Формулировка требований к извлечению данных, учитывающих текущую структуру существующей базы данных.
 6. Разработка необходимых процедур для работы с полученными данными [10].
 7. Оценка объема результирующей таблицы и миграция данных, обычно осуществляемая в начале года.
 8. Полученные сведения анализируются с точки зрения их надёжности согласно установленным параметрам.
- Все этапы направлены на достижение конкретных целей. Для системы хранения данных выполняется предварительная обработка информации. Она создается, руководствуясь следующими положениями:
1. Решение задач всегда учитывает специфику предметной области.
 2. Элементы системы тесно связаны между собой.

3. Состояние элементов не может быть изменено произвольно.

4. Функционирование каждого элемента обусловлено временным ходом событий в системе.

Чтобы сделать базу данных пригодной для использования, требуется постоянное совершенствование.

Отделы компании обязаны предоставить сведения об отрезках времени и типах информации, применяемых в эти периоды.

Это позволит установить наименьший период, необходимый для проведения анализа – например, месячный цикл. Важно идентифицировать таблицы с наибольшим объемом накопленных данных.

Имея эту информацию, возможно выполнить объединение данных по транзакциям и документам, что исключит излишнюю обработку. Сбор данных следует осуществлять исходя из процессов агрегирования, а не опираясь на первоначальные источники.

Список литературы

1. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).

2. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.

3. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.

4. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).

5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).

6. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

7. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

8. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).

9. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.

10. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).

11. Tomakova, R. A. Comparative Analysis of Segmentation Efficiency Method the Halfont Image Based on the Selection of Priority Direction of Machining Segment Boundaries / R. A.

Tomakova, S. A. Filist, A. I. Pykhtin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11, No. 5. – P. 3199-3206. – EDN VRQGFJ.

12. Потапенко, А. М. Приложение теории графов к исследованию сетевых структур в телекоммуникациях : учебное пособие / А. М. Потапенко, Р. А. Томакова, М. В. Томаков ; А. М. Потапенко, Р. А. Томакова, М. В. Томаков ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Курский гос. технический ун-т". – Курск : Курский гос. технический ун-т, 2010. – 147 с. – ISBN 978-5-7681-0547-1. – EDN QMUUBF.

13. Универсальные сетевые структуры в задачах классификации многомерных данных / Р. А. Томакова, А. А. Насер, О. В. Шаталова, Е. В. Рудакова // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 8. – С. 48-49. – EDN PCNOTB.

14. Hybrid Intelligent Models for Chest X-Ray Image Segmentation / S. A. Filist, R. A. Tomakova, S. V. Degtyarev, A. F. Rybochkin // Biomedical Engineering. – 2018. – Vol. 51, No. 5. – P. 358-363. – DOI 10.1007/s10527-018-9748-5. – EDN XYBBCP.

15. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложнотруктурируемых растровых полутоновых изображений / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, Р. А. Томакова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 3(32). – С. 44-63. – EDN QPNAYM.

Abrosimov Ivan Petrovich, specialist

Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh, Russia

FEATURES OF DATA STORAGE IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Annotation: The article discusses some characteristics of data storage in information and telecommunication systems.

Key words: system, information, storage.

О ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель,

(e-mail: tatyana21091999@mail.ru)

Колледж Воронежского института высоких технологий,

г. Воронеж, Россия

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж, Россия

Статья посвящена анализу возможностей формирования интеллектуальных информационных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, информационная система.

Современное применение искусственного интеллекта на предприятиях всё чаще опирается на концепцию интеллектуальных агентов. Пользователи формулируют конкретные задачи, и для их решения возможно создание как программного обеспечения, так и специализированного оборудования, выступающего в роли такого агента [1]. Агенты отличаются от обычных программ благодаря ряду особенностей:

-Автономность: они способны функционировать независимо от вмешательства пользователя, осуществляя мониторинг своего внутреннего состояния.

-Социальное взаимодействие: позволяют другим агентам обмениваться информацией и сотрудничать друг с другом.

-Реактивность: адаптируются к изменениям во внешней среде, реагируя на них соответствующим образом.

-Активность: обладают способностью самостоятельно определять цели и предпринимать логичные шаги для их достижения.

Агент обладает фундаментальной информационной базой [2], включающей сведения об окружении, других агентах и самом себе. В этой базе присутствуют и убеждения – динамически меняющиеся элементы, отражающие текущее состояние знаний. Агентом управляют цели, определяющие стремление к определенным результатам. Важным аспектом деятельности агента являются желания, побуждающие его добиваться конкретных ситуаций или состояний [3]. Кроме того, агент может принимать на себя обязательства, вытекающие из запросов или указаний от других агентов. Намерения агента формируются под влиянием этих желаний или обязательств и не всегда связаны с непосредственным выполнением задач.

Применение агентов открывает значительные перспективы для решения реальных проблем с использованием инструментов [4] искусственного интеллекта. Анализ сложных поведенческих моделей становится возможен благодаря внедрению модели простого поведения.

Разделение сложных задач на более мелкие позволяет рассматривать эти последние как отдельные элементы, которые могут выполняться одновременно [5]. Такой метод оказывается особенно эффективным во многих ситуациях, например, при проведении экспериментов или поиске информации. Кроме того, он предоставляет возможности для планирования, создания графиков и автоматизации управления сложными системами [6]. Автоматическое создание технической документации становится возможным благодаря использованию независимых интеллектуальных агентов. Однако, каким образом эти агенты создаются? Операционные системы могут служить базой для разработки, хотя разработчики предпочитают использовать специализированные платформы [7], которые можно разделить на три основные категории. Первая категория включает промышленные платформы, отличающиеся высокой степенью интеграции, возможностью масштабирования и надежностью.

Искусственный интеллект предоставляет возможности для применения сложных алгоритмов, включая моделирование [8]. Анализу подвергаются различные типы систем – от экономических до биологических [9], а также процессы создания анимации. Эти платформы оснащены средствами анализа взаимодействий между элементами и их визуализации. Относится к области робототехники, компьютерных игр и виртуальных сред. Часто эти системы строятся как сочетание предыдущих подходов. Действия выполняются в трехмерном пространстве, где агент взаимодействует с окружающей средой и другими агентами. Современные разработки демонстрируют высокую степень прибли-

женности к реальности. Необходимо определение характеристик многоагентных систем, инструментов [10] и методологий для оценки эффективности этих платформ. Язык программирования Java служит фундаментом для популярных агентных сред, включая Cougaar и JADE. Эти платформы активно используются в индустрии, в частности, при создании телекоммуникационных решений, исследовании распределенных систем и решении других задач. Ключевым преимуществом этих систем является открытый доступ и наличие подробной документации. Благодаря возможностям сетевого взаимодействия, агенты способны объединяться в общие многоагентные структуры.

Список литературы

1. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
2. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
3. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
4. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
9. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
10. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
11. Ватутин, Э. И. Выявление изоморфных вхождений R-выражений при построении параллельных алгоритмов логического управления / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов, В. С. Титов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 2. – С. 37-45. – EDN JZWZROH.
12. Ватутин, Э. И. Эвристический подход к распознаванию изоморфизма графов / Э. И. Ватутин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации : сборник материалов XII Международной научно-технической конференции, Курск, 12–16 мая 2015 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2015. – С. 80-83. – EDN TWIVZT.

13. Ватутин, Э. И. Определение степени параллелизма параллельной граф-схемы алгоритма / Э. И. Ватутин // Интеллектуальные и информационные системы : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 18–19 ноября 2009 года / Составители сборника: В.С. Карпов; А.С. Новиков. – Тула: Тульский государственный университет, 2009. – С. 24–26. – EDN SYYAIZ.

14. Ватутин, Э. И. Построение блоков разбиения в задаче декомпозиции параллельных управляющих алгоритмов / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов // Материалы и упрочняющие технологии - 2003 : Сборник материалов X юбилейной Российской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 40-летию образования Курского государственного технического университета, Курск, 15–17 декабря 2003 года. Том Часть 2. – Курск: Курский государственный технический университет, 2003. – С. 38–42. – EDN STWHSP.

15. Учет алгоритмических особенностей задачи при генерации диагональных латинских квадратов / Э. И. Ватутин, А. Д. Журавлев, О. С. Заикин, В. С. Титов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 2(65). – С. 46–59. – EDN WWRKCL.

Avetisyan Tatyana Vladimirovna, lecturer,

College of the Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

ON THE FORMATION OF INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS IN ORGANISATIONS

Annotation: The article is devoted to the analysis of the possibilities of forming intelligent information systems.

Key words: artificial intelligence, information system.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАЗНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель,

(e-mail: tatyana21091999@mail.ru)

Колледж Воронежского института высоких технологий,

г. Воронеж, Россия

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж, Россия

В статье обсуждаются вопросы применения автоматизированных методов в ходе проведения различных исследований.

Ключевые слова: автоматизация, информация, исследование.

Идея использования автоматизации известна уже продолжительное время. Первоначально специалисты изучали возможности её внедрения в производственные процессы, а также в области механизации. Сегодня же автоматизация охватывает самые разные организации и предприятия. В академической среде автоматизация научных исследований чаще всего связана с оптимизацией процессов обработки, систематизации и фиксации информации [1], а также проведения вычислений.

Ранее автоматизацию активно использовали для контроля за технологическими процессами. Управление само по себе не представляет большой сложности, однако стремление к стандартизации и улучшению качества продукции позволяло значительно экономить трудовые ресурсы. В настоящее время полная

автоматизация [2] наблюдается не только на цехах промышленных предприятий, но и на отдельных рабочих местах в сложных системах производства.

Для крупных предприятий требуется ограниченное число сотрудников. Автоматизация обычно начинается с детального анализа существующих методов управления, после чего выявляются ключевые этапы технологических процессов и обеспечивается высокая эффективность благодаря интеграции элементов цифрового контроля [3]. Комплектация таких систем включает в себя измерительные приборы, сенсоры и другие компьютерные системы поддержки.

При проектировании систем автоматизации важно уделить особое внимание отделам, отвечающим за контроль качества выпускаемой продукции. Для этих целей используют широкий спектр оборудования – от высокоточных датчиков [4] до простых аналитических устройств. Так, например, персональные компьютеры активно используются и будут продолжать использоваться в производственных лабораториях для проведения различных анализов.

Для проведения исследовательских работ часто необходимо оборудование [5], использующее громоздкое специализированное оснащение для получения, контроля и анализа информации [6]. В таких случаях важна возможность одновременного быстрого сбора большого объема данных, который должен обрабатываться в режиме реального времени. Автоматизированные научные установки классифицируются следующим образом:

Самостоятельные узкоспециализированные комплексы (схема представлена на рис. 1).

Централизованные системы [7].

Эти системы обладают рядом преимуществ:

-Оптимальное использование вычислительных мощностей [8].

-Рациональное распределение ресурсов.

-Применение единого центра для обработки данных.

Большие объемы разнообразной информации [9] могут храниться и визуализироваться с использованием различных информационных носителей.

Благодаря значительным ресурсам, доступным для хранения и передачи информации, появляется шанс эффективно управлять файлами, объединять данные из различных источников и проводить их обработку. Это позволяет искать информацию в экспериментальных данных, изучать структуры, создавать модели и многое другое.

Измерительное оборудование [10] может располагаться непосредственно рядом с компьютерами, однако иногда требуется размещение оборудования в отдаленных локациях. Научное оборудование имеет свои специфические особенности. При разработке операционных систем для централизованных систем приоритет отдается поддержке работы в реальном времени, а не максимальной производительности.



Рис. 1. Иллюстрация автономной специализированной системы

Список литературы

1. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
5. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
7. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
8. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
9. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
10. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

Avetisyan Tatyana Vladimirovna, lecturer,

College of the Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

ON THE USE OF AUTOMATED APPROACHES IN CONDUCTING VARIOUS STUDIES IN ORGANISATIONS

Annotation: The article discusses the use of automated methods in the course of various studies.

Key words: automation, information, research.

О МЕТОДАХ ОЧИСТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ШУМОВ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель,

(e-mail: tatyana21091999@mail.ru)

Колледж Воронежского института высоких технологий,

г. Воронеж, Россия

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж, Россия

В статье обсуждаются вопросы применения методов для очистки информации от шумов.

Ключевые слова: шум, информация, измерение.

При работе с элементами измерительных приборов ученые регистрируют постоянное изменение временных функций – это и есть получаемые сигналы различного типа (например, электрические или световые).

Помимо целевой информации от объекта измерения, в данные могут проникать посторонние элементы, которые принято считать ошибочными сигналами, не связанными с измеряемым параметром. Измерительные устройства подвержены нестабильности характеристик [1], вызванной изменениями внешних условий, таких как давление или температура, а также другими факторами. Важно помнить о влиянии ошибок, возникающих при дискретизации анализируемых сигналов [2].

На практике сложно отделить нужный сигнал от общего шума после проведения измерений. Причина кроется в большом количестве помех, присутствующих в экспериментальных данных [3].

Для удаления нежелательных помех возможно использование данных об особенностях шума и полезного сигнала. Оценка соотношения между ними позволяет выявить вклад шумовых компонентов. Таким образом, повышение отношения сигнал/шум [4] способствует разработке способов подавления помех.

Однако применение таких методик сопряжено с некоторыми сложностями. Неправильный выбор метода, не учитывающего специфику шума, может привести к искажению значимых частей сигнала, несмотря на удаление самого шума.

Поэтому исследователям необходимо тщательно анализировать параметры доступных методов и области их применения. Важно выбирать наиболее подходящие стратегии для минимизации влияния шума [5] в зависимости от конкретной задачи измерения.

В практических приложениях широко используются электронные аналоговые фильтры для снижения уровня шума [6] в режиме реального времени.

Существуют методики компьютерной обработки аналоговых сигналов, зафиксированных в определенные моменты времени. Эти сигналы конвертируются в цифровые коды и сохраняются в компьютерной памяти.

При работе с аналоговыми фильтрами можно достичь хороших показателей, даже при анализе несложных конструкций. Однако это возможно лишь при

значительном различии между частотными свойствами шума и полезного сигнала [7].

В то же время, корректировка параметров таких фильтров в этих условиях затруднена при необходимости адаптировать их к изменяющимся характеристикам сигналов и помех.

Использование алгоритмов цифровой обработки позволяет легко изменять параметры фильтров [8]. Часто эта обработка основывается на данных, предварительно накопленных и сохраненных в памяти.

Это позволяет проанализировать эффективность различных методов обработки данных и выбрать наиболее подходящий, сочетающий адаптивность и широкую применимость. К числу автоматизированных подходов относятся сглаживание и интегрированное усреднение [9]. Эти методы обладают рядом преимуществ:

Они не зависят от свойств анализируемых сигналов. Они не подвержены влиянию особенностей удаляемого шума [10].

Принцип работы сглаживания схож с принципами аналоговой фильтрации. Если обрабатываемый сигнал единственный, то сглаживание будет работать эффективно, при условии различия частотных характеристик сигнала и шума. Сглаживание может осуществляться разными способами. Одним из таких способов является метод скользящего среднего, при котором данные обрабатываются непосредственно по мере их поступления. Кроме того, широко используются методы сглаживания, основанные на преобразовании в частотную область.

Эти методы основаны на использовании преобразования Фурье. После обработки данных они переводятся в область частот. Указанный подход широко распространен среди исследователей и позволяет адаптироваться к различным условиям. Часто используется фильтрация по нижним частотам для получения более плавных сигналов. Такие сигналы обычно принадлежат к низкочастотному диапазону и подвержены воздействию нерегулярного шума с высокой частотой.

Применение интегрального усреднения предполагает многократное измерение сигнала, после чего вычисляются средние значения по результатам каждой записи. Это особенно эффективно, когда характеристики частоты сигнала и шума схожи. Ключевым требованием для реализации этого метода является возможность повторного проведения измерений.

При работе с методами скользящего среднего важную роль играет выбор оптимальных весовых коэффициентов. В идеале необходимо заранее знать свойства как полезного сигнала, так и помех. Весовая функция подбирается с целью точного восстановления исходного сигнала без внесения ошибок. Часто предпочтение отдается симметричным весовым функциям. Если анализируемый шум не слишком сложен, можно использовать прямоугольную функцию. Для более сложных сигналов целесообразно применять полиномы, позволяющие их аппроксимировать. Из данных сигналов возможно извлекать ценные сведения; например, часто используется автоматическое определение точек максимально-

го значения. Местоположение и величина этих максимумов обычно присутствуют в наблюдаемых сигналах.

Список литературы

1. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
5. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
7. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
8. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
9. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
10. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
11. Ватутин, Э. И. Выявление изоморфных вхождений R-выражений при построении параллельных алгоритмов логического управления / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов, В. С. Титов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 2. – С. 37-45. – EDN JWZROH.
12. Ватутин, Э. И. Эвристический подход к распознаванию изоморфизма графов / Э. И. Ватутин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации : сборник материалов XII Международной научно-технической конференции, Курск, 12–16 мая 2015 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2015. – С. 80-83. – EDN TWIVZT.
13. Ватутин, Э. И. Определение степени параллелизма параллельной граф-схемы алгоритма / Э. И. Ватутин // Интеллектуальные и информационные системы : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 18–19 ноября 2009 года / Составители сборника: В.С. Карпов; А.С. Новиков. – Тула: Тульский государственный университет, 2009. – С. 24-26. – EDN SYIAIZ.
14. Ватутин, Э. И. Построение блоков разбиения в задаче декомпозиции параллельных управляющих алгоритмов / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов // Материалы и укрепляющие технологии - 2003 : Сборник материалов X юбилейной Российской научно-технической конферен-

ции с международным участием, посвященной 40-летию образования Курского государственного технического университета, Курск, 15–17 декабря 2003 года. Том Часть 2. – Курск: Курский государственный технический университет, 2003. – С. 38–42. – EDN STWHSP.

15. Учет алгоритмических особенностей задачи при генерации диагональных латинских квадратов / Э. И. Ватулин, А. Д. Журавлев, О. С. Заикин, В. С. Титов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 2(65). – С. 46–59. – EDN WWRKCL.

Avetisyan Tatyana Vladimirovna, lecturer,

College of the Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

ON METHODS OF CLEARING INFORMATION FROM NOISE

Annotation: The article discusses the use of methods for cleaning information from noise.

Key words: noise, information, measurement.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

Акименко Елизавета Николаевна, студент

Вирабян Спартак Айкович, студент

Калиновская Варвара Борисовна, студент

Воронов Александр Алексеевич, профессор

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г.Воронеж, Россия

Воронежский институт ФСИН России, г.Воронеж, Россия

Статья посвящена анализу возможностей применения технологий рассеяния электромагнитных волн в системах безопасности.

Ключевые слова: система, безопасность, рассеяние электромагнитных волн.

Решение вопросов, касающихся возможностей обнаружения оружия, которое находится под одеждой на человеческом теле, являются весьма актуальной задачей. В существующих условиях идут активные исследования в данных направлениях, так как есть необходимость в оперативном обследовании лиц при обеспечении безопасности важных объектов. Причем применяемые системы должны быть способны к обнаружению нескольких скрытых металлических предметов и быть способны к эффективному, устойчивому и надежному различению подобных объектов с тем, чтобы вероятность ложного срабатывания была небольшой, а вероятность правильного обнаружения и идентификации – высокой.

Большие усилия исследователей были вложены в развитие систем, способных удовлетворить подобным требованиям; во многих случаях рассматривались возможности применения таких подходов в миллиметроволновом диапазоне [1]. На основе исследований в области миллиметрового диапазона для построения изображений, в диапазоне частот 30–300 ГГц были разработаны соответствующие системы, которые используются для бесконтактного осмотра людей в важных для защиты зонах, таких как, например, аэропорты. Нынешняя

тенденция, направленная в сторону более высоких частот, для диапазона частот, лежащих в терагерцовом диапазоне, для визуализации радиоизображений, предполагает, что качество изображений будет значительно лучшим и будут обнаруживаться и различаться скрытые объекты в больших диапазонах, чем это может быть достигнуто на основе миллиметровой волновой томографии [2].

Существуют другие подходы, которые также используются для того, чтобы обеспечить безопасность при сканировании, помимо обычных детекторов металла, которые есть практически везде в аэропортах. Принцип работы таких устройств базируется на том, что наводятся вихревые токи в металлических предметах, которые скрыты на теле людей и которые они пытаются пронести, и измеряется время, которое необходимо для затухания общего магнитного поля [3].

При этом для обоих методов – построения изображений в миллиметровом диапазоне и простого обнаружения металлических объектов, характерно то, что в них нет возможности по различению объектов. В миллиметровом диапазоне при анализе отраженного сигнала должен быть опытный оператор, работа которого заключается в интерпретации полученных изображений [4] и он должен принять решение о том, есть ли подозрительный объект, который требует дальнейших исследований. Или вместо опытного оператора может быть применен набор определенных алгоритмов по обработке изображений в автономном режиме, для того, чтобы была выполнена задача распознавания [5].

Простой металлоискатель просто характеризуется пороговым значением для объекта, которое показывает время задержки сигнала, таким образом, возможно проведение лишь весьма грубого различения с точки зрения примерных размеров металлических объектов [6].

Методы, которые не связаны получением изображений при обнаружении и различении скрытых угроз, не ограничиваются простым обнаружением металлических предметов.

Можно отметить несколько перспективных подходов, которые дают возможности для обеспечения обнаружения скрытых угроз на удалении без использования процедур визуализации [7]. Эти методы основаны либо на использовании антенн миллиметрового диапазона [8] или на эффектах получения резонансов металлических объектов в диапазоне сверхвысоких частот [9]. В данной работе рассматривается второй способ и проводится анализ, какие факторы оказывают влияние на надежность скрытого обнаружения и распознавания объектов.

На обнаружение объектов влияет как расположение тела человека, так и находящиеся на нем элементы, которые скрыты, и индикатором является характерный звуковой сигнал, который возникает, когда происходит возбуждение соответствующих элементов возбуждаются электромагнитной волной, которая соотносится с их резонансными частотами [10].

Когда на любой металлический объект происходит падение широкополосного электромагнитного импульса или импульса, который синтезируется в частотной области, как и в случае использования сигнала со ступенчатым измене-

нием его несущей частоты (технология SFCW) [9], в поле, рассеянным объектом содержится такие составляющие информации [10], которые могут использоваться, для идентификации объекта, если эти параметры известны заранее.

Задержка в отраженном сигнале, возникающая вследствие циркуляции поверхностных токов на поверхности объекта, заключается в том, что часть отраженного сигнала, который доходит до приемника, уже прошла объект. Можно показать, что сигнал может быть представлен в виде суперпозиции затухающих синусоид [10].

Список литературы

1. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
5. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. Т. 3. С. 33-48.
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
9. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
10. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
11. Патент на полезную модель № 26142 U1 Российская Федерация, МПК G05B 19/18, G05B 17/02. Система автоматического управления следящими приводами оборудования с ЧПУ : № 2001106392/20 : заявл. 06.03.2001 : опубл. 10.11.2002 / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь ; заявитель Курский государственный технический университет. – EDN ZVGMAH.
12. Беседин, А. В. Система компьютерной поддержки технологического проектирования механической обработки с прогнозированием точности технологических процессов / А. В. Беседин, В. С. Титов // Медико-экологические информационные технологии - 2000 : Третья международная научно-техническая конференция, Курск, 23–24 мая 2000 года / Ответствен-

ный редактор: Н.А.Кореневский. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2000. – С. 82-84. – EDN WUJJFP.

13. Сеть абонентского доступа с использованием технологий Ethernet FTTH, PON / А. М. Белицкий, Р. Р. Иваненко, А. В. Беседин, А. Я. Клочков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2017. – № 1(70). – С. 8-15. – DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-8-15. – EDN YLZFTZ.

14. Титов, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом обработки деталей методами нечеткой логики / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике : Региональный сборник научных трудов.. Том Выпуск 4. – Курск : Курский государственный технический университет, 2002. – С. 163-256. – EDN SIPXBT.

15. Титов, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом обработки деталей методами нечеткой логики / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике : Региональный сборник научных трудов.. Том Выпуск 4. – Курск : Курский государственный технический университет, 2002. – С. 163-256. – EDN SIPXBT.

Akimenko Elizaveta Nikolaevna, student

Virabyan Spartak Haykovych, student

Kalinovskaya Varvara Borisovna, student

Voronov Alexander Alekseevich, professor

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, Russia

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russia

ON THE USE OF ELECTROMAGNETIC WAVE SCATTERING TECHNOLOGIES IN SECURITY SYSTEMS

Annotation: The article is devoted to the analysis of the possibilities of using electromagnetic wave scattering technologies in security systems.

Key words: system, safety, scattering of electromagnetic waves.

ФРЕДУЦИРОВАННЫЙ РЕГУЛЯТОР СОСТОЯНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ

Андреевков Анатолий Алексеевич, аспирант

(e-mail: 37-andr@mail.ru)

Лабутин Александр Николаевич, д.т.н., профессор

(e-mail: lan@isuct.ru)

Ивановский государственный химико-технологический университет,

г. Иваново, Россия

В работе представлен подход к синтезу редуцированного регулятора состояния для системы стабилизации температуры в жидкофазном химическом реакторе при невозможности измерения полного вектора состояния. На основе нелинейной математической модели реактора получена линеаризованная редуцированная модель. Методом модального управления синтезированы безынерционный и астатический редуцированные регуляторы состояния. Результаты вычислительного эксперимента показали работоспособность системы управления и преимущество астатического алгоритма. Разработанный метод может быть использован при проектировании систем автоматического

управления многомерными технологическими объектами в условиях ограниченной информации о текущих значениях переменных состояния.

Ключевые слова: химический реактор, редукция, многомерная система, модальное управление, регулятор состояния.

Введение. В современной прикладной теории управления существует проблема управления многомерными объектами в условиях невозможности измерения всех переменных состояния объекта [1]. Системы автоматического управления, синтезированные в пространстве «вход-выход», не обеспечивают высокое качество управления. С этим связана актуальность разработки новых методов синтеза редуцированных регуляторов состояния для управления многомерными объектами по неполному вектору состояния.

Математическая модель химического реактора. В качестве объекта управления выбран жидкофазный химический реактор непрерывного действия с перемешиванием, в котором реализуется двухстадийная экзотермическая реакция: $A + B \xrightarrow{k_1} P_1$, $A + P_1 \xrightarrow{k_2} P_2$, где A и B – исходные реагенты; P_1 – целевой продукт; P_2 – побочный продукт. Аппарат снабжен рубашкой, в которую поступает хладагент.

Полноразмерная математическая модель динамики объекта, разработанная при допущениях о постоянстве уровня, идеальном перемешивании реакционной смеси, отсутствии потерь представлена в работе [2]. Задача системы управления химическим реактором – стабилизация температуры смеси в аппарате x_4 на заданном значении. В качестве управляющего воздействия выбран расход хладагента $u = \Delta v_{хл}$.

Математическая модель объекта [2] нелинейная. Для разработки линейного редуцированного регулятора состояния проведена линеаризация модели в окрестности стационарного положения. Получена полноразмерная линеаризованная математическая модель:

$$\frac{d\Delta \bar{x}}{d\tau} = A\Delta \bar{x} + Bu, \quad \Delta \bar{x}|_{\tau=0} = 0, \quad (1)$$

где $\Delta \bar{x} = (\Delta x_1 \ \Delta x_2 \ \Delta x_3 \ \Delta x_4 \ \Delta x_5)^T$ – вектор состояния; $A = \left\{ \partial f_i / \partial x_j \Big|_{x^0} \right\}$, $B = \left\{ \partial f_i / \partial v_{хл} \right\}$, $i, j = \overline{1,5}$ – матрицы состояния и управления соответственно.

Синтез редуцированного регулятора состояния. Проведена декомпозиция модели (1) на подсистемы: химическую и тепловую (2).

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta x_4}{d\tau} &= a_{41}\Delta x_1 + a_{42}\Delta x_2 + a_{43}\Delta x_3 + a_{44}\Delta x_4 + a_{45}\Delta x_5, \\ \frac{d\Delta x_5}{d\tau} &= a_{54}\Delta x_4 + a_{55}\Delta x_5 + b\Delta v_{хл}. \end{aligned} \quad (2)$$

В тепловой подсистеме (2) необходимо оценить зависимость изменения концентраций веществ $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$ от отклонения температуры от заданного значе-

ния Δx_4 . В химическом реакторе концентрации веществ зависят от значений констант скоростей, изменение которых определяется отклонением температуры Δx_4 . Такую зависимость можно получить из исходной модели объекта [2] и представить линейно следующим образом:

$$\Delta x_i = \frac{\partial x_i}{\partial x_4} \Big|_{x^0} \cdot \Delta x_4 = d_i \Delta x_4, \quad i = \overline{1,3}.$$

Значения d_i можно вычислить и из линеаризованной модели (1). Для этого достаточно уравнения химической подсистемы (для $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$) записать в статике и решить систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$. Подставив в (2) и обозначив $a_{44}^* = a_{41}d_1 + a_{42}d_2 + a_{43}d_3 + a_{44}$, редуцированная модель примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta x_4}{d\tau} &= a_{44}^* \Delta x_4 + a_{45} \Delta x_5, \\ \frac{d\Delta x_5}{d\tau} &= a_{54} \Delta x_4 + a_{55} \Delta x_5 + b \Delta v_{хл}. \end{aligned} \quad (3)$$

Модель (3) обладает свойством устойчивости, с её использованием можно синтезировать редуцированный регулятор состояния [3].

$$u_6 = -k_{61}\Delta x_4 - k_{62}\Delta x_5. \quad (4)$$

Для повышения качества управления при наличии возмущающих воздействий необходимо получить астатический алгоритм управления путём введения интегральной составляющей:

$$u_a = -(k_{a1}\Delta x_4 + k_{a2}\Delta x_5) - k_{a3} \int_0^\tau \Delta x_4 d\tau. \quad (5)$$

Параметрический синтез осуществлен методом модального управления. В качестве эталонного характеристического уравнения выбран полином Ньютона с величиной среднегеометрического корня $\omega_0 = 0.5 \text{ мин}^{-1}$. При расчёте настроечных параметров регулятора (5) в модель (3) было введено дополнительное уравнение $dz/d\tau = \Delta x_4$. В результате параметры имеют значения: $k_{61} = -0.424$, $k_{62} = -0.122$; $k_{a1} = -1.634$, $k_{a2} = -0.238$, $k_{a3} = -0.345$.

Результаты моделирования. Для анализа работоспособности системы управления путём вычислительного эксперимента применялась полноразмерная нелинейная модель объекта [2] и алгоритмы управления (4), (5), для реализации которых требуется измерение текущих значений температур смеси в реакторе и хладагента рубашке.

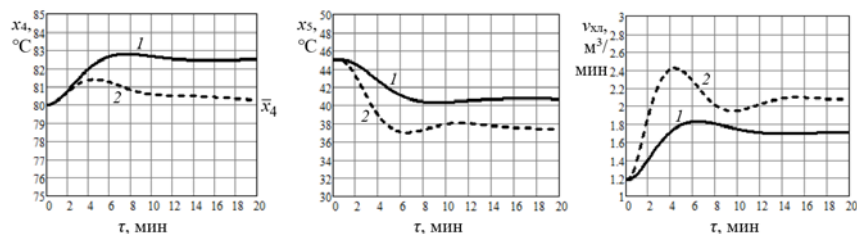


Рисунок 1. Переходные процессы стабилизации температуры при изменении концентрации реагента А во входном потоке $\Delta C_{\text{Авх}} = +0.1C_{\text{Авх}}^0$; регуляторы состояния: 1 – безынерционный (4); 2 – астатический (5)

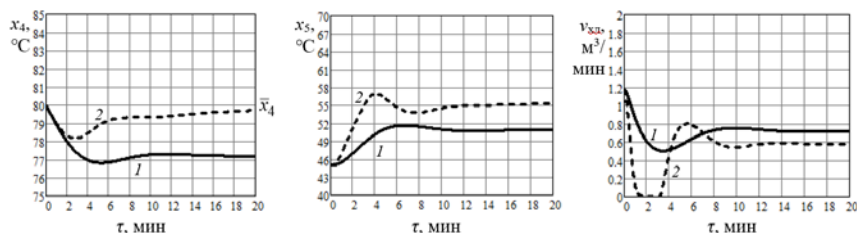


Рисунок 2. Переходные процессы стабилизации температуры при изменении расхода второго потока $\Delta v_2 = +0.3v_2^0$; регуляторы состояния: 1 – безынерционный (4); 2 – астатический (5)

Анализ результатов показал работоспособность редуцированного регулятора состояния. Безынерционный алгоритм управления (4) характеризуется статической ошибкой регулирования, которую возможно уменьшить путём увеличения среднегеометрического корня ω_0 при параметрическом синтезе и, следовательно, настроечных параметров k_{61} , k_{62} . Введение интегральной составляющей позволяет полностью ликвидировать статическую ошибку и улучшить качество управления. Таким образом, стоит отдать предпочтение астатическому алгоритму управления (5).

Вывод. В работе предложен новый метод синтеза редуцированного регулятора состояния для системы стабилизации температуры в химическом реакторе. Он предполагает линеаризацию исходной нелинейной модели, редукцию линеаризованной модели с учетом взаимосвязей объекта, синтез регулятора состояния методом модального управления. Данный подход можно рекомендовать для разработки систем управления многомерными, много связными объектами в условиях невозможности измерения всего вектора состояния.

Список литературы

1. Анисимов А.А., Котов Д.Г., Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Анализ параметрической чувствительности и структурная оптимизация систем модального управления с регуляторами состояния. Изв. РАН. Теория и системы управления. 2011 № 5 С. 18-32.

2. Лабути А.Н., Андреев А.А., Шуина Е.А., Пономарева Ю.Н. Сравнительный анализ вариантов построения алгоритмов управления температурой в химическом реакторе. Вестник ИГЭУ. 2024. № 3. С. 78-86.

3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2000. – 736 с.

Andreenkov Anatoly Alekseevich, Postgraduate Student

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

Labutin Alexander Nikolaevich, Doct. Tech. Sci., Professor

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

REDUCED-ORDER STATE CONTROLLER FOR TEMPERATURE CONTROL IN A CHEMICAL REACTOR

Abstract. The paper presents an approach to the synthesis of a reduced-order state controller for temperature stabilization in a CSTR when the full state vector cannot be measured. On the basis of a nonlinear mathematical model of the reactor, a linearized reduced model is derived. Using the modal control method, reduced-order non-inertial and integral state controllers are designed. Results of computational experiments demonstrate the control system efficiency and the superior performance of the integral algorithm. The proposed method can be applied for automatic control systems design for multidimensional technological plants when only limited information on the current values of the state variables is available.

Keywords: chemical reactor (CSTR), model reduction, multidimensional (MIMO) system, modal control, state controller.

ОПИСАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДИЛЕРСКОГО ЦЕНТРА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ахромешин Андрей Владимирович, к.т.н., доцент

(e-mail: aakhromeshin@yandex.ru)

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

В публикации рассматривается актуальная проблема повышения эффективности деятельности дилерских центров в условиях высокой конкуренции на автомобильном рынке. Автор доказывает, что системное описание и последующая оптимизация ключевых бизнес-процессов являются критически важным инструментом для достижения операционного совершенства, роста удовлетворенности клиентов и увеличения финансовых результатов. В работе проведен анализ основных бизнес-процессов дилерского центра, выделены их проблемные зоны и предложены этапы внедрения процессного подхода к управлению. Особое внимание уделяется таким процессам, как продажа новых автомобилей, автомобилей с пробегом, сервисное обслуживание и управление взаимоотношениями с клиентами. Результатом исследования является модель, демонстрирующая прямую взаимосвязь между формализацией бизнес-процессов и ключевыми показателями эффективности предприятия.

Ключевые слова: дилерский центр, бизнес-процессы, описание процессов, эффективность, стандартизация, клиентоориентированность, сервис, продажи.

Введение

Современный рынок автомобильных продаж и сервисного обслуживания характеризуется исключительно высокой конкуренцией. Дилерские центры, являясь конечным звеном в цепочке создания стоимости для производителя, сталкиваются с необходимостью постоянного поиска резервов для повышения собственной эффективности. Традиционные методы управления, сфокусированные на функциональных иерархиях, зачастую не способны обеспечить требуемую гибкость и скорость принятия решений. В этих условиях процессный подход к управлению становится не просто модной тенденцией, а объективной необходимостью.

Описание бизнес-процессов представляет собой их формализацию в виде графических схем, регламентов и инструкций. Это позволяет перевести деятельность предприятия из режима реагирования на проблемы в режим проактивного управления. Актуальность темы работы обусловлена тем, что многие дилерские центры продолжают работать по устаревшим, неформализованным схемам, что приводит к потерям времени, ресурсов, снижению лояльности клиентов и, как следствие, к падению прибыли.

Целью исследования является разработка теоретической и практической модели применения описания бизнес-процессов в качестве ключевого инструмента повышения эффективности дилерского центра. Для достижения цели будут описаны ключевые бизнес-процессы дилерского центра, проанализированы типичные проблемы, возникающие при отсутствии формализованных процессов, определены этапы и методы описания бизнес-процессов, проведена оценка влияния формализации процессов на ключевые показатели эффективности предприятия.

1. Ключевые бизнес-процессы дилерского центра и их проблемные зоны

Дилерский центр является многопрофильным предприятием, чья деятельность включает в себя несколько взаимосвязанных направлений. Ключевые бизнес-процессы можно разделить на три основные группы:

Основные процессы (создают прямую ценность для клиента и приносят основную доход):

1. Продажа новых автомобилей.
2. Продажа автомобилей с пробегом.
3. Сервисное обслуживание и ремонт (заказ-наряды).
4. Продажа аксессуаров и дополнительного оборудования.
5. Обеспечивающие процессы (поддерживают работу основных процессов):
6. Управление персоналом (подбор, обучение, мотивация).
7. Управление запасами (склад запчастей, автомобильный склад).
8. Финансовое управление.
9. IT-обеспечение.
10. Маркетинг и продвижение.
11. Контроль качества услуг.
12. Управление взаимоотношениями с клиентами (CRM).

Типичные проблемные зоны, возникающие при отсутствии формализованного описания: процессе продаж: несогласованность действий менеджера по продажам, отдела трейд-ина, кредитного отдела и отдела подготовки автомобиля. Это приводит к длительному времени обработки заявки и потере клиента.

В сервисном процессе: "узкие места" в зоне приемки, неэффективное планирование загрузки мастеров, отсутствие стандартов диагностики, что ведет к росту времени простоя автомобиля и жалобам.

В CRM: разрозненность информации о клиенте, дублирование контактов, отсутствие системы напоминаний о плановом ТО, что снижает количество повторных обращений.

Общие проблемы: низкая прозрачность операций, сложность в обучении новых сотрудников, "синдром незаменимого сотрудника", невозможность адекватно оценить KPI по процессу в целом.

Описание бизнес-процессов рекомендуется проводить в несколько этапов:

- идентификация и выделение процессов. Определяются границы каждого процесса, его владелец, входы и выходы, а также участники;
- описание процесса "как есть" (AS-IS). Фиксация реального, а не желательного состояния процесса с помощью нотаций моделирования (например, BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation). Это позволяет выявить все существующие проблемы, избыточные операции и зоны ответственности;
- анализ и выявление "узких мест". Процесс анализируется на предмет временных задержек, дублирования функций, избыточных согласований и рисков.

Проектирование процесса "как должно быть" (TO-BE). Разрабатывается идеальная модель процесса, направленная на устранение выявленных недостатков. На этом этапе производится реинжиниринг или постепенная оптимизация.

Новый процесс фиксируется в виде регламентирующих документов (регламентов, стандартов, должностных инструкций). Обязательным этапом является обучение всех участников процесса. С помощью KPI отслеживается эффективность нового процесса и при необходимости вносятся корректировки (применяется цикл Деминга-Шухарта PDCA - Plan-Do-Check-Act).

В качестве инструментов описания наиболее эффективно использование специализированного программного обеспечения (например, Bizagi Modeler, ELMA BPM, ARIS), которое позволяет создавать наглядные и понятные схемы.

Формализация бизнес-процессов оказывает прямое влияние на ключевые показатели эффективности дилерского центра: увеличение скорости обслуживания, сокращение времени цикла продажи (от первого контакта до передачи ключей) и среднего времени выполнения заказ-наряда в сервисе; рост удовлетворенности клиентов (CSI - Customer Satisfaction Index). Стандартизированное и предсказуемое качество обслуживания повышает лояльность и стимулирует положительные отзывы; снижение операционных издержек, то есть устранение избыточных операций и оптимизация использования ресурсов (персонала, оборудования, запчастей) напрямую влияет на себестоимость услуг.

Повышение прозрачности и управляемости: Руководство получает инструмент для объективной оценки деятельности каждого подразделения и процесса

в целом. Снижение зависимости от конкретных сотрудников: Регламенты и инструкции позволяют быстро вводить в должность новых сотрудников и сохранять корпоративные стандарты. Комплексный эффект от вышеперечисленных факторов закономерно приводит к росту финансовых результатов.

Заключение

Таким образом, системное описание бизнес-процессов дилерского центра является не административной мерой, а мощным стратегическим инструментом повышения конкурентоспособности предприятия. Оно позволяет перейти от хаотичного функционирования к управляемой и предсказуемой системе, ориентированной на клиента и непрерывное совершенствование.

Несмотря на первоначальные затраты времени и ресурсов на проведение проектов по описанию процессов, их отдача многократно окупается за счет роста операционной эффективности, снижения издержек и повышения лояльности клиентов. В долгосрочной перспективе дилерские центры, построившие свою работу на принципах процессного управления, получают устойчивое конкурентное преимущество на динамичном и требовательном автомобильном рынке.

Список литературы

1. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2020. – 408 с.
2. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов: Учебное пособие. – М.: Синергия, 2018. – 352 с.
3. Исаев Р.А. Автомобильный дистрибушн: управление дилерской сетью. – М.: Инфра-М, 2019. – 295 с.
4. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 288 с.
5. Деминг У.Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами. – М.: Альпина Паблишер, 2020. – 419 с.
6. Отвоздин В.Ю. Управление качеством: основы теории и практики. – М.: Дело и Сервис, 2019. – 256 с.
7. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015.
8. Робсон М., Уллах Ф. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 2018. – 224 с.
9. Купер К. Управление эффективностью продаж и обслуживания в дилерском центре. // Автобизнес-ревью. – 2022. – № 4. – С. 34-41.
10. Материалы международной конференции «АвтоПроцессы: эффективность и стандарты». – СПб., 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.autoprocess-conf.ru> (дата обращения: 15.10.2023).

*Akhromeshin Andrey Vladimirovich, Cand.Tech.Sci., associate professor
Tula state university, Tula, Russia*

DESCRIPTION OF THE DEALERSHIP'S BUSINESS PROCESSES AS A TOOL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE

Abstract. The publication discusses the urgent problem of increasing the efficiency of dealerships in highly competitive conditions in the automotive market. The author proves that the system description and subsequent optimization of key business processes are a critical tool for achieving operational excellence, increasing customer satisfaction and increasing financial results. The paper ana-

lyzes the main business processes of the dealership, identifies their problem areas and suggests the stages of implementing a process approach to management. Special attention is paid to such processes as the sale of new cars, used cars, after-sales service and customer relationship management. The result of the research is a model that demonstrates the direct relationship between the formalization of business processes and key performance indicators of the enterprise.

Keywords: dealership, business processes, process description, efficiency, standardization, customer orientation, service, sales.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAD И САМ СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бабенко Иван Сергеевич, студент

(e-mail: i.s.babenko@yandex.ru)

Рыжков Владимир Витальевич, к.т.н., доцент

(e-mail: vryzhkov@cchgeu.ru)

Воронежский государственный технический университет,

г.Воронеж, Россия

В статье рассмотрены технологии позволяющие автоматизировать подготовку производства, а именно CAD- и САМ-системы, также рассмотрены их организационно-техническое устройство и функционал, предлагаемый каждой из технологий.

Ключевые слова: CAD, САМ, автоматизация, станок с ЧПУ.

Современная промышленность активно применяет различные технологии автоматизированного производства и проектирования, такие как CAD и САМ. Данные системы имеют широкий спрос как на отечественном, так и западном рынке. Одним из преимуществ CAD является интеграция САМ, что позволяет не только проектировать изделие, но и управлять его производственным циклом [1].

CAD-технология. Система автоматизированного проектирования (англ. Computer-aided design (CAD)) представляет собой организационно-техническую систему, состоящую из персонала и комплексов технических, программных и других средств автоматизации. CAD-системы предоставляют такие возможности как:

- Моделирование — создание трехмерных и двумерных моделей, включающие в себя геометрические параметры, физические свойства и динамические характеристики.
- Анализ — технология предоставляет возможность проводить анализ на прочность, теплового и динамического воздействия, что позволяет на этапе проектирования учесть все возможные нагрузки и условия эксплуатации.
- Документирование — автоматическое создание чертежей, спецификаций и технической документации.
- Интеграция с САМ-системами — данная возможность позволяет автоматизировать производство, что снижает затраты и упрощает процесс выпуска продукции.

Система CAD использует векторную графику для изображения объектов традиционного черчения, но также может создавать растровую графику, которая отображает общий вид проектируемых моделей. Как и при ручном черчении выходные данные передают такую информацию, как характеристики исполь-

зуемых материалов, процессы, размеры и допуски. В свою очередь система CAD, как и другие подобные системы, состоит из аппаратной части и программного обеспечения. Аппаратная часть обеспечивает преобразование и хранение информации, ввод и вывод данных в процессе проектирования. Программное обеспечение позволяет создавать 2D- и 3D-модели, проводить различного рода анализ, а также автоматически создавать техническую документацию [2].

Среди отечественных CAD систем широкое распространение получили:

- «КОМПАС-3D» система трехмерного проектирования от компании «АСКОН». Используется в таких отраслях промышленности как машиностроении, приборостроении и авиастроении

- NanoCAD платформа от компании «Нанософт», используется для проектирования зданий, дорог, мостов

- T-FLEX система автоматизированного проектирования от компании «Топ Системы». Объединяет параметрические возможности 2D- и 3D-моделирования со средствами создания и оформления чертежей и конструкторской документации в соответствии с ЕСКД и зарубежными стандартами (ISO, DIN, ANSI).

- RengaBIM-система предназначена для архитектурного проектирования, разработки несущих конструкций, внутренних инженерных сетей и технологической части зданий и сооружений.

CAM-технология. CAM (Computer-Aided Manufacturing) – это система автоматизированной подготовки производства. CAM-система – это мозг станка с ЧПУ (числовым программным управлением), которая управляет процессом сверления, фрезерования, резанья и т. д.

CAM-системы предоставляют широкий выбор функций, направленных на оптимизацию процесса производства таких как:

- Генерация траектории инструмента – позволяет автоматически создавать траекторию режущего инструмента на основе 3D-модели. Современные CAM-системы имеют различные стратегии обработки, учитывающие геометрию детали что позволяет сократить время обработки и улучшить качество.

- Моделирование обработки – визуализация процесса обработки детали до начала реальной обработки. Моделирование позволяет избежать ошибок и оптимизировать процесс обработки.

- Поддержка различных типов обработки – современные CAM-системы могут совершать токарную, фрезерную, электроэрозионную, лазерную резку [2].

В России применяются как отечественные, так и зарубежные CAM-системы

- ADEM CAM. Позволяет генерировать управляющие программы для различных типов станков с высокой точностью. Поддерживает многосложные операции, есть интеграция с 3D-моделями.

- SprutCAM. Универсальная CAD/CAM-система для автоматизированного составления управляющих программ к станкам с ЧПУ. Включает визуальный редактор с 3D-симулятором, что позволяет моделировать и тестировать обработку по G-кодам.

- «Практик». Программа для расчёта траектории и симуляции обработки на станке с ЧПУ. Автоматически распознаёт кривые, рёбра, отверстия, карманы и горизонтальные участки. Есть черновые операции и автоматизированные чистовые операции.

- Autodesk Fusion. Интегрированная облачная платформа, объединяющая CAD, CAM и CAE-функциональность. Однако система имеет ограничения в области сложной 5-осевой обработки и требует постоянного интернет-соединения.

- SolidCAM. Полностью интегрированное CAM-решение для SolidWorks, обеспечивающее бесшовную работу в знакомой среде CAD-системы.

Оборудование с ЧПУ оснащенное CAM-системой намного эффективнее при использовании поскольку точность и скорость работы таких станков гораздо выше. Не менее важным преимуществом является гибкость переналадки, благодаря которой ускоряется перенастройка ЧПУ станка на выпуск новой детали.

Также стоит выделить интеграцию CAM- и CAD-систем что позволяет еще больше оптимизировать производство, такие программы как Fusion 360, FreeCAD содержат в себе функции обеих систем. Такая интеграция CAD и CAM обеспечивает ассоциативную связь между моделью и управляющей программой. При внесении изменений в геометрию изделия траектории обработки автоматически пересчитываются, что исключает ошибки и значительно ускоряет процесс производства. Использование на производстве PDM-системы позволит интегрировать между собой не только CAD и CAM, но и CAE-, CAPP-, ERP-, MRP-технологии за счет поступающей из них информации [3]. Использование данных технологий позволяет создавать полный цикл производства изделия.

Список литературы

1. Аксенова, О.Н. Реализация процесса технологической подготовки производства на авиастроительном предприятии / О.Н. Аксенова, В.В. Рыжков // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем : Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 30–31 мая 2019 года / Юго-Западный государственный университет. Том 1. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 50-53.

2. Бояринцева, М. И. Анализ возможностей CAD-систем. Особенности использования, области рационального применения / М. И. Бояринцева, В.В. Рыжков // Прогрессивные технологии и процессы : Сборник научных статей 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Курск, 22–23 сентября 2022 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 55-58.

3. Рыжков, В. В. Интеграция CAD и CAM систем для повышения эффективности машиностроительного производства / В. В. Рыжков, А. В. Кольцова, А. В. Золотарев // Современное перспективное развитие науки, техники и технологий : Сборник научных статей 3-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 09 октября 2025 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 349-353.

Babenko Ivan Sergeevich, student

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Ryzhkov, Vladimir Vitalievich, Cand.Tech.Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

USE OF CAD AND CAM SYSTEMS IN INDUSTRY

Abstract: The article discusses technologies that allow for the automation of production, namely CAD and CAM systems, as well as their technical structure and the functionality offered by each technology.

Key words: CAD, CAM, automation, CNC machine.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТЯХ ОБЪЕКТОВ

Бабкина Валерия Игоревна, студент

Запиоцкая Олеся Тарасовна, студент

Зотов Сергей Александрович, студент

Преображенский Юрий Петрович, профессор

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г.Воронеж, Россия

Статья посвящена анализу подходов для учета рассеяния методов, которые требуются для того, отражение от поверхностей объектов.

Ключевые слова: связь, электромагнитная волна, электродинамический объект.

Изучение распространения электромагнитных волн при взаимодействии с объектами, расположенными над шероховатой поверхностью, вызывает постоянный интерес у специалистов [1]. Это связано с потенциалом улучшения точности прогнозирования распределения электромагнитных полей в рабочей области антенн благодаря учету широкого спектра эффектов рассеяния [2]. Часто для упрощения анализа используют методы, сводящие задачу к рассмотрению неровной поверхности как однородной диэлектрической плоскости [3]. Однако именно топографические особенности рельефа способны существенно изменить характер рассеяния от объектов по сравнению с воздействием плоской поверхности [4]. В некоторых случаях удается получить приблизительные аналитические решения, применимые лишь при слабой выраженности рельефа [4].

Численное моделирование взаимодействия излучения с объектом и сложной поверхностью позволяет выявить важные аспекты для решения задач поиска и идентификации объектов, расположенных под землей. Это особенно актуально при анализе распространения радиоволн в подземных сооружениях, таких как горные выработки, трубопроводы и туннели [5]. Для определения свойств объекта, выступающего над неровной поверхностью, целесообразно использовать функцию угловой корреляции, которая дает возможность исследовать процессы рассеяния от поверхностей с выраженными неоднородностями.

Функция угловых корреляций [6] является функцией корреляции между двумя рассеянными полями по направлениям θ_1 и θ_2 , которые соответствуют двум значениям падающей на объект волны в θ_{n1} и θ_{n2} , соответственно. Расчет функции угловых корреляций проводится при усреднении реализаций по различным неровным поверхностям [7].

На основе функции угловых корреляций для полей, которые рассеяны неровными поверхностями, можно увидеть сильную корреляцию, которая известна как эффект угловой памяти [8]. При этом наблюдается соблюдение соотношения $\sin(\theta_2) - \sin(\theta_1) = \sin(\theta_{n2}) - \sin(\theta_{n1})$, что рассматривается как следствие статистической инвариантности случайной неровной поверхности.

Для поиска объектов, скрытых за сложной поверхностью, целесообразно использовать метод, базирующийся на анализе угловых корреляций [9]. Полученные данные указывают на то, что влияние неоднородности рельефа на величину этой функции незначительно при отклонении от центральных значений. Применение подхода с функцией угловых корреляций представляется более эффективным, чем вычисление характеристик рассеянного электромагнитного излучения [10]. В представленной работе для определения этих полей используется метод моментов, а также изучается влияние глубины, размера и ориентации неровностей на функцию угловых корреляций.

Исследование характеристик поля, возникающего от единичной неоднородной структуры, формирующейся по заранее заданным правилам, представляется целесообразным в ряде ситуаций, особенно при сопоставлении с данными экспериментальных исследований материалов, потенциально востребованных в реальных задачах. Однако, как правило, необходимо анализировать случайные рассеивающие особенности группы поверхностей, подчиняющихся определенному статистическому закону. Характеристики таких хаотичных поверхностей нередко сводятся к описанию через вероятность изменения их высот. Во многих сценариях для определения этой вероятности используют нормальное распределение. При этом возможно применение альтернативных методов, основанных на других типах распределений. Поверхности, моделируемые посредством принципов случайных процессов с гауссовским характером, удобно генерировать с использованием спектрального подхода, который активно применяется при вычислении рассеяния электромагнитных волн [10].

На Рисунке 1 приведена схема рассеяния электромагнитных волн на объекте и неровной поверхности. Пусть $H_0(r)$ и $H_1(r)$ – это магнитное поле для областей 0 и 1, соответственно. Эти поля будут удовлетворять следующим интегральным уравнениям

$$\frac{1}{2}H_0(r) = H_{nao}(r) + \int_S (H_0(r') \frac{\partial \varphi_0(r, r')}{\partial n'} - \varphi_0(r, r') \frac{\partial H_0(r')}{\partial n'}) ds' + \int_S (H_1(r') \frac{\partial \varphi_0(r, r')}{\partial n'}) ds', \quad (1)$$

где $r \in S$ или $S_{\text{объекта}}$.

$$\frac{1}{2}H_1(r) = - \int_S (H_0(r') \frac{\partial \varphi_1(r, r')}{\partial n'} - \varphi_1(r, r') \frac{\partial H_1(r')}{\partial n'}) ds', \quad (2)$$

где $r \in S$.

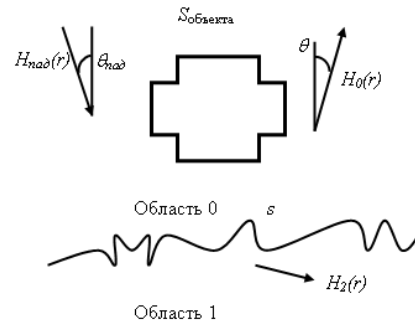


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитных волн на объекте и неровной поверхности

В рассматриваемых уравнениях $\varphi_0(r, r')$ и $\varphi_1(r, r')$ - это функции Грина для области 0 и области 1, соответственно. $\varphi_0(r, r') = (\frac{i}{4} H_0^{(1)}(k_0|r - r'|))$, $\varphi_1(r, r') = (\frac{i}{4} H_0^{(1)}(k_1|r - r'|))$, где $H_0^{(1)}$ - функция Ханкеля 1-го рода. Когда r находится на поверхности s , то для полей выполняются следующие граничные условия:

$$H_0(r)|_{r \in s} = H_1(r)|_{r \in s} \quad (3)$$

где $\gamma = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0}$, ε_0 , ε_1 - диэлектрическая проницаемость для области 0 и 1, соответственно.

Градиент по нормали для анализируемой функции Грина рассчитывается на основе следующего выражения:

$$\frac{\partial \varphi_0(r, r')}{\partial n'} = \frac{ik}{4} l \frac{r - r'}{|r - r'|} \varphi_1(k|r - r'|), \quad (4)$$

где l - единичный вектор.

Для ускорения расчетов можно использовать методику, связанную с параллельными вычислениями [9]. Для частных случаев может быть проведена аппроксимация характеристик рассеяния [10].

Список литературы

1. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.

5. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
9. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
10. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.

Babkina Valeria Igorevna, student

Zapisotskaya Olesya Tarasovna, student

Zotov Sergey Alexandrovich, student

Preobrazhenskiy Yuriy Petrovich, professor

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, Russia

PROBLEMS OF ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC WAVE SCATTERING ON OBJECT SURFACES

Annotation: The article is devoted to the analysis of approaches to take into account scattering methods that are required for reflection from object surfaces.

Key words: communication, electromagnetic wave, electrodynamic object.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД ХГДН**Баринов Алексей Игоревич, аспирант**

(lena.barinov.99@yandex.ru)

*Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова,
г. Курск, Россия***Агеева Екатерина Владимировна, д.т.н., профессор**

(e-mail: ak-vik@mail.ru)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В данной статье рассмотрен метод восстановления плунжерных пар топливного насоса высокого давления холодным газодинамическим напылением, (ХГН). Даны основные определения и раскрыто понятие газодинамического напыления.

Ключевые слова: газодинамическое напыление, ХГН, ТНВД, ДВС, процесс электроэрозии, электроэрозионные порошки.

Сердцем любого топливного насоса высокого давления, будь то рядный, распределительный насос или магистральный насос системы Common Rail является плунжерная пара (ПП). Этот узел, состоит из плунжера (поршня) и гильзы (втулки), зазор между которыми составляет 1–3 микрона. От состояния этой пары напрямую зависят ключевые параметры двигателя: давление впрыска, топливная экономичность, мощность и экологические показатели. [1,2]

В процессе эксплуатации рабочие поверхности пары подвергаются абразивному и адгезионному износу, коррозии от содержащейся в топливе воды, в результате чего происходит износ и разрушение. Это приводит к увеличению зазора, падению давления, подтеканию топлива и, в конечном счете, к отказу ТНВД. Замена изношенной пары на новую – самый надежный, но и самый затратный путь, особенно для крупногабаритных насосов тракторов и грузовиков. Восстановление плунжерных пар становится экономически и технологически необходимой задачей для ремонтных предприятий. [3,4]

Восстановление ПП – задача высочайшей сложности, требующая решения двух взаимосвязанных проблем:

1. **Восстановление точной геометрии** (цилиндричности, размеров) изношенных деталей.

2. **Восстановление и повышение износостойкости** и противозадирных свойств рабочих поверхностей.

Классический метод – механическая обработка (притирка, доводка) с последующей селективной сборкой – имеет пределы применимости и не решает проблему недостаточной твердости поверхностного слоя после снятия износа. [5,6]



Рис.1 – Насос ТНВД в разобранном виде

Комплексная технология восстановления с применением ХГДН и упрочнения

Современный подход предполагает многоэтапный процесс:

1. **Дефектовка и подготовка:** тщательное измерение износа плунжера и гильзы, после химическая очистка и обезжиривание для удаления всех загрязнений и остатков топлива. [7,8]

2. **Восстановление геометрии и базы:**

– для гильз (втулок) с значительным износом: происходит расточка отверстия до удаления эллипсности и конусности. Это увеличивает диаметр, нарушая первоначальную пару. Затем на подготовленную внутреннюю поверхность гильзы напыляется слой износостойкого материала. Критически важно, что ХГДН, в отличие от термических методов, не вызывает отпуск высокоуглеродистой стали, из которой изготовлены гильзы, сохраняя твердость сердечника детали.

– для плунжеров: восстановление диаметра также может осуществляться ХГДН с последующей обработкой, но чаще применяется к конкретным зонам (например, приводным выступам).

3. **Точная финишная обработка:** напыленный на гильзу слой подвергается высокоточному напылению поверхности до достижения требуемого диаметра, класса чистоты поверхности (Ra 0,1–0,05 мкм) и оптимальной геометрии микрокарманов для удержания смазки. Поверхность плунжера доводится до зеркального состояния методом ультразвуковой очистки, чтобы обеспечить не просто размер, а идеальную сопрягаемость восстановленных поверхностей.

Перспективы применения композитных и электроэрозионных материалов

Повышение эффективности восстановления напрямую связано с материалами напыления, для плунжерных пар можно выделить такие перспективные, как применение наноструктурированных порошковых композиций, содержащих алюминий, обеспечивающие сочетание высокой твердости и вязкости. Такими

порошковыми композициями могут быть порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов алюминиевых сплавов. Электроэрозионные порошки обладают высокой активностью и формируют покрытие с повышенной адгезией к основе восстанавливаемой детали. [9,10]

Восстановление плунжерных пар по описанной комплексной технологии является экономически оправданным, т.к. стоимость восстановления составляет 30–50% от цены новой плунжерной пары для крупных ТНВД. Ресурс правильно восстановленной и упрочненной пары может достигать 80–100% ресурса новой, а в некоторых случаях (за счет применения улучшенных покрытий) и превосходить его. Сокращение логистических издержек и времени простоя техники за счет организации ремонта на месте. [11]

Заключение

Новая технология восстановления плунжерных пар ТНВД с применением порошковых материалов создает методы сверхточной обработки и современных способов поверхностного упрочнения, открывает путь к созданию восстановленных пар, не уступающих, а иногда и превосходящих по износостойкости оригинальные. Внедрение таких методик в практику ремонтных предприятий, особенно обслуживающих парк сельскохозяйственной и грузовой техники, позволит существенно повысить экономическую эффективность эксплуатации дизельных двигателей, снизив зависимость от дорогостоящих импортных запчастей и обеспечив технологический суверенитет в сфере ремонта критически важных узлов.

Список литературы

1. Агеев, Е. В. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники порошками, полученными электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов / Е. В. Агеев, Р. А. Латыпов // Международный научный журнал. – 2011. – № 5. – С. 103-106.
2. Оценка износостойкости электроникровых покрытий, полученных с использованием электроэрозионных порошков быстрорежущей стали / Е. В. Агеев, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 1. – С. 71-76. – DOI 10.17073/1997-308X-2015-1-71-76.
3. Агеев, Е. В. Техническое обслуживание и ремонт машин в АПК : учебное пособие / Е. В. Агеев, С. А. Грашков. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – 185 с. – ISBN 978-5-907205-85-7.
4. Агеев, Е. В. Восстановление корпусных деталей агрегатов автомобиля КГП с электроэрозионными материалами / Е. В. Агеев, С. А. Грашков, С. В. Хардинов. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2020. – 174 с. – ISBN 978-5-907356-02-3.
5. Электроконтактная приварка. Теория и практика / Р. А. Латыпов, В. В. Булычев, П. И. Бурак, Е. В. Агеев. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. – 371 с. – ISBN 978-5-9908595-0-0. – EDN WGAMTF.
6. Агеева, Е. В. Порошковый материал для холодного газодинамического напыления изношенных деталей автотракторной техники / Е. В. Агеева, А. И. Баринов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2025. – № 6(116). – С. 71-76. – DOI 10.37670/2073-0853-2025-116-6-71-76. – EDN ZXFAPI.
7. Баринов, А. И. Восстановление КОРПУСА ТНВД ХГДН / А. И. Баринов // Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса : Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 03 июня 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 17-20. – EDN ZXULPB.

8. Устранение прогаров алюминиевой ГБЦ / Баринов А.И. // Электроэнергетика сегодня и завтра. сборник научных статей 3-й Международной научно-технической конференции. Курск, 2024. С. 44-47.
9. Восстановление алюминиевой ГБЦ газодинамическим напылением / Баринов А.И. // Электроэнергетика сегодня и завтра. Сборник научных статей 4-й Международной научно-технической конференции. Курск, 2025. С. 10-13.
10. Исследование газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков / Е. В. Агеева, О. В. Кругляков, В. И. Серебровский [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 8-20. – DOI 10.21869/2223-1528-2025-15-1-8-20. – EDN CUHANH.
11. Восстановление и упрочнение корпуса ТНВД холодным газодинамическим напылением электроэрозионных порошков / Е. В. Агеева, В. И. Серебровский, А. П. Башкирев, А. И. Баринов // Технический сервис машин. – 2025. – Т. 63, № 2. – С. 66-73. – DOI 10.22314/2618-8287-2025-63-2-66-73. – EDN RMCOIF.
12. Термодинамика и механизм растворного свс нанопорошка оксида цинка из нитрата цинка и лимонной кислоты/ Амосов А.П., Закамов Д.В., Новиков В.А.// Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 4 (49). С. 4-12.
13. О влиянии некоторых параметров материалов авиадвигателя на характеристики его работы/ Амосов Е.А. // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 4 (49). С. 12-17
14. Наблюдение волновых процессов при деформации изделий SLM технологии/ Чуканов А.Н., Цой Е.В., Яковенко А.А., Матвеева А.В. // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 4 (49). С. 28-33
15. Микроструктура спеченного электрокорунда из электроэрозионных порошков, полученных их отходов электротехнического алюминия марки АД0Е/ геев Е.В., Новиков Е.П., Гэн Я. // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 3 (48). С. 4-9
16. Элементный состав жаропрочного сплава, изготовленного из никелевого порошка, полученного электродиспергированием сплава ЖС6У в воде/ Агеев Е.В., Кругляков О.В., Поданов В.О. // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 2 (47). С. 4-11

Barinov Aleksey Igorevich, graduate student

(e-mail: lenya.barinov.99@yandex.ru)

Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

Ekaterina Vladimirovna Ageeva, Doctor of Engineering Sciences, Professor

(email: ak-vik@mail.ru)

Southwestern State University, Kursk, Russia

RESTORATION OF PLUNGER PARTS OF FUEL PUMP USING HGDN

Abstract. This article discusses a method for restoring high-pressure fuel pump plunger assemblies using cold gas-dynamic spraying (CGS). Key definitions and the concept of CGS are provided.

Key words: gas-dynamic spraying, CGN, high-pressure fuel pump, internal combustion engine, electrical erosion process, electrical erosion powders.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ УЧЕБНЫХ РАБОТ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ

Берестнев Михаил Михайлович¹, соискатель

Латинов Шерзод Имом угли², магистрант

Полевичков Иван Сергеевич^{1,3}, к.т.н., доцент
(e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru)

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет,
филиал в г. Стерлитамак, Россия

³Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
г. Москва, Россия

Выполнен анализ типового процесса контроля знаний и навыков при подготовке ИТ-специалистов без применения специализированной системы управления. Обоснована актуальность задачи по разработке автоматизированной системы управления жизненным циклом учебных работ, использование которой позволит преодолеть комплекс недостатков существующих процессов контроля знаний и навыков, соответственно, улучшить процесс подготовки ИТ-специалистов с точки зрения повышения уровня знаний и навыков и снижения трудоемких процедур проведения контрольных мероприятий преподавателем.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10162, <https://rscf.ru/project/23-79-10162/>.

Ключевые слова: автоматизированная система управления (АСУ), жизненный цикл учебной работы, диаграммы UML, LMS.

В условиях современной цифровой экономики обучение специалистов направлений в области информатизации и автоматизации в промышленности, здравоохранении, образовании, социальной и других сферах является востребованной задачей, соответственно, необходимы эффективные средства для интенсификации и повышения уровня подготовки кадров в указанной области [1].

На основе анализа типового процесса контроля знаний и навыков при обучении ИТ-специалистов (на примере нескольких вузов) без использования специальной автоматизированной системы управления (АСУ) разработана визуальная (автоматная) модель в форме диаграммы состояний (State) UML [2], что показано на рис. 1.

Под обучением ИТ-специалистов в настоящем исследовании понимается подготовка студентов направлений бакалавриата и магистратуры в области разработки различных компонентов автоматизированных информационных систем (АИС), главным образом, «Информатика и вычислительная техника», «Прикладная информатика», «Программная инженерия», «Информационные систе-

мы и технологии». Под учебными работами понимаются лабораторные, практические, контрольные работы, защита отчетов и др. формы контроля.

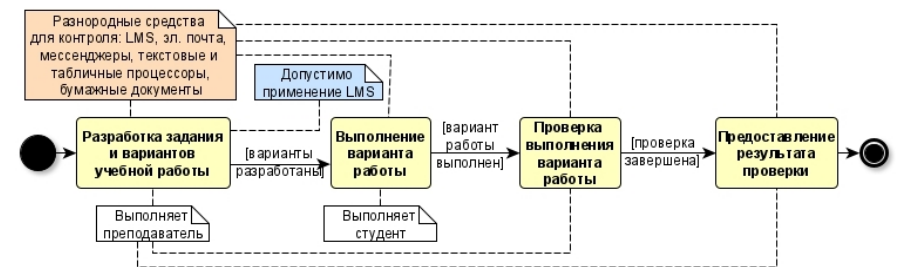


Рис. 1 Типовой процесс контроля знаний и навыков ИТ-специалистов без применения специализированной системы управления (диаграмма состояний UML)

Процесс контроля знаний в соответствии с визуальной моделью на рис. 1 обладает существенными недостатками с точки зрения управления жизненным циклом (ЖЦ) учебных работ, во многом определяемыми тем, что применяются разнородные средства и способы предоставления учебных работ студента на проверку преподавателю: LMS (например, Moodle), электронная почта, мессенджеры, показ результатов работы на компьютере (или в форме бумажных отчетов) во время аудиторных занятий и консультаций. Выявленными недостатками являются:

1) Наличие субъективных факторов при выставлении преподавателем оценки выполнения учебной работы. Снизить уровень субъективизма помогают системы автоматизированного тестирования, интегрированные в состав LMS, однако такие системы позволяют только оценивать уровень знаний, но не практические навыки решения профессиональных задач определенных классов. Проверка практических навыков возложена фактически непосредственно на преподавателя (проверка программного кода, визуальных и математических моделей и др.).

2) В связи с востребованностью ИТ-направлений подготовки, число студентов данных направлений является высоким, соответственно, при ручной проверке возрастает нагрузка преподавателя, увеличивается время на проверку работ, возможно снижение точности результатов оценивания.

3) Преподаватель осуществляет ручную разработку вариантов практических заданий. При этом варианты должны быть уникальными с учетом текущего, часто большого, числа студентов и одинакового уровня сложности. Указанные факторы также негативно отражаются на фактической трудоемкости при работе преподавателя.

4) Фактически отсутствуют технические возможности настройки ЖЦ каждой учебной работы (с требуемой степенью детализации, с учетом специфики дисциплины и методических требований) как последовательности состояний, в которых она может находиться в ходе выполнения и проверки. Соответственно,

отсутствует или в недостаточной степени представлена возможность отслеживать текущий статус учебной работы, проводить анализ различных аспектов учебного процесса.

5) Отчеты студентов и данные о результатах контроля знаний и навыков хранятся разрозненно, нет удобного в применении средства для ведения электронного архива учебных работ, визуализации и анализа данных с целью совершенствования методик обучения и контроля ИТ-специалистов.

Соответственно, актуальна задача разработки АСУ для управления ЖЦ учебных работ, использование которой позволит преодолеть отмеченный выше комплекс недостатков существующих процессов контроля знаний и навыков, соответственно, улучшить процесс подготовки ИТ-специалистов с точки зрения повышения уровня знаний и навыков и снижения трудоемких процедур проведения контрольных мероприятий преподавателем.

Автоматизированные системы управления освоением знаний и навыков в разных областях создавались в соответствии с развитием компьютерной техники и информационных технологий, и особенно широко внедряются, начиная с 2000-х годов, благодаря повсеместному распространению персональных компьютеров и Интернета.

Методом контроля формирования профессиональных компетенций при подготовке специалистов технических профилей, в том числе в сфере ИТ, подходы к автоматизации которого разработаны в наиболее значительной степени, являются тестирование. Разработке учебных курсов для подготовки ИТ-специалистов, включающих автоматизированное тестирование на основе определенных платформ, в частности, Moodle, посвящены статьи [3-5]. Однако тестирование не заменяет проверку практических навыков обучаемого специалиста.

Решение задач текущего исследования основано на обобщении опыта проанализированных научных работ по близкой тематике, при этом будет создана универсальная АСУ ЖЦ учебных работ при подготовке ИТ-специалистов, настраиваемая для различных профильных дисциплин, в значительной степени позволяющая автоматически осуществлять задачи по оценке выполнения практических заданий и контролю динамики процесса профессиональной подготовки специалистов.

Список литературы

1. Берестнев М.М., Латипов Ш.И., Полевщиков И.С. Совершенствование профессиональной подготовки разработчиков информационных систем на основе автоматизированного управления жизненным циклом учебных работ и тренажерных компонентов // Управление социально-экономическим развитием регионов: проблемы и пути их решения: Сборник научных статей 15-й Международной научно-практической конференции (27 июня 2025 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. ред.); в 2-томах; Том 1 - Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025, - С. 71-74.

2. Гришин М.Ю., Гудкова Е.А. Анализ и документирование требований для компьютерной игры в жанре платформер // Современные информационные технологии. 2024. № 40 (40). С. 105-109.

3. Самохвалов А.В., Соловьев Д.С., Скворцов А.А. Интерактивные тренажеры и их применение в процессе подготовки ИТ-специалистов в системе дистанционного обучения

Moodle // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2023. Т. 28. № 5. С. 1063-1076.

4. Андрианов И.А., Полянский А.М., Ржеуцкая С.Ю., Харина М.В. Диагностика результатов освоения компетенций в информационной среде обучения студентов ИТ-направлений // Открытое образование. 2023. Т. 27. № 4. С. 17-28.

5. Голунова Л.В., Функ А.В., Басев И.Н. Анализ качества тестовых материалов по общетехническим дисциплинам для транспортных специальностей // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения: Гуманитарные исследования. 2025. № 1 (24). С. 100-107.

¹*Berestnev Mikhail Mikhailovich, postgraduate student*

²*Latipov Sherzod Imom ugli, master's student in the direction of 27.04.04*

^{1,3}*Polevshchikov Ivan Sergeevich, Cand.Tech.Sci., associate professor*

¹*Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*

²*Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak branch, Russia*

³*Russian Biotechnological University, Moscow, Russia*

PROSPECTS FOR IMPROVING AUTOMATED SYSTEMS FOR CONTROL THE LIFE CYCLE OF EDUCATIONAL WORK IN THE TRAINING OF IT SPECIALISTS

Abstract. An analysis of a typical knowledge and skills assessment process for training IT specialists without the use of a specialized control system was conducted. The relevance of developing an automated lifecycle control system for academic work is substantiated. Its use will overcome a number of shortcomings in existing knowledge and skills assessment processes, thereby improving the IT specialist training process by increasing knowledge and skills and reducing the labor-intensive nature of instructor assessment procedures.

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-79-10162, <https://rscf.ru/project/23-79-10162/>.

Keywords: automated control system (ACS), life cycle of educational work, UML diagrams, LMS.

О ПРИМЕНЕНИИ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Божкова Анна Николаевна, студент

Жилейко Алёна Андреевна, студент

Нестеренко Елизавета Дмитриевна, студент

Воронов Александр Алексеевич, профессор

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г.Воронеж, Россия

Воронежский институт ФСИИ России, г.Воронеж, Россия

Статья посвящена анализу возможностей применения сетевых технологий внутри машиностроительных предприятий.

Ключевые слова: система, информация, машиностроительное предприятие.

iSCSI представляет собой технологию построения систем хранения данных (SAN) поверх существующей сети Ethernet. Эта технология направлена на миграцию к использованию IP-протокола. В процессе работы данные и команды SCSI инкапсулируются в IP-пакеты для последующей передачи по стандартной сетевой среде [1].

Для взаимодействия с устройствами хранения данных iSCSI серверу необходим iSCSI-инициатор, который может быть реализован как в виде программного обеспечения, так и аппаратного модуля [2]. Технология обеспечивает возможность подключения дисковых массивов к серверам, создавая иллюзию непосредственного подключения [3]. SAN предоставляет доступ к сетевым блочным ресурсам через протокол iSCSI, позволяя объединить компоненты системы хранения данных в единую высокопроизводительную сеть [4].

Применение технологии SCSI транспорта предоставляет возможности для организации отказоустойчивых кластеров, в которых один сервер подключается к четырем дисковым массивам [5], находящимся на большом расстоянии друг от друга на случай форс-мажорных обстоятельств.

Узлы системы хранения данных реплицируются между собой.

1. Storage 1.

1.1 Controller 1.

- RAID 6 на 5 дисках SATA.
- Обычный раздел на 1 диске.

1.2 Controller 2.

- RAID 6 на 7 дисках SAS.
- Обычный раздел на 1 диске (OS Windows Server).

2. Storage 2.

2.1 Controller 1.

- RAID 6 на 4 дисках SATA.

2.2 Controller 2.

- RAID 6 на 7 дисках SAS.
- Обычный раздел на 1 диске (OS Windows Server).

Современные системы хранения данных (СХД) (SAN) немислимы без использования коммутаторов [6]. Основная задача сетевого коммутатора, часто обозначаемого как "свитч", заключается в объединении различных элементов сети и быстрой доставке информации [7] нужному устройству. Коммутаторы классифицируются как умные устройства благодаря их способности анализировать адреса получателей данных. Эта технология, впервые представленная в 1990 году, стала ответом на потребность в более эффективных и защищенных сетях [8].

Для обеспечения стабильности и защиты от сбоев в сети хранения данных применяются различные методы резервирования ключевых компонентов, таких как блоки питания, каналы связи [9] и дисковые накопители. Гарантированное наличие данных достигается за счет механизмов проверки целостности информации, включая технологии RAID и дублирование узлов СХД [10].

Современные системы хранения данных чаще всего базируются на архитектуре SAN, поскольку она обеспечивает сохранность информации и использует технологию RAID. Без этой технологии даже самые современные хранилища станут неэффективными из-за возможной потери данных, связанной с отказами жестких дисков.

Эффективность работы подобных систем определяется множеством параметров, которые не всегда связаны напрямую с аппаратным обеспечением.

В частности, скорость обработки данных меняется в зависимости от типа доступа к ним (последовательный доступ обычно быстрее произвольного), размера блоков информации (работа с большими блоками эффективнее, чем с малыми) и баланса между операциями чтения и записи (преобладание записей негативно сказывается на скорости работы).

Таким образом, общая производительность системы хранения данных во многом определяется её организацией и оптимальной комбинацией свойств всех её составляющих элементов.

Именно на архитектуре SAN, вследствие ее положительных характеристик, формируется множество современных систем хранения данных, в основу которых положена практика сохранения целостности данных на базе технологии RAID, без которой даже технически продвинутая СХД станет бесполезной из-за ненадежности таких компонентов системы хранения, как жесткие диски.

Список литературы

1. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
4. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
9. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
10. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
11. Ватутин, Э. И. Выявление изоморфных вхождений R-выражений при построении параллельных алгоритмов логического управления / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов, В. С. Титов //

Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 2. – С. 37-45. – EDN JWZRON.

12. Ватутин, Э. И. Эвристический подход к распознаванию изоморфизма графов / Э. И. Ватутин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации : сборник материалов XII Международной научно-технической конференции, Курск, 12–16 мая 2015 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2015. – С. 80-83. – EDN TWIVZT.

13. Ватутин, Э. И. Определение степени параллелизма параллельной граф-схемы алгоритма / Э. И. Ватутин // Интеллектуальные и информационные системы : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 18–19 ноября 2009 года / Составители сборника: В.С. Карпов; А.С. Новиков. – Тула: Тульский государственный университет, 2009. – С. 24-26. – EDN SYAIZ.

14. Ватутин, Э. И. Построение блоков разбиения в задаче декомпозиции параллельных управляющих алгоритмов / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов // Материалы и упрочняющие технологии - 2003 : Сборник материалов X юбилейной Российской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 40-летию образования Курского государственного технического университета, Курск, 15–17 декабря 2003 года. Том Часть 2. – Курск: Курский государственный технический университет, 2003. – С. 38-42. – EDN STWHSP.

15. Учет алгоритмических особенностей задачи при генерации диагональных латинских квадратов / Э. И. Ватутин, А. Д. Журавлев, О. С. Заикин, В. С. Титов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 2(65). – С. 46-59. – EDN WWRKCL.

Bozhkova Anna Nikolaevna, student

Zhileiko Alyona Andreevna, student

Nesterenko Elizaveta Dmitrievna, student

Voronov Alexander Alekseevich, professor

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, Russia

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russia

ON THE USE OF NETWORK TECHNOLOGIES AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Annotation: The article is devoted to the analysis of the possibilities of using network technologies within machine-building enterprises.

Key words: system, information, machine-building enterprise.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА «СОРМАЙТ-2» ЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Болдырев Александр Александрович, к.т.н., доцент, доцент
(e-mail: alexboldyrev@yandex.ru)

Болдырев Александр Иванович, д.т.н., профессор, профессор
(e-mail: aiboldyrev@mail.ru)

Григораш Владимир Васильевич, к.т.н., доцент, доцент
(e-mail: grigorashvv@yandex.ru)

*Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

Родюков Илья Николаевич, инженер
(e-mail: rodyukovv.ilya@yandex.ru)

*Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики»,
г. Воронеж, Россия*

В статье показано, что обработка деталей из твердых сплавов сормайт-ов затруднена, поэтому для обработки таких деталей применено электроабразивное шлифование электронейтральным кругом. Изложена методика исследований. Описана конструкция круга-инструмента. Выявлены зависимости шероховатости обработанной поверхности от ширины токопроводящего сектора на круге, концентрации и давления электролита. Отмечено, что износ круга уменьшился в 2-3 раза по сравнению с обычным шлифованием.

Ключевые слова: твердый сплав, электроабразивное шлифование, электронейтральный круг.

Сплав «Сормайт-2» – литой высокоуглеродистый и высокохромистый твердый сплав (Fe – основа, Cr – 13-17 %, Mn – 1 %, Ni – 1,3-3,2 %, Si – 1,5-2,2 %, C – 1,5-2,0 %), характеризующийся твердостью 40-45 HRC и температурой плавления порядка 1300° С [1]. Сплав широко применяется в качестве наплавочного материала для повышения износостойкости поверхностей деталей машин, эксплуатирующихся в условиях интенсивного абразивного износа, в том числе – без смазки и при повышенных температурах [2]. Благодаря этому его применение при восстановлении изношенных деталей обеспечивает увеличение срока службы таких деталей в 2-3 раза по сравнению с новыми [3]. Обработка наплавленной сплавом «Сормайт-2» поверхности обычным способом (шлифованием) затруднена [4]. Для обработки этих поверхностей было применено электрохимическое шлифование (ЭХШ) сборным электронейтральным кругом.

Экспериментальные исследования выполнялись на переоборудованном для ЭХШ. Для обработки образцов, наплавленных сплавом, был изготовлен специальный круг. На рабочей поверхности круга МАЗЭ9А40Бсм1к5 были выполнены по радиусу шесть пазов. В эти пазы вставлялась секторная медная пластина, выполняющая роль электрода-инструмента. Таким образом, совмещались про-

цессы анодного растворения металла и механическая обработка абразивными зернами шлифовального круга. Ширина сектора пластины составляла 6, 9, 12, 15 и 18 мм. Толщина сектора электрода-инструмента принималась равной 2 мм. В качестве рабочей среды (электролита) использовался водный раствор NaCl концентрацией 10, 15 и 20 % при различных частотах вращения шлифовального круга. Давление электролита принималось 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 и 1,2 кПа. В процессе исследования измерялась шероховатость поверхности профилографом-профилометром модели «Абрис-ПМ7» при различных режимных параметрах обработки.

На основании полученных экспериментальных данных на рис 1 приведены зависимости изменения высоты микронеровностей R_a от ширины сектора B , концентрации C и давления электролита p . Анализируя полученные зависимости можно отметить следующее.

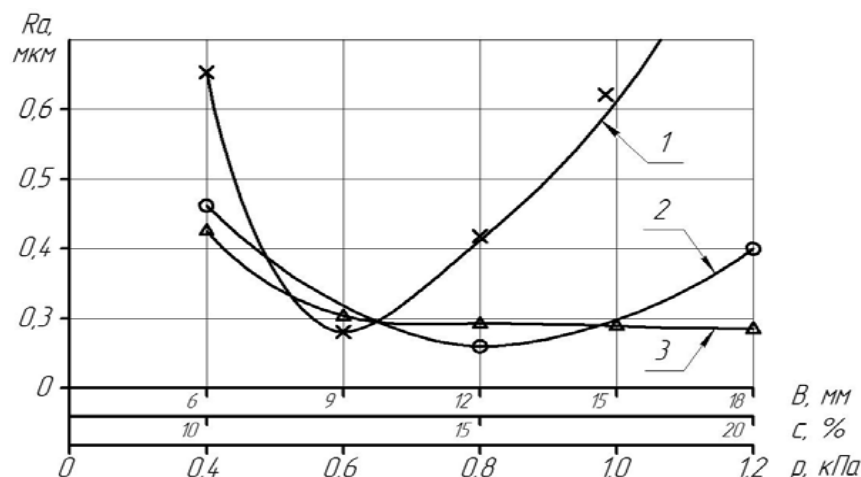


Рис. 1. Изменение высоты микронеровностей поверхности сплава «Сормайт-2» при ЭХШ в зависимости от:
1 – ширины сектора электрода-инструмента;
2 – концентрации электролита; 3 – давления электролита

Ширина сектора электрода-инструмента во многом определяет шероховатость поверхности сплава. При ширине 9 мм наблюдается наименьшая высота микронеровностей. Увеличение шероховатости с уменьшением ширины пластины объясняется тем, что при такой ширине наблюдается падение плотности тока, что ведет к снижению доли электрохимического растворения металла и увеличению доли абразивного резания. Увеличение ширины до 18 мм приводит к увеличению шероховатости, так как значительно возрастает плотность тока, при которой возникает уже электроэрозионный процесс.

Концентрация электролита во многом определяет плотность тока, а поэтому она в некоторой степени характеризует шероховатость поверхности. Как видно из рис. 1 в 15%-ном растворе NaCl получается поверхность малой шероховатостью.

Давление электролита в некоторой степени также определяет шероховатость обрабатываемой поверхности. При давлении менее 0,4 кПа скорость прокачки электролита небольшая, что обуславливает неполное удаление продуктов растворения. В межэлектродном зазоре увеличивается сопротивление, которое снижает плотность тока. С увеличением же давления до 0,9 кПа наблюдается уменьшение шероховатости. Дальнейшее увеличение давления не приводит к существенному изменению шероховатости поверхности.

Проведенные исследования показали, что скорость шлифовального круга незначительно влияет на высоту микронеровностей поверхности и износ при обработке в 2-3 раза меньше, чем при обычном абразивном шлифовании. Так, при вышеуказанной обработке в течение 30 мин вес круга уменьшился на 0,5 г, в то же время при обычном абразивном шлифовании – на 1,6 г.

Таким образом, можно отметить, что при ЭХШ сплава «Сормайт-2» высота микронеровностей в основном определяется шириной сектора электрода-инструмента и концентрацией электролита.

Применение сборного электрона трального абразивного круга с шириной сектора 9 мм повышает производительность процесса обработки твердого сплава, уменьшает высоту микронеровностей и в 2-3 раза снижает износ шлифовального круга по сравнению с обычной абразивной обработкой.

Список литературы

1. Морозов А.В., Яковлев С.А. Материаловедение: лабораторный практикум. Ульяновск: УлГТУ, 2019. 152 с.
2. Структурно-технологическая модель изнашивания наплавочных материалов на основе Fe-Cr-Ni-Mo и Fe-Co-Ni-Mo / Н.Б. Фомичева [и др.] // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2019. № 3. С. 57-64.
3. Петрижик М.И., Левашов Е.А. Современные методы изучения функциональных поверхностей перспективных материалов в условиях механического контакта // Кристаллография. 2017. Т. 52. № 6. С. 1002-1010.
4. Ревенко Д.В. Исследование износостойкости деталей с наплавками из сормайтов после алмазного шлифования / Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». 2013. Вип. 139. С 190-184.

Boldyrev Alexander Alexandrovich, Cand. Tech. Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Boldyrev Alexander Ivanovich, Doct. Tech. Sci., professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Grigorash Vladimir Vasilyevich, Cand. Tech. Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Rodyukov Ilya Nikolaevich, engineer

Joint stock company «Design Bureau of Chemical Automation», Voronezh, Russia

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE ELECTROCHEMICAL GRINDING PROCESS OF PARTS MADE OF THE "SORMITE-2" HARD ALLOY USING AN ELECTRO-NEUTRAL TOOL

Abstract. The article demonstrates that machining parts made of hard Sormite alloys is challenging, therefore, electro-abrasive grinding with an electro-neutral wheel is used for processing such parts. The research methodology is outlined. The design of the wheel-tool is described. The dependencies of the roughness of the machined surface on the width of the conductive sector on the wheel, the concentration, and pressure of the electrolyte are identified. It is noted that wheel wear decreased by 2-3 times compared to conventional grinding.

Keywords: hard alloy, electro-abrasive grinding, electro-neutral wheel

**ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ШЛИФОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ РАКЕТНО-
КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ**

Болдырев Александр Александрович, к.т.н., доцент, доцент
(e-mail: alexboldyrev@yandex.ru)

Болдырев Александр Иванович, д.т.н., профессор, профессор
(e-mail: aiboldyrev@mail.ru)

Григораш Владимир Васильевич, к.т.н., доцент, доцент
(e-mail: grigorashvv@yandex.ru)

Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия

Родюков Илья Николаевич, инженер
(e-mail: rodyukovv.ilya@yandex.ru)

Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики»,
г. Воронеж, Россия

В статье показаны результаты исследований характеристик поверхностного слоя деталей из жаропрочных сплавов после обработки шлифованием.

Ключевые слова: жаропрочные сплавы, шлифование, поверхностный слой, физико-механические свойства.

Для установления влияния оптимальных по производительности условий абразивного шлифования на состояние поверхностного слоя жаропрочных сплавов [1] выполнены экспериментальные исследования микроструктуры и наклепа образцов из деформируемой стали ХН77ТЮР (ГОСТ 5632-2014). Образцы вырезались из полуколец, которые обрабатывались способом врезного шлифования на режимах резания, приведенных в табл. 1

Металлографический анализ позволил установить, что микроструктура поверхностного слоя исследованных образцов представляет собой зерна твердого раствора с выделением интерметаллидов и карбидов главным образом по границам зерен (частично внутри зерен) [2].

Исследования всех испытанных образцов показали, что в их поверхностном слое отсутствуют какие-либо структурные изменения. Следовательно, при абразивном шлифовании деформируемой стали ХН77ТЮР на указанных режимах резания с использованием в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости водного раствора кальцинированной соды или смеси сульфокрезол с дизель-

ным топливом не происходит изменения микроструктуры поверхностного слоя стали.

На косых шлифах определялись микротвердость и глубина наклепанного слоя. Для этого использовался микротвердомер модели ПМТ-3 с давлением на алмазную пирамидку в 100 гс.

Таблица 1 – Режимы обработки полуколец из деформируемой стали ХН77ТЮР

Номер образца	Характеристика шлифовального круга	Режимы шлифования	Смазывающе-охлаждающая жидкость
1	М16МЗК, острый	$v_k = 35$ м/с $v_d = 50$ м/мин $t = 0,1$ мм/мин	1% водный раствор кальцинированной соды (Na_2CO_3)
2	М16МЗК, затупленный	$v_k = 35$ м/с $v_d = 50$ м/мин $t = 0,2$ мм/мин	
3	М16МЗК, острый	$v_k = 35$ м/с $v_d = 50$ м/мин $t = 0,1$ мм/мин	Сульфокрезол + 10 % дизельного топлива
4	М16МЗК, затупленный	$v_k = 35$ м/с $v_d = 50$ м/мин $t = 0,2$ мм/мин	

Установлено, что образцы 1 и 3, обработанные острым шлифовальным кругом, имели в поверхностном слое меньшую микротвердость (504 на расстоянии 0,001 мм от наружной поверхности), чем образец 4, обработанный затупленным кругом (555 на расстоянии 0,0009 мм от наружной поверхности). По мере удаления от наружной поверхности отмечалось постепенное снижение микротвердости.

Из проведенных экспериментов следует, что при шлифовании стали ХН77ТЮР на рекомендуемых режимах происходит некоторое повышение микротвердости поверхностного слоя (наклеп) на глубину до 0,007 мм, а при работе затупившимся кругом – на глубину до 0,01 мм. При этом состав смазывающе-охлаждающих жидкостей, примененных в экспериментах, практически не влияли на глубину наклепанного слоя.

Глубина и степень наклепа поверхностного слоя деформируемой стали ХН77ТЮР после абразивного шлифования определены также посредством рентгеновского исследования. Четыре образца, подвергнутые испытаниям, были вырезаны из тех же полуколец, что и образцы для металлографических исследований (табл. 1). Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Как видно, выявленная в данном исследовании глубина наклепа превышает данные измерения микротвердости, произведенного на косых шлифах. Глубина наклепа колеблется в пределах от 0,02 до 0,045 мм; большие значения относят-

ся к работе затупленным инструментом (шлифовальным кругом) при больших поперечных подачах с $t = 0,02$ мм/дв. ход. Степень наклепа изменялась в пределах от 5 до 26 %.

Таблица 2 – Результаты рентгеновского исследования образцов

Номер образца	Глубина наклепа, мм	Степень наклепа, %
1	0,020	5
2	0,040	20
3	0,030	8
4	0,045	26

Как видно, выявленная в данном исследовании глубина наклепа превышает данные измерения микротвердости, произведенного на косых шлифах. Глубина наклепа колеблется в пределах от 0,02 до 0,045 мм; большие значения относятся к работе затупленным инструментом (шлифовальным кругом) при больших поперечных подачах с $t = 0,02$ мм/дв. ход. Степень наклепа изменялась в пределах от 5 до 26 %.

Ниже приведены результаты металлографического анализа и измерения микротвердости на косых шлифах жаропрочных литых сплавов ЖСЗ, ЖС6 и ХН77ТЮР. Шлифование исследованных образцов производилось кругами М16МЗ-СМ1К при следующих режимах резания: $v_k = 35$ м/с, $v_d = 60$ м/мин, $s_n = 0,1$ мм/об, $t = 0,02$ мм/дв. ход.

Микроструктура шлифованной поверхности исследованных образцов представляет собой зерна твердого раствора и интерметаллиды. В литой стали ХН77ТЮР интерметаллиды расположены по границам и внутри зерен в виде отдельных небольших включений. В сплаве ЖСЗ вторая фаза в виде отдельных очень мелких включений расположена по границам и вблизи границ зерен. В сплаве ЖС6 вторая фаза имеет вид отдельных включений.

Так же, как и у деформируемой стали ХН77ТЮР, после шлифования литых сплавов ЖСЗ, ЖС6 и ХН77ТЮР на приведенном режиме резания в их поверхностном слое не обнаружено каких-либо структурных изменений.

Предпринятые попытки измерить микротвердость интерметаллидной фазы на образцах исследованных литых сплавов завершились удачей лишь со сплавом ЖС6, в сплавах ЖСЗ и ХН77ТЮР вторая фаза имеет слишком малые размеры. Микротвердость сплава ЖС6, измеренная на ПМТ-3 при нагрузке 20 гс, составляла 320-350, а микротвердость второй фазы этого сплава равна 700-900.

Измерения микротвердости на косых срезах показали, что при шлифовании исследованных литых жаропрочных сплавов происходит небольшой наклеп поверхностного слоя. Так, у сплава ЖСЗ на расстоянии 0,0022 мм от наружной поверхности микротвердость составляет 504, а на глубине 0,01 мм она снижается до 357. У сплава ЖС6 ЖСЗ на расстоянии 0,0026 мм от наружной поверхности микротвердость выражается числом 474, а на глубине 0,0078 мм – числом 421, которое не изменяется при дальнейших измерениях в глубь материала об-

разца. Практически такие же результаты получены и для литой стали ХН77ТЮР.

Результаты проведенных исследований по определению характеристик поверхностного слоя деталей из деформируемых и литых жаропрочных сплавов после отделочной обработки абразивным шлифованием позволяют прогнозировать эксплуатационные показатели изделий ракетно-космической техники [3] и при необходимости вносить изменения в технологии их изготовления.

Список литературы

1. Тарасенко Л.В., Унчикова М.В., Бондаренко Ю.А. Жаропрочные сплавы с ориентированной структурой (монокристаллические, эвтектические, интерметаллические). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 24 с.
2. Федоров Д.Г., Евдокимов Д.В., Пластинин А.А. Шлифование жаропрочных сплавов. Краткий литературный обзор // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. № 2. С. 129-133. Т. 20.
3. Аверков К.В., Реченко Д.С. Повышение качества обработанной поверхности при шлифовании жаропрочных сплавов на никелевой основе // Омский научный вестник. 2011. № 4. С. 61-64.

Boldyrev Alexander Alexandrovich, Cand. Tech. Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Boldyrev Alexander Ivanovich, Doct. Tech. Sci., professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Grigorash Vladimir Vasilyevich, Cand. Tech. Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Rodyukov Ilya Nikolaevich, engineer

Joint stock company «Design Bureau of Chemical Automation», Voronezh, Russia

STUDY ON PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF THE SURFACE LAYER OF GROUND COMPONENTS FOR ROCKET AND SPACE EQUIPMENT MADE FROM HEAT-RESISTANT ALLOYS

Abstract. This article presents the results of an investigation into the characteristics of the surface layer of parts made from heat-resistant alloys after grinding.

Keywords: heat-resistant alloys, grinding, surface layer, physical-mechanical properties.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЙ

Бородин Алексей Владимирович, магистр

Bob.borodin.alexey@mail.ru

Гуреев Юрий Анатольевич, кандидат технических наук

yuriy.gureev@mail.ru

*Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова,
г.Курск, Россия*

В статье рассматриваются современные подходы к оптимизации проектных решений при модернизации сельскохозяйственных предприятий России. Применяются CAD/BIM технологии, цифровые двойники и IoT системы для повышения эффективности, энергоэкономичности и ресурсосбережения. Отмечены финансовые и инфраструктурные ограничения внедрения инноваций. Рассмотрены направления модернизации и рационализации производственных процессов. Статья подчёркивает значение цифровизации для устойчивого развития АПК.

Ключевые слова: АПК России, модернизация, цифровизация, энергоэффективность, автоматизация, IoT, цифровой двойник

Модернизация агропромышленного комплекса России играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны, особенно в условиях роста внутреннего спроса и ограничений импорта [1]. Оптимизация проектных решений на сельхозпредприятиях становится необходимостью из-за устаревших схем планировки производственных участков и неэффективного использования ресурсов. Традиционные объекты животноводства и переработки, построенные по нормам 80–90-х годов, имеют высокий удельный расход электроэнергии и тепла. Например, в коровниках старого типа уровень энергопотребления достигает 40–45 кВт·ч на голову в месяц, тогда как современные комплексы, оснащённые системой вентиляции с частотными преобразователями и светодиодным освещением, снижают этот показатель до 25–28 кВт·ч. Низкая энергоэффективность также проявляется в отсутствии автоматизированных систем учёта воды и тепла, что приводит к перерасходу до 20 %. При проектировании новых объектов применяется техника с интеграцией цифровых систем, таких как доильные залы DeLaval Parallel и кормораздатчики KUHN SPW Intense, позволяющие управлять процессами через ПО SmartDairy. Оптимизация проектных решений направлена на сокращение эксплуатационных расходов за счёт рационального расположения производственных зон, установки энергоэкономичных двигателей IE3, внедрения теплоутилизаторов в молочных блоках и перехода на системы автоматизированного управления микроклиматом. Всё это позволяет повысить устойчивость предприятия, снизить себестоимость продукции и стабилизировать производственные циклы независимо от сезонных факторов.

Техническое перевооружение включает замену линейного оборудования и внедрение модульных решений: на молочных фермах ставят доильные роботы Lely Astronaut A5 и автоматические кормораздатчики Trioliet Solomix с контролем порций по RFID, в зернохранилищах устанавливают зерносушилки с рекуперацией тепла (пальцевые сушилки с КПД теплообмена >75%) и современную вентиляцию с частотными приводами ABB ACS880 и двигателями класса IE3 [2]. Внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий опирается на ISO 50001 и локальные СНиП при проектировании: ставят солнечные фотомодули с инверторами SMA Sunny Tripower для собственных ОЭС, теплоутилизаторы в молочных блоках, насосы с управлением по давлению Grundfos Magna3 (экономия электроэнергии до 30%) и системы капельного орошения с контроллерами Hunter и датчиками влажности почвы [3]. Современные подходы к сетям — модульная разводка инженерии с применением ПП труб и предизолированных тепловых узлов, SCADA/PLC на базе Siemens Simatic или Schneider EcoStruxure для интеграции данных, 1C:ERP и MES для планирования смен и учёта топлива; это позволяет проектировать блоки с учетом логистики техники (ширина проездов, грузоподъёмность полов, зоны разгрузки) и облегчает поэтапную реконструкцию без остановки производства.

Оптимизация проектных решений требует комплексного подхода: технологические схемы, энергоснабжение, архитектура корпусов и экономика рассматриваются как единая система. Технологически это означает согласование поточных линий, подбор оборудования по реальным нагрузкам и стандартизованным интерфейсам — например, использование модульных молочных блоков с доильными залами и встроенными теплообменниками, насосными станциями с частотным управлением (VSD на базе ABB ACS880) и асинхронными двигателями класса IE3. Энергетически проект включает выполнение требований ISO 50001 и внедрение энергосберегающих контуров: рекуператоры тепла на молочном и перерабатывающем оборудовании, буферные ёмкости с теплоизоляцией по СНиП, преобразователи солнечной энергии на базе инверторов Sunny Tripower и PERC-панелей. Архитектурно важно рационально размещать зоны приёма, хранения и переработки для сокращения внутриплощадочной логистики и длины инженерных трасс; это снижает потери при транспортировке зерна и сырья [4]. С экономической точки — оптимизация обеспечивает снижение капитальных и эксплуатационных расходов через модульность, стандартизацию узлов и применение автоматизации на PLC/SCADA, что уменьшает кадровую нагрузку и повышает надёжность работы.

Оптимизация проектных решений невозможна без автоматизированных систем проектирования. CAD-платформы, такие как AutoCAD Plant 3D и Compass 3D, используются для построения точных схем технологических линий, расчёта нагрузок на конструкции и трассировки инженерных сетей с учётом реальных характеристик оборудования. BIM-технологии позволяют создавать информационные модели зданий и производственных корпусов, где отображаются все коммуникации, энергопотребление и спецификация материалов. При модернизации фермы или перерабатывающего комплекса проектировщик через BIM-

модель видит узкие места — например, избыточные длины трубопроводов, ошибки в вентиляции или потери тепла. Это даёт возможность заранее изменить компоновку без переделок в реальном строительстве. Применение цифровых двойников стало стандартом для крупных предприятий: создаётся виртуальная копия линии — зерносушильного блока, молочного цеха или котельной — где проверяются сценарии нагрузки, пуско-наладка и энергобаланс. Такие модели подключаются к системам управления SCADA или IoT-платформам, которые собирают данные с датчиков температуры, вибрации, уровня жидкости. Системы мониторинга, построенные на IoT, позволяют в реальном времени отслеживать состояние насосов, электродвигателей, вентиляторов и сразу фиксировать отклонения по токам и давлениям. Это снижает риск аварий, продлевает срок службы оборудования и упрощает планирование ремонтов. Основные барьеры внедрения оптимизационных решений — финансовые и кадровые. Капитальные затраты на проектные работы и оборудование (например, доильные роботы, биогазовые установки мощностью 100–500 кВт, частотные приводы и инверторы для ОЭС) требуют вложений, возвращающихся годами; малые фермы не всегда проходят по критериям субсидий, поэтому распространены схемы лизинга и этапного ремонта. Низкая цифровая грамотность и дефицит инженеров с навыками PLC/SCADA, BIM и промышленного IoT осложняет эксплуатацию автоматизации и повышает риск простоя при пусках; обучение занимает месяцы и требует методик по локальным ГОСТ/СНиП. В сельских районах ограничен доступ к лицензионным CAD/BIM и облачным IoT-платформам из-за скорости интернета и стоимости подписок. Наконец, совместимость: старые силовые сети, устаревшие насосные и вентиляционные узлы часто не допускают прямой интеграции с modern PLC без замены трансформаторов, добавления ПЧ и ресиверов, что увеличивает score работ и бюджет проекта.

Оптимизация проектных решений при модернизации сельхозпредприятий — это ключевое направление развития агропромышленного комплекса России, напрямую влияющее на эффективность производства и продовольственную безопасность страны. Современные подходы проектирования с применением CAD/BIM-систем, цифровых двойников и автоматизированного управления позволяют уже на стадии проектирования снизить издержки и сократить сроки ввода объектов в эксплуатацию. Внедрение энергоэффективного оборудования, рекуперационных систем, автоматизированных линий и IoT-мониторинга делает сельхозпроизводство более стабильным и предсказуемым. Несмотря на финансовые и кадровые ограничения, в России формируется устойчивая тенденция перехода к цифровому и рациональному проектированию [5]. Развитие господдержки, лизинговых программ и отечественного софта постепенно делает эти технологии доступными даже для малых хозяйств. Грамотная оптимизация проектных решений позволяет не просто обновлять технику, а создавать полностью новые производственные модели, где технологичность, энергосбережение и экономическая эффективность становятся единой системой управления.

Список литературы

1. Михайлушкин П. В., Баранников А. А. Модернизация аграрного производства России: инновационный аспект // Молодой учёный. – 2012. – № 8 (43). – С. 129–134. – URL: <https://moluch.ru/archive/43/5251> (дата обращения: 03.11.2025).
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: утв. приказом Минтруда России № 246н от 19.03.2021. – М.: Минтруд России, 2021.
3. Основные направления модернизации аграрной отрасли в России // Научный журнал. – 2019. – № 2. – С. 109–115.
4. ГОСТ 29143–91. Зерно и зернопродукты. Определение влажности (рабочий контрольный метод). – Введ. в действие 01.10.1992. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
5. Холодов Д. С., Лепшеев А. Н., Гуреев Ю. А. Повышение эффективности технологий производства в агроинженерии // В кн.: Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК: сб. науч. стат. III Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, аспирантов, магистров и бакалавров. – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 184–187. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80508146> (дата обращения: 03.11.2025).

Borodin Alexey Vladimirovich, Master's Degree

Bob.borodin.alexey@mail.ru

Yuri Anatolyevich Gureev, Candidate of Technical Sciences

yuriy.gureev@mail.ru

I.I. Ivanov Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

OPTIMISATION OF DESIGN SOLUTIONS FOR THE MODERNISATION OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

Abstract. The article discusses modern approaches to optimising design solutions when modernising agricultural enterprises in Russia. CAD/BIM technologies, digital twins and IoT systems are used to improve efficiency, energy efficiency and resource conservation. Financial and infrastructural constraints on the introduction of innovations are noted. Areas for modernisation and rationalisation of production processes are considered. The article emphasises the importance of digitalisation for the sustainable development of the agro-industrial complex.

Keywords: Russian agro-industrial complex, modernisation, digitalisation, energy efficiency, automation, IoT, digital twin

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД

Бреев Андрей Анатольевич, аспирант

(e-mail: brand@gagarinbit.ru)

Корниенко Дмитрий Васильевич, к. физ.-мат. н, доцент

(e-mail: dm Kornienko@mail.ru)

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Россия

В работе представлена модель взаимодействия в проектных командах, направленная на повышение результативности внедрения корпоративных информационных систем. На основе проведенного исследования, сфокусированного на решениях ИС, авторы определяют критически важные условия эффективности: прозрачность ролей, отлаженные коммуникационные каналы и применение современных средств управления задачами.

Ключевые слова: командная разработка, управление задачами, проектное управление, ИС.

Необходимость совершенствования взаимодействия в проектных командах продиктована двумя ключевыми факторами: развитием информационных технологий и сложностью современных программных продуктов. Особенно остро эта задача стоит в проектах внедрения корпоративных систем на платформе ИС, которые отличаются высокой адаптивностью и требуют погружения в специфику деятельности предприятия [1]. Применение стандартных методологий управления ИТ-проектами (например, Agile, Scrum) в данном контексте имеет свою специфику. Она обусловлена итеративным характером работ и критически важной ролью непрерывного взаимодействия с ключевыми пользователями на этапах разработки и тестирования [2].

В современных условиях, когда процессы управления, технологии и социальные аспекты тесно переплетены, сложные ИТ-задачи невозможно решить силами одного эксперта. Это порождает спрос на кросс-функциональные команды, собранные из разных профессиональных областей. Умение работать в таком формате напрямую влияет на конкурентоспособность и эффективность компании на рынке.

Хотя моделирование взаимодействия в ИТ-проектах имеет научную базу, его применение к проектам внедрения ИС осложнено специфическими особенностями таких проектов и изучено не в полной мере.

В рамках настоящего исследования, опираясь на положения стандарта РМВОК, проект понимается как временная инициатива, нацеленная на создание уникального продукта, услуги или результата [3]. Его временная природа обуславливает специфику управления проектом в целом и управления человеческими ресурсами в частности.

При планировании кадрового обеспечения ключевое внимание уделяется формированию проектной команды — группы людей, объединённых общими целями, обладающих необходимыми компетенциями для выполнения задач в

установленные сроки и в рамках выделенных ресурсов и подотчётных руководству проекта. Команда создаётся индивидуально под конкретный проект с учётом технических требований, функциональных ролей и личностных качеств участников, которые могут быть как штатными сотрудниками организации, так и привлечёнными специалистами.

Формирование команды часто описывается через модели стадийности, такие как модель Такмана, которая выделяет пять этапов: формирование, конфликт (шторм), нормирование, выполнение и завершение. Общая логика этих этапов предполагает знакомство участников, выработку общих целей, выбор лидера, укрепление сплочённости, установление норм и правил, а затем — переход к совместной работе для достижения результатов.

Согласно модели Такмана, групповая активность развивается в двух сферах: деловой и межличностной.

- Деловая активность включает ориентацию в задаче, эмоциональную реакцию на её требования, открытый обмен мнениями и, наконец, принятие решений.

- Межличностная активность особенно ярко проявляется на конфликтной стадии, когда участники, реагируя на требования задачи, переживают эмоциональную напряжённость из-за различий во мнениях. На этом этапе решения часто принимаются самостоятельно, без поддержки руководителя, что сопровождается борьбой за влияние, доказательством своей точки зрения и формированием группировок. Мотивацией служат авторитет и социальное одобрение. Неэффективное управление на этой стадии грозит распадом команды из-за неразрешённых противоречий. Чтобы избежать этого, команде необходимо фокусироваться на общих целях, отвлекаясь от межличностных конфликтов, и идти на компромиссы.

Для анализа и оптимизации управления проектными командами сегодня применяются инструменты теории игр [4], широко используемой в психологии, политологии, экономике и социологии. Теория игр разделяется на два основных направления:

1. Некооперативные игры, где каждый участник стремится к индивидуально оптимальному результату (равновесие Нэша).

2. Кооперативные игры, где участники могут образовывать коалиции для достижения общих целей, а анализ сосредоточен на взаимодействиях внутри групп.

Поскольку данное исследование сфокусировано на внутренних проблемах команды, в нём применяется кооперативный подход. Однако, при возникновении конфликтов и необходимости централизованного управления, используется модель иерархической игры. В этой модели взаимодействие выстраивается вокруг центрального органа (управляющего центра), который устанавливает правила для остальных участников (команды). Таким образом, в работе модель коллективного принятия решений рассматривается как иерархическая игра с двумя игроками: управляющим центром (делающим первый ход и задающим правила) и подчинённой командой. Для построения решений используется модель стимулирования, учитывающая воздействие центра как на команду в целом, так и на отдельных её членов [5].

Анализ концептуальной модели взаимодействия, построенной в исследовании, выявил ключевую проблему: до 70% коммуникаций в проектах внедрения

ИС сосредоточено на фазах обследования и проектирования [6]. Для повышения эффективности коллаборации именно на этих этапах предложены меры: стандартизация процессов сбора требований, вовлечение ключевых пользователей и применение визуального моделирования. Их реализация, как показала модель, может уменьшить общую длительность проекта на 10-15%.

Имитационное моделирование показало, что рост интенсивности коммуникаций между смежными специалистами (бизнес-аналитик — архитектор и др.) на 20% снижает число итераций и переделок в среднем на 12%. Однако увеличение времени на взаимодействие свыше 40% вызывает информационную перегрузку и падение личной продуктивности до 25%. Оптимальным балансом, согласно модели, является соотношение 25-30% на коммуникации к 70-75% на индивидуальную работу.

Важным итогом работы стали практические рекомендации по оптимизации командного взаимодействия при внедрении ИС. Были предложены:

- Адаптированная матрица ответственности (RACI) для типовых проектных ролей, снижающая риски дублирования задач и ускоряющая принятие решений на 15-20%.
- Шаблон коммуникационного плана с регламентами, графиком совещаний и процедурами эскалации, использование которого сокращает время на координацию и коммуникационные сбои на 25-30%.

Исследование сформировало целостное видение взаимодействия в проектных командах по внедрению ИС. Оно определило ключевые факторы успешной коллаборации и выработало практические рекомендации по ее улучшению. Разработанные концептуальная и имитационная модели открывают возможности для дальнейшего анализа командной динамики в ИТ и создания интеллектуальных систем поддержки решений для управления совместной работой. Применение этих наработок в проектном управлении позволит повысить эффективность и качество внедрения корпоративных систем, минимизировав риски и издержки, обусловленные человеческим фактором.

Список литературы

1. Бреев А.А. Моделирование процессов взаимодействия участников рабочих команд при внедрении сложных программных продуктов / Д. В. Корниенко, А. А. Бреев // Computational Nanotechnology. 2024. Т. 11, № 1. С. 57-67. DOI 10.33693/2313-223X-2024-11-1-57-67.
2. José Abdelnour Nocera, Helen Sharp. Adopting Agile in a large organization: a Story of Sociotechnical Change. Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming: 9th International Conference, XP 2008, Limerick, Ireland, June 10-14, 2008. Proceedings. DOI: 10.1007/978-3-540-68255-4
3. Рач В.А. Управление рисками проекта: общее и различия PMBOK 4 и PMBOK 5 / В.А. Рач, Н.А. Борулько // Управление проектами и развитие производства. 2014. №. 1 (49). С. 5–16.
4. Колесник Г.В. Теория игр с приложениями к моделированию экономических систем. М.: Ленанд, 2017. 256 с.
5. Новиков Д. А. Математические модели формирования и функционирования команд / Д. А. Новиков. Москва : ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература". 2008. 184 с.
6. Пронюшкина Т. Г. Модель формирования графической культуры как системообразующей составляющей конкурентоспособности будущего инженера // Сибирский педагогический журнал. 2008. № 4. С. 186-196.

Kornienko Dmitry Vasilevich, Cand. Sci. (physics and mathematics); associate professor
Bunin Yelets State University. Yelets, Russia

Breev Andrey Anatolevich, PhD student
Bunin Yelets State University. Yelets, Russia

KEY FACTORS INFLUENCING THE EFFECTIVENESS OF INTERACTION BETWEEN PROJECT TEAM MEMBERS

Abstract. This paper presents a model of collaboration within project teams aimed at improving the effectiveness of corporate information system implementation. Based on a study focused on IC solutions, the authors identify critical factors for effectiveness: role transparency, streamlined communication channels, and the use of modern task management tools.

Keywords. team development, task management, project management, IC.

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Бутиков Николай Андреевич, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Агрофизический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия

Зокиров Мухаммаджон Махмуджонович, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт
"Электроприбор", г. Санкт-Петербург, Россия

Иванов Владислав Олегович, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "Научно-технический центр единой энергетической системы",
г. Санкт-Петербург, Россия

Калинин Никита Андреевич, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Балтийская академия туризма и предпринимательства,
г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются некоторые особенности управления транспортными предприятиями.

Ключевые слова: управление, транспортное предприятие.

В течение последнего десятилетия резко ухудшились показатели использования транспортных средств. Из-за недостатков в организации перевозочного процесса возникают непроизводительные простои транспортных средств, что снижает их эффективность. В процессе доставки каждая тонна груза подвергается многократным перегрузочным операциям, что вызывает гигантскую дополнительную работу и снижает скорость доставки, которая в среднем превышает 8-10 км/ч. По причине частных перегрузок и недостаточной контейнеризации перевозок растет трудоемкость операций и численность работников, занятых на транспорте. Малые скорости доставки грузов и пассажиров, низкое

качество транспортного обслуживания хозяйства и населения принято объяснять недостатками технических возможностей транспорта [1].

Исследованиями установлено, что доля транспорта в валовом общественном продукте составляет 58%, на долю транспорта приходится примерно пятая часть стоимости основных производственных фондов, капиталовложения в транспорт составляют 10-12% всех капиталовложений в мировое хозяйство. Транспортные расходы входят значительной частью в стоимость продукции промышленности [2] и сельского хозяйства. Эти цифры говорят о том, что транспорт представляет собой дорогостоящий хозяйственный комплекс, тесно связанный с другими отраслями экономики. Анализ статистических данных, однако, показывает, что транспорт отстаёт от растущих потребностей [3] экономики и населения даже в развитых странах. В современных условиях единственно возможным механизмом увеличения объемов грузооборота и качества перевозок остается планомерное совершенствование управления [4] транспортом, повышение уровня консолидации между сегментами транспортного потенциала, планомерное и пропорциональное развитие всех звеньев транспортной системы страны. В результате перехода транспортной отрасли на рыночные отношения роль эффективного управления [5] на всех уровнях еще более возрастет. Постоянно усложняющаяся система общественно-производственной деятельности населения, связанной с перемещением готового продукта из места производства в место его назначения, пространственно-отделённого от него, и является предметом науки управления [6] на транспорте.

Основными вещественными составляющими этого процесса являются:

- погрузочно-разгрузочные машины и механизмы;
- материалы, топливо и электроэнергия [7];
- промышленные предприятия по производству и ремонту транспортных средств и подвижного состава;
- пути сообщения разных видов транспорта с расположенными на них постоянными устройствами и средствами;
- транспортные средства разных видов транспорта [8].

Для начала этого процесса и приведения в действие всех задействованных элементов нужны огромные трудовые ресурсы [9]. Поэтому основным содержанием процесса управления на транспорте является объединение, координация и обеспечение эффективного использования вещественных и трудовых элементов транспортного предприятия. Транспортная отрасль может быть представлена управляющей подсистемой - которая осуществляет интегративную «управленческую функцию» и управляемой подсистемой, которая осуществляет процесс транспортного производства в транспортном потенциале («технологическую функцию»). Управляемая подсистема состоит из двух блоков: технический - постоянные устройства и подвижной состав, и технологический - совокупность или набор правил, определяющих последовательность операций и процессов [10], связанных с выполнением перевозок. Необходимым условием транспортного производства является тесная связь и консолидация технической и технологической частей управляемой подсистемы. Процесс пе-

ремещения собственно и есть соединение технической и технологической частей в функционирующий комплекс посредством приложения физических усилий и знаний производственного персонала. Но чтобы процесс перемещения грузов стал целенаправленным, его надо скоординировать, т.е. подключить управляющую подсистему. Это и будет достаточным условием транспортного процесса. Предметом науки менеджмент на транспорте является управление как интегративная информационная функция, включающая в свой состав руководство, планирование, организацию, управление, регулирование и контроль.

Система управления транспортом носит иерархический (многоуровневый) характер. В ней можно условно выделить следующие уровни: народнохозяйственный, отраслевой и региональный.

Управление транспортом опирается на совокупность методов. Метод - с греческого - приём, способ действия, а применительно к управлению - приём или способ управленческой деятельности, решения той или иной управленческой задачи. Совокупность способов управления на транспорте можно представить состоящей из экономических, административных (организационно-распорядительных) и социально-психологических методов. Один из возможных и наиболее надёжных методов решения задачи состоит в чёткой постановке заданий каждому производственному звену, стимулирование за качественное выполнение, материальные санкции за срыв задания. Такой подход к решению управленческой задачи относится к экономическим методам управления. Ту же задачу можно решить по-другому: в случае срыва задания издать приказ о наказании виновных в нарушении технологии. Такой способ решения управленческой задачи можно отнести к административным методам.

Список литературы

1. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
2. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
3. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
4. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.

8. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.

9. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.

10. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).

11. Расчёт вероятности возникновения коллизий при использовании алгоритма контроля подлинности сообщений/ Таныгин М.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2-2. С. 179-182.

12. Определение погрешностей при использовании низкочастотной аппаратуры в электроразведке на постоянном токе/ Шкуратник В.Л., Таныгин О.Ф., Таныгин М.О.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 142-144.

13. Верификация данных, передаваемых между устройством и программным обеспечением/ Таныгин М.О.// Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2010. № 2. С. 49-52.

14. Об одном методе контроля целостности передаваемой поблоково информации/ Таныгин М.О., Алшааи Х.Я., Алтухова В.А.// Телекоммуникации. 2019. № 3. С. 12-21.

15. Теоретические основы идентификации источников информации, передаваемой блоками ограниченного размера/ Таныгин М.О.// Курск, 2020.

16. Организация системы сетевого мониторинга и оценки состояния информационной безопасности объекта/ Марухленко А.Л., Селезнёв К.Д., Таныгин М.О., Марухленко Л.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23. № 1. С. 118-129.

Butikov Nikolay Andreevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

Zokirov Muhammadjon Makhmudjonovic, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

JSC "Concern "Central Research Institute "Elektropribor"

Ivanov Vladislav Olegovich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Scientific and Technical Center of the Unified Energy System, St. Petersburg, Russia

Kalinin Nikita Andreevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Baltic Academy of Tourism and Entrepreneurship, St. Petersburg, Russia

MANAGEMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES TAKING INTO ACCOUNT VARIOUS FACTORS

Annotation: The article discusses some features of management of transport enterprises.

Key words: management, transport enterprise.

ИННОВАЦИИ В ПРОКЛАДКЕ ПОДВОДНОГО ГАЗОПРОВОДА

Былинкин Денис Алексеевич, студент

(e-mail: bylinkin-2002@mail.ru)

Коровкина Алина Игоревна, к.н.т., доцент

(e-mail: akorovkina@cchgeu.ru)

Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия

В данной статье изучаются методы расчетов трубопроводов на всплытие и применение инновационных технологий, рассматриваются все положительные и отрицательные стороны новых применяемых материалов и методов удержания трубопровода для газоснабжения под водой. Производится анализ инновационных материалов и технологий прокладки трубопроводов для газоснабжения.

Ключевые слова: газоснабжение, подводный трубопровод.

Введение. В настоящее время строители и эксплуатирующие организации по газоснабжению, сталкиваются с проблемой прохождения газопроводов через естественные водные преграды. Прокладка трубопроводов под водой несет большие риски всплытия, что приведет к авариям и крупным финансовым потерям. Разработка наиболее точных методик расчета, а также появление новых технологий и материалов помогут избежать аварийные случаи.

Рост объемов морской добычи и транспортировки газа. С увеличением строительства новых морских платформ и подводных инфраструктур, возникает необходимость в более точных расчетах для проектирования безопасных и экономичных систем газоснабжения, соответствующих сложным гидрогеологическим и гидродинамическим условиям.

Сложность подводных условий и нехватка универсальных решений: Каждый проект уникален, и одни стандартные (типовые) решения не позволяют учесть особенности конкретных условий. Наличие эффективных методов расчета — залог разработки решений, минимизирующих риски всплытия трубопроводов.

Соответствие экологическим и нормативным требованиям: правовые нормы и стандарты требуют комплексных оценок и надежных расчетных методов для предотвращения экологических рисков, связанных с возможным всплытием и повреждением трубопроводов. Существует несколько методик и подходов для оценки и предотвращения всплытия газопроводов при их прохождении под водой.

Основные методики расчета всплытия газопроводов: в соответствии с нормативными документами, ГОСТы и СП, при расчетах всплытия подводных газопроводов используются установленные методики и формулы, основанные на принципе равновесия сил Архимеда и физическими свойствами материалов.

Общая формула для определения условий всплытия газопровода по [1] и [2] выглядит так:

$$F_{\text{Архимеда}} = F_{\text{веса трубы}}$$

Условие всплытия трубы по [2]

$$F_{\text{всп}} > (F_{\text{гр}} + F_{\text{массы}})$$

Где $F_{\text{всп}}$ – Сила Архимеда;

$F_{\text{гр}}$ – давление грунта (воды);

$F_{\text{массы}}$ – вес самой трубы.

Так же выполняется расчет давления грунта по формуле

$$F_{\text{гр}} = \left[\left(\frac{D^2}{2} - \frac{\pi D^2}{8} \right) + (H - D) \cdot D \right] \cdot 1000 \cdot g \cdot l$$

Где D – Наружный диаметр трубы;

H – глубина заложения;

l – длина трубопровода.

Помимо данных формул, при проектировании газопровода выполняют расчет веса пригрузов для трубопровода для предотвращения всплытия:

$$G_{\text{пригруза}} = \rho_{\text{пригруза}} \cdot g \cdot V_{\text{пригруза}}$$

Проведем сравнительный анализ методов расчетов трубопроводов на всплытие по [2] и методу расчета на всплытие трубопровода на основе формул фундаментальной физики. Задавались следующими исходными данными: диаметр стального газопровода 400мм, с толщиной стенки 12 мм, длина трубопровода 2 км, глубина морского дна 8 м. При методике расчета подводного газопровода получили, что минимальная масса пригрузов, необходимая для удержания трубопровода под водой составляет 26 тонн, при расчете всплытия на базе формул фундаментальной физики, масса пригрузов составила 24,7 тонн, между четами по двум разным методикам составляет 5%. Из проведенного расчета следует, что методика по [2] корректна для применения на практике.

Также помимо расчетов ручным способом, с развитием технологий, появились программы помогающие рассчитать всплытие наиболее точно. В настоящее время для расчета всплытия газопровода применяют следующее программное обеспечение: HydroD, Orcaflex, ANSYS, данные программы моделируют полную динамику трубы, с учетом гидродинамических условий, силы течения, внутреннего давления и массы, что позволяет провести наиболее точный расчет, подобрать подходящее оборудование и принять более рациональные решения для проекта.

Основное оборудование для фиксации подводных трубопроводов. Тормозные и направляющие опоры (строберы, стойки). Используются для ограничения движения трубопровода в определенных участках, предотвращая сдвиг и вибрацию. На рис. 1 представлена опора для подводного трубопровода.



Рис. 1 Опора для подводного трубопровода

Для фиксации газопровода под водой используется несколько видов анкеров. Так как, фиксирующие анкеры и якоря, складываются из металлических или бетонных элементов, закрепляющихся на дне и удерживающие трубопровод на месте, магистральные анкеры и закладные детали (гнезда анкеров), используются при необходимости фиксировать трубопровод к берегу или к специальным фундаментам. Помимо фиксирующих якорей и анкеров, так же используются держатели, хомуты, которые могут устанавливаться по всей длине для равномерного распределения нагрузки и стабилизации трубопровода.

К основному оборудованию следует еще относить подложки, фундаменты, платформы и секции из специальных материалов.

Гравийные и песчаные подушки (подложки), вдавливаются под трубопровод для повышения его устойчивости и амортизации при течении и движении дна.

Фундаменты и платформы, в некоторых случаях для закрепления трубопровода используется стационарные конструкции. На рис 2 представлена платформа для подводного трубопровода.



Рис. 2 Платформа для подводного трубопровода. [5]

Инновационные технологии. Для прокладки подводных газопроводов активно развиваются инновационные технологии и материалы, которые позволяют повысить безопасность, надежность и экономичность проектов. Ниже представлены основные из них с описанием их преимуществ и недостатков:

1. Композиционные материалы (например, армированные пластики, углепластики). Использование легких, прочных материалов вместо традиционных металлических труб. Преимущества: высокая коррозионная стойкость, уменьшающая необходимость защитных покрытий, небольшой вес, облегчающий транспортировку и монтаж, а также высокая морозостойкость. Одними из существенных недостатков являются: ограниченная эксплуатационная температура и давление. Высокая стоимость производства и сложность ремонта.

2. Геоакустические системы для диагностики состояния труб. Использование чувствительных датчиков для непрерывного контроля состояния трубопроводов. Преимущества: быстрое обнаружение повреждений и утечек, повышение безопасности эксплуатации. Недостатками таких систем является: высокая стоимость оборудования и обслуживания, а также требуется сложное программное обеспечение.

3. Интеллектуальные покрытия и антикоррозионные системы. Использование современных покрытий с наночастицами серебра, меди, и цинка, способные предотвратить рост микроорганизмов [6]. Или покрытий способных регенерировать или изменять свои свойства при условиях эксплуатации. Преимущества: обеспечение наилучшей коррозионной защиты, увеличивает срок службы газопровода. Недостатки: более высокая цена по сравнению с традиционными покрытиями. Требуется специализированного дорогостоящего обслуживания.

4. 3D-печать компонентов для монтажных работ. Производство сложных элементов, например, соединительных муфт или креплений, через 3D-печать. Преимущества: Возможность быстрого изготовления прототипов и уникальных деталей. Уменьшение времени и затрат на производство. Недостатки: ограничения по материалам и размерам, а также не все детали подходят для экстремальных условий.

5. Использование гидроакустических или магнитных методов для укладки и фиксации. Преимущества: Повышение точности укладки и снижение риска повреждений и смещений. Недостатки: требуют специализированного оборудования и специально обученный персонал, повышенные затраты

Вывод. На основании приведенных вычислений можно сделать заключение, что существующий в проектной практике расчет на всплытие подводных газопроводов в соответствии с СП 399. 1325800.2018 «Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов» корректен и может иметь вычислительную погрешность 5% в пределах допустимых значений.

Инновационные материалы и технологии позволяют значительно улучшить характеристики подводных газопроводов, повысить их долговечность и безопасность. Однако внедрение этих решений связано с высокими затратами и необходимостью наличия специальных знаний и оборудования.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54382-2021 «Нефтяная и газовая промышленность. Подводные трубопроводные системы. Общие технические требования». Стандартформ, 2021. 13с.

2. СП 399. 1325800.2018 «Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов». Стандартформ, Москва, 2019. 86 с.

3. СП 422.1325800.2018 «Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа. Строительство подводных переходов и контроль выполнения работ». Стандартформ, Москва, 2019. 47 с

4. СП 378.1325800.2017 «Морские трубопроводы. Правила проектирования и строительства»

5. Подводный трубопровод [электронный ресурс]. URL: <https://ptgs.ru/dictionary/podvodnyy-ofshornyy-truboprovod/> (дата обращения: 10.11.2025).

6. Подводные конструкции защитят с помощью наночастиц серебра [электронный ресурс]. URL: <https://nrcki.ru/product/press-nrcki/-51651.shtml> (дата обращения: 10.11.2025).

Bylinkin Denis Alekseevich, student

Korovkina Alina Igorevna, Cand.Tech.Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

NNOVATIONS IN THE LAYING OF AN UNDERWATER GAS PIPELINE

Annotation. This article examines the methods of calculating pipelines for ascent and the use of innovative technologies, and discusses the advantages and disadvantages of new materials and methods for keeping pipelines for gas supply underwater. The article also analyzes innovative materials and technologies for laying pipelines for gas supply.

Keywords: gas supply, underwater pipeline.

ИССЛЕДОВАНИЯ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ АГРЕГАТОВ ПИТАНИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Васильев Никита Александрович, магистр

(vasiliev.n.a.@yandex.ru)

Ворначева Ирина Валерьевна, к.т.н., доцент

(vornacheva_i@gmail.com)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В статье рассмотрены современные подходы к мониторингу и диагностике агрегатов питания насосных установок (электродвигатель + насос, редуктор, система питания). Описаны наборы сенсоров и архитектуры сбора данных, методы обработки сигналов и выделения признаков (вибрация, температура, ток, давление, поток), диагностические алгоритмы (правила, модельно-ориентированные, данные/машинное обучение) и методы прогнозирования оставшегося ресурса (RUL). Представлена практическая методика внедрения системы мониторинга и диагностики, критерии оценки эффективности (KPI), типовые пороги тревог и примеры сценариев обнаружения отказов (балансировка, износ подшипников, кавитация, электрические дефекты). Приведён поэтапный план внедрения и рекомендации по интеграции с CMMS/ERP. Статья предназначена для инженеров технического обслуживания, технологов и руководителей проектов по повышению надёжности насосного оборудования.

Ключевые слова: насосная установка, мониторинг, диагностика, виброанализ, MCSA, предиктивное обслуживание, RUL, CMMS.

Введение Надёжность насосных установок критична для промышленных и коммунальных систем. Основные причины внеплановых простоев: отказ подшипников, кавитация, дисбаланс ротора, износ рабочих колес, дефекты уплотнений и электрические неисправности приводных двигателей. Комплексный мониторинг и своевременная диагностика позволяют переводить обслуживание из реактивного в прогнозируемое, снижать простои и затраты на аварийные ремонты.

Цель - сформировать практическую методику мониторинга и диагностики агрегатов питания насосных установок, позволяющую обнаруживать предаварийные признаки и прогнозировать RUL. Задачи:

- определить оптимальный набор сигналов и сенсоров;
- описать методы обработки и выделения диагностических признаков;
- сравнить диагностические подходы и выбрать оптимальные алгоритмы;
- предложить план внедрения и KPI.

Сенсоры и архитектура сбора данных Набор базовых сигналов

Вибрация (акселерометры/датчики скорости) - оси: радиальная, продольная; спектральный анализ до нескольких кГц.

Температура: подшипников, обмоток двигателя, корпуса насоса.

Электрические параметры: ток статора, напряжение, гармоники (MCSA - motor current signature analysis).

Гидравлические параметры: давление на всасе/нагнетании, расход/поток, перепад давления.

Скорость/оборотный момент (если доступно).

Положение (датчики виброизноса или износа уплотнений).

Архитектура

Уровень датчиков → edge-устройства для предварительной обработки (пороговые оповещения, детектирование аномалий) → шлюз/сервер предприятия → облако/локальная аналитика → CMMS/ERP.

Рекомендация: критичные узлы оборудовать локальной аналитикой (edge) для быстрого реагирования и сокращения трафика.

Требования к оборудованию

Частота дискретизации вибросигналов: 5-25 kHz для спектрального/оболочечного анализа; для общего мониторинга может быть достаточно 1-5 kHz.

Синхронизация для анализа причинно-следственных связей (временные метки).

Стандарты и интерфейсы: IEC 61850/Modbus/OPC-UA для интеграции.

Обработка сигналов и выделение признаков Предобработка

Фильтрация (низкочастотная для удаления дрейфа, высокочастотная по требованию).

Деконовейвинг, окно Ханна/Хэмминга для спектрального анализа.

Усреднение и удаление выбросов.

Частотные признаки

Амплитуда спектральных компонент на частотах: 1×rpm, 2×rpm, 3×rpm (дисбаланс, несоосность), подшипниковые частоты (BPFO, BPFI, BSF, FTF).

Гармоники тока и межгармоники для MCSA (дефекты ротора, короткозамкнутые витки).

Временные и статистические признаки

RMS, peak-to-peak, Kurtosis, Skewness.

Envelope analysis (оболочечный спектр) - эффективен для раннего обнаружения дефектов подшипников.

Признаки процесса

Падение/скачок давления при неизменном потоке → кавитация.

Увеличение потребляемого тока при постоянной нагрузке → механическое затирание или заклинивание.

Диагностические методы Правила и пороги

Простые правила: увеличение RMS вибрации на 30% относительно базы - сигнал к проверке; резкий рост температуры >10°C за 1 час - тревога.

Применять стандарты ISO 10816/20816 для интерпретации амплитуд вибрации и областей допустимости.

Модельно-ориентированные методы

Механические модели ротора/вала для аналитической оценки несоосности и дисбаланса.

Метод наблюдателя для обнаружения расхождений между измерениями и моделью.

Методы на основе данных

Классификация: Random Forest, SVM, XGBoost - для распознавания типов дефектов по наборам признаков.

Нейронные сети: CNN для спектрограмм, LSTM для временных рядов и прогнозирования изменений.

Аномалий-detection: автоэнкодеры, Isolation Forest, статистические контрольные карты (SPC).

Прогнозирование RUL

Подходы: прямой (регрессия RUL) и косвенный (моделирование деградации с последующим прогнозом).

Метрики качества: MAE, RMSE для RUL; precision/recall/F1 для классификации инцидентов.

Рекомендуемые алгоритмы: градиентный бустинг для табличных признаков; LSTM/GRU для последовательностей; комбинированные архитектуры (CNN+LSTM) для спектро-временных представлений.

Примеры обнаружения типовых неисправностей

Подшипники: ранняя стадия - повышение Kurtosis и появление модулей на частотах BPFO/BPFI; оболочечный спектр показывает пульсации на оберitone.

Дисбаланс: доминирующая компонента на 1×rpm с повышенной амплитудой; смещение показаний по радиальным осям.

Кавитация: быстрые флуктуации давления и вибрация в широком частотном диапазоне, падение КПД и увеличение тока.

Электрические дефекты: асимметрия токов, повышение 3-й гармоники, признаки короткозамкнутых витков в спектре тока.

Оценка эффективности и KPI

KPI: снижение числа внеплановых простоев (%), сокращение времени ремонта (MTTR), увеличение межремонтного периода (MTBF), точность прогнозов RUL (MAE в часах), процент предотвращённых отказов.

Бизнес-метрики: экономия на ремонтах, снижение штрафов/упущенной выгоды, ROI проекта (обычно 12-36 месяцев).

Практический план внедрения (пример на 12 месяцев) Месяцы 1-2: аудит активов, приоритизация насосных агрегатов, сбор исторических данных. Месяцы 3-4: установка базовых датчиков на критичные агрегаты, настройка сбора данных и синхронизации. Месяцы 5-6: внедрение edge-алгоритмов для простых тревог; интеграция с CMMS. Месяцы 7-9: построение моделей диагностики (feature engineering, обучение ML), тестирование на исторических событиях. Месяцы 10-11: пилотное тестирование в рабочих условиях, обучение персонала, отладка бизнес-процессов (эскалация, планирование работ). Месяц 12: депозитарий знаний, KPI-отчёт, принятие решения о масштабировании.

Риски и ограничения

Недостаток качественных меток для обучения - требуются инжиниринговые усилия: экспертиза и разметка инцидентов.

Шум и изменчивость рабочих режимов (переменные нагрузки) дают ложные срабатывания - нужен контекстный анализ.

Кибербезопасность и целостность данных — обязательны меры защиты.

Производители могут иметь специфические рекомендации и пороги - учитывать в настройках.

Рекомендации (практические формулировки для внедрения)

Начните с аудита: «Прошу провести аудит состояния 10 критичных насосных агрегатов, собрать исторические журналы отказов и текущие точки измерений».

Внедряйте по этапам: «Пилот на 3 агрегата с установкой акселерометров ± edge-аналитикой и интеграцией с CMMS».

Правила тревог: «Тревога уровня 1 - увеличение RMS вибрации >30% от базы в течение 24 часов; уровень 2 - спектральный пик на $1 \times \text{rpm} > X$ и повышение температуры >8°C - плановая проверка в течение 48 часов».

Обеспечьте обучение: «Разработать программу тренировок для обслуживающего персонала: 1 день - основы вибродиагностики, 1 день - работа с панелью мониторинга и обработкой сигналов».

Заключение Комплексный мониторинг и диагностика насосных агрегатов, основанные на многосигнальных измерениях и современных алгоритмах обработки, позволяют существенно уменьшить внеплановые простои и переходить к предиктивному обслуживанию. Быстрый эффект достигается за счёт приоритизации критичных узлов, стандартизации правил тревог и интеграции аналитики с процессами планирования работ.

Список литературы

1. Randall R. B. Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. Wiley, 2011.
2. Smith W. A., Randall R. "Rolling element bearing diagnostics using the autocorrelation envelope spectrum." Mechanical Systems and Signal Processing, 2007.
3. ISO 10816-1/ISO 20816 - Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. International Organization for Standardization.
4. McFadden P. D., Smith J. D. "Classification of bearing failures by the high frequency resonance technique." Mechanical Systems and Signal Processing, 1984.
5. Yang Y., et al. "Application of motor current signature analysis to fault diagnosis of induction motors." IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018.
6. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. "A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance." Mechanical Systems and Signal Processing, 2006.
7. Hydraulic Institute. "Pump Life Cycle Costs Guide" and standards for pump testing and monitoring.
8. Jardine A., "Practical predictive maintenance - technologies, frameworks and case studies." Springer, 2015.
9. IEEE Std. 141 (Red Book) - for electric machinery operation and diagnostics.
10. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems." Manufacturing Letters, 2015.
11. Изучение проблем энергосбережения и повышения энергетической эффективности в бюджетных учреждениях Курской области и способы их решения / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина, В. А. Чаплыгин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 558-562. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-558-559. – EDN GUMBJZ.
12. Бирюлин, В. И. Использование современных релейных защит на крупных подстанциях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 535-539. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-535-536. – EDN FZBSQC.
13. Бирюлин, В. И. Использование нейронных сетей для исследования энергопотребления в образовательных учреждениях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 257-260. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-9-257-258. – EDN VJAAPW.
14. Способы снижения потерь в электрических сетях / В. Н. Алябьев, А. С. Чернышев, И. В. Ворначева, М. С. Кимлик // Молодежь и XXI век - 2020 : материалы X Международной молодежной научной конференции, Курск, 19–20 февраля 2020 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 265-267. – EDN CKBIGS.

Nikita Alexandrovich Vasiliev, Master's degree

*Vornacheva Irina Valeryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Southwestern State University, Kursk, Russia*

RESEARCH ON MONITORING AND DIAGNOSTICS OF PUMPING UNITS

The article discusses modern approaches to monitoring and diagnostics of pumping units (electric motor + pump, gearbox, power supply system). Sensor sets and data acquisition architectures, signal processing and feature extraction methods (vibration, temperature, current, pressure, flow), diagnostic algorithms (rules, model-oriented, data/machine learning), and methods for predicting remaining resource (RUL) are described. A practical methodology for implementing a monitoring and diagnostic system, performance evaluation criteria (KPIs), typical alarm thresholds and examples of failure detection scenarios (balancing, bearing wear, cavitation, electrical defects) are presented. A step-by-step implementation plan and recommendations for integration with CMMS/ERP are provided. The article is intended for maintenance engineers, technologists and project managers to improve the reliability of pumping equipment.

Keywords: pumping unit, monitoring, diagnostics, vibration analysis, MCSA, predictive maintenance, RUL, CMMS.

ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В НАНОСИМЫХ ПОКРЫТИЯХ

Ведищев Сергей Михайлович, д.т.н., профессор

Глазков Юрий Евгеньевич, к.т.н., доцент

Трифонов Григорий Игоревич, к.т.н.

Муатаз Мохаммед Али Раззак,

(e-mail: i@grifonov.ru)

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

г. Воронеж, Россия

В данной работе рассматриваются теоретические основы для определения величины необходимого усилия на инструменте при гальвано-контактной обработке. Цель исследования – разработать аналитическую зависимость, которая бы отражала достижение заданного уровня напряжения в формируемых покрытиях.

Ключевые слова: покрытия, напряжения, область контакта, инструмент, слой, модуль упругости.

Из литературы [1, 2] известно, что определение напряжений:

$$\sigma \vartheta(\varepsilon) \quad (1)$$

где $\vartheta(\varepsilon)$ – нелинейная функция, полностью соответствующая истинной диаграмме деформирования материала.

Учитывая незначительность деформирования покрытия в направлении нормальном к оси внедрения инструмента [3], логично использовать предположение о деформировании покрытия только в направлении оси Z

В этом случае при определении деформации покрытия толщиной h (м), получим:

$$\sigma_z(x, 0, 0) = \vartheta(\varepsilon(x, 0, 0)) = \vartheta\left(\frac{w(x, 0, 0)}{h}\right) \quad \text{при } (x, y) \in \bar{S} \quad (2)$$

где $w(x, 0, 0)$ – функция перемещения инструмента при деформировании покрытия; σ_z – напряжения, возникающие в покрытии, Па.

Уравнение (2) соотносится с полученными зависимостями из работы [3], однако в нем отсутствуют параметры – размер и форма области контакта. Далее, зная константы состояния и выполняя интегрирование контактных напряжений, определяем силу P в указанной области контакта $\bar{S}$:

$$P = - \iint_{\bar{S}} \sigma_z(x, y, 0) dx dy \quad (3)$$

Кроме этого, существует два момента, опрокидывающих инструмент M_x и M_y , действующих в плоскостях XOZ и YOZ соответственно:

$$M_x = - \iint_{\bar{S}} \sigma_z(x, y, 0) x dx dy, \quad M_y = - \iint_{\bar{S}} \sigma_z(x, y, 0) y dx dy, \quad (4)$$

Введем следующие допущения. Предполагается, что уравнение границы инструмента касающегося ровного покрытия описывается уравнением от одной переменной x , т.е. $f(x, y) = f(x)$.

Кроме того, введем предположение о том, что вторая переменная (y) уравнения (2) изменяется в произвольной форме, но в пределах заданного отрезка $[0, l]$. При этом линейный размер модели получаемого покрытия вдоль оси вдавливания равно l . Следовательно, в этом случае область контакта $\bar{S}$ составляет полосу $\bar{S} = [a, b] \cdot [0, l]$.

Учитывая работу [4] было решено сформулировать граничное условие по перемещению на границе слоя. При этом были учтены физико-механические свойства материала покрытия, а также обеспечено корректное математическое моделирование и численное решение задачи:

$$w(x, 0, 0) = \begin{cases} f(x) + \delta & x \in [a, b], \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases} \quad (5)$$

где δ – глубина максимального вдавливания инструмента (м).

Принимая во внимание (5) и учитывая (2), напряжения в области контакта определяются следующим выражением:

$$\sigma_z(x, 0, 0) = \vartheta(\varepsilon(x, 0, 0)) = \vartheta\left(\frac{w(x, 0, 0)}{h}\right) = \vartheta\left(\frac{f(x) + \delta}{h}\right) \quad (6)$$

Уравнения равновесия (3) и (4) в случае зеркальной симметричности штампа относительно плоскости YOZ ($b = -a$) и выражения для контактных напряжений (6) сократятся до одного уравнения, которое примет вид:

$$P = -l^2 \cdot \int_a^b \sigma_z(x, 0, 0) dx = -2 \cdot l^2 \cdot \int_a^b \sigma_z(x, 0, 0) dx \quad (7)$$

где l – протяженность контакта инструмента с покрытием в плоскости приложения усилия, м; a, b – размеры протяженности контакта инструмента с покрытием в плоскости нормальной к плоскости приложения усилия, м.

Откуда следует, что:

$$\frac{P}{l} = -2 \cdot l \cdot \int_a^b \sigma_z(x, 0, 0) dx \quad (8)$$

Для определения силы, действующей на инструмент с целью получения заданных напряжений в покрытии удобно использовать погонную нагрузку, определяемую как P/l , где $P(H)$ – усилие воздействия инструмента с покрытием, а l (м) – протяженность контакта инструмента с покрытием в направлении нормальном к усилию нагружения [2, 4].

Учитывая, что рабочая поверхность детали имеет геометрию цилиндра, естественно, выразить контактную поверхность инструмента с деталью функцией цилиндра:

$$f(x) = \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad (9)$$

где R – радиус кривизны покрытия, м.

P (Н/м) приложена вертикально вниз и краевое условие по перемещениям приобретает вид:

$$w(x, 0, 0) = \begin{cases} \frac{x^2}{2 \cdot R} + \delta, & x \in [a, b], \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases} \quad (10)$$

Принимая во внимание (10) в силу симметрии используемого инструмента, глубина его вдавливания δ определяется:

$$\delta = -\frac{b^2}{2 \cdot R} \quad (11)$$

где b – размер деформированной области покрытия.

Тогда перемещения в области контакта будут определяться следующим способом:

$$w(x, 0, 0) = \frac{(x^2 - b^2)}{2 \cdot R} \quad (12)$$

Учитывая аналитические зависимости (11) и (12), которые дают нам значения глубины вдавливания инструмента и значения перемещений в области контакта, определим состояние в области контакта:

$$\sigma_z(x, 0, 0) = E \cdot \varepsilon_x(x, 0, 0) = E \cdot \frac{w_z(x, 0, 0)}{h} = E \cdot \frac{x^2 - b^2}{2 \cdot h \cdot R} \quad (13)$$

Из уравнения (13) видно, что в его составе есть такой параметр, как неопределенный размер области контакта b . Его значение можно вычислить с помощью уравнения (11). В результате получаем выражение для определения усилия на инструменте с целью получения заданного напряжения в покрытии:

$$\begin{aligned} P &= - \int_a^b \sigma_z(x, 0, 0) dx = -2 \cdot \int_a^b \sigma_z(x, 0, 0) dx = \\ &= \frac{E}{h \cdot R} \int_a^b (b^2 - x^2) dx = \frac{2 \cdot E \cdot l \cdot b^3}{3 \cdot h \cdot R} \end{aligned} \quad (14)$$

где P – усилие на инструмент, Н; σ_z – напряжения в покрытии, Па; E – модуль упругости материала покрытия, Па; h – толщина покрытия, м; l – протяженность контакта инструмента с покрытием в плоскости приложения усилия, м; b – протяженность контакта инструмента с покрытием в плоскости нормальной к плоскости приложения усилия при движении инструмента, м.

Как итог, было получено аналитическое выражение (14), позволяющее определить величину необходимого усилия на инструменте при гальвано-контактной обработке. При этом были учтены размер области контакта и величина усилия, а распределение напряжений в покрытии $\sigma_z = (x, 0, 0)$ можно определить по выражению (13).

Список литературы

1. Моргун А.И. Возникновение и релаксация внутренних напряжений в гальванических покрытиях: специальность 05.02.01: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Моргун Аксана Игоревна. Тюмень, 2003. 109 с.
2. Крагельский Н.В. Трение и износ / Н.В. Крагельский. М.: Машиностроение. 1968. 183 с.
3. Димитриенко Ю.И. Нелинейная механика сплошной среды / Ю.И. Димитриенко // М.: ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература». 2009. 624 с.
4. Кохан Л.С. Теория процессов качественной обработки металла нагревом и давлением: монография / Л.С. Кохан, Н.Н. Лебедев // под ред. Н.Н. Лебедева. Москва: [Б. и.]. 2005. 90 с.

Vedishchev Sergey Mikhailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Glazkov, Yuri Evgenievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Trifonov Grigory Igorevich, Candidate of Technical Sciences

(e-mail: i@trifonov.ru)

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»

Voronezh, Russia

Muataz Mohammed Ali Razzaq,

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

FUNDAMENTALS OF STRESS REGULATION IN APPLIED COATINGS

Abstract. This paper discusses the theoretical foundations for determining the amount of required force on a tool during galvanic contact processing. The purpose of the study is to develop an analytical relationship that would reflect the achievement of a given stress level in the formed coatings.

Keywords: coatings, stresses, contact area, tool, layer, modulus of elasticity.

ОБ АНАЛИЗЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Веретенников Алексей Николаевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "Компания "Открытый Мир", г.Москва, Россия

Гулаков Дмитрий Игоревич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "Научно-производственное объединение "Техномаш" им. С.А. Афанасьева",
г.Москва, Россия

Донской Юрий Владимирович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "НПО "Электронное приборостроение", г.Москва, Россия

В статье проведен анализ инфраструктуры и программного обеспечения системы хранения данных предприятия.

Ключевые слова: система хранения данных, информационная система, информация, предприятие.

Система хранения данных (СХД), исторически сложилось так, представляет собой комплекс оборудования и софта, обеспечивающий безопасное хранение, администрирование и предоставление данных внутри предприятия [1]. Современные СХД включают в себя не только сами накопители информации, такие как дисковые массивы, но и сетевую инфраструктуру для взаимодействия серверов с ними, обычно построенную на базе SAN-технологий, гарантирующих скорость обмена данными [2].

Технология iSCSI отвечает за адаптивность, возможность расширения и сетевую доступность СХД, поскольку она заключает в себе протокол SCSI в формат пакетов TCP/IP. Благодаря этому iSCSI также способствует объединению нескольких систем хранения в единую структуру.

Для эффективной работы современных систем хранения данных необходима развитая инфраструктура доступа, не менее значимая, чем сами дисковые накопители. В корпоративной среде серверы получают доступ к этим массивам через архитектуру SAN, которая позволяет соединять их с различными типами устройств хранения [3]. Обеспечение управления системой хранения, серверами и подключенными клиентами в организации обычно осуществляется посредством Storage Area Network (SAN), использующей протокол iSCSI. Этот протокол специально разработан для сетей хранения данных [4] и предоставляет механизм доступа к блочному оборудованию. iSCSI (Internet Small Computer System Interface) основан на TCP/IP и обеспечивает взаимодействие между системами хранения данных, серверами и клиентами, будучи формализованным стандартом согласно RFC 3720. Он позволяет передавать команды SCSI по сетевому каналу, гарантируя серверам надежный доступ к дисковым массивам [5].

Данное решение интегрируется в систему хранения данных (Storage Area Network - SAN) и определяет следующие аспекты:

- применение TCP как транспорта для SCSI-соединений;
- способ помещения SCSI-инструкций в пакеты для передачи по IP-сетям.

Благодаря протоколу iSCSI становится возможным организовать прямой доступ к дисковым ресурсам [6] посредством SCSI-команд, передаваемых по сети на базе стека TCP/IP.

К основным достоинствам iSCSI относятся:

- повышенная надежность [7] критически важных бизнес-систем;
- использование широко распространенных сетевых технологий Ethernet (включая Gigabit и 10G Ethernet) и TCP/IP;
- сокращение расходов на развертывание и обслуживание инфраструктуры хранения данных [8];
- минимальные требования к квалификации персонала для администрирования;
- облегчение процесса построения iSCSI-сетей;
- отсутствие ограничений по дальности соединения за счет репликации, основанной на TCP/IP;
- совместимость со стандартными коммутаторами Ethernet;
- возможность организации защиты информации [9] посредством резервирования;
- предоставление возможности объединения различных систем хранения в единую структуру.

Решения, использующие iSCSI, могут быть реализованы на любом быстродействующем оборудовании [10], совместимом с протоколом IP.

Протокол iSCSI обеспечивает передачу SCSI-команд, упакованных в пакеты TCP/IP, используя общепринятую сетевую структуру (в рассматриваемом случае – сеть 10G Ethernet). Реализация систем хранения данных на этой основе оказывается экономически более выгодной.

Использование стандартного протокола дает возможность применять привычные инструменты для мониторинга и администрирования трафика, что приводит к заметному сокращению затрат на оборудование в сравнении с решениями на базе Fibre Channel. В системе хранения данных, основанной на iSCSI и работающей через 10G Ethernet, роль iSCSI target выполняет сервер, который предоставляет доступ к блочному диску, а iSCSI initiator – клиент, получающий доступ к этому диску. Чтобы клиент под управлением Windows мог подключиться к хранилищу данных с интерфейсом iSCSI, требуется установка программного обеспечения iSCSI Initiator на компьютере клиента.

Список литературы

1. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

3. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
4. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
9. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
10. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

Veretennikov Alexey Nikolaevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Open World Company, Moscow, Russia

Gulakov Dmitriy Igorevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

JSC "Scientific and Production Association "Technomash" named after S.A. Afanasyev", Moscow, Russia

Donskoy Yuriy Vladimirovich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

JSC "NPO "Electronic Instrument Engineering", Moscow, Russia

ABOUT THE ANALYSIS OF THE INFRASTRUCTURE AND SOFTWARE OF THE ENTERPRISE STORAGE SYSTEM

Annotation: The article analyzes the infrastructure and software of the enterprise data storage system.

Key words: data storage system, information system, information, enterprise.

ТЕМПЕРАТУРА РАЗУПРОЧНЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ МЕДИ

Владимирова Юлия Олеговна, старший преподаватель

(e-mail: yulivladimirova@mail.ru)

Шалунов Евгений Петрович, к.т.н., профессор

(e-mail: shalunov2003@mail.ru)

Смирнов Валентин Михайлович, к.ф.-м.н., доцент

(e-mail: vms53@inbox.ru)

*Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
г. Чебоксары, Россия*

В настоящей статье показано, что классический критерий «температура рекристаллизации» (T_p) и соответственно, методы ее определения по регистрации полной или частичной замены деформированных зёрен материала новыми, приводящей к резкому падению его прочностных характеристик с повышением пластических, практически неприменим к таким материалам, как дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ), поскольку содержащиеся в них динамически термостабильные упрочняющие фазы (например, Al_2O_3) эффективно подавляют рекристаллизацию вплоть до температур, близких к температуре плавления меди. Вместо этого предлагается использовать критерий «температура разупрочнения» ($T_{p,y}$), определяемый как температура, при которой после длительного отжига происходит заданное снижение твёрдости или прочности материала.

Обоснованность и целесообразность использования критерия «температура разупрочнения» ($T_{p,y}$), по крайней мере, для дисперсно-упрочненных композиционных материалов доказана авторами на основе анализа литературных данных и на примере разработанного ими ДУКМ на основе порошковой меди, содержащего дисперсные частицы Al_2O_3 нанодисперсного уровня, для которого по методике ISO 5182:2008(R) экспериментально определено $T_{p,y} = 970\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 0,89$ от температуры плавления меди), что значительно превышает не только T_p стандартных антифрикционных бронз (до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$), но и аналогичный показатель для известного материала ДУКМ GlidCop ($\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Использование термина «температура разупрочнения» и стандартных методов его определения корректнее отражает физические процессы потери прочности в ДУКМ при нагреве и соответствует современной международной практике сертификации металлопродукции.

Ключевые слова: рекристаллизация, температура разупрочнения, дисперсно-упрочненный композиционный материал, твердость.

В условиях рыночной экономики качество произведенной продукции является одним из доминирующих критериев ее конкурентоспособности. Причем, в значительной степени качество готового изделия, под которым понимается «совокупность его свойств, проявляющихся в процессе его использования

(функционирования, применения, потребления, эксплуатации) по назначению» [1], определяется качеством материала этого изделия.

Очевидно, что материал только в том случае может обеспечить требуемое качество изделия при его использовании (срок службы, безотказность и др.), если значения его физико-механических и эксплуатационных характеристик (предела прочности, твердости, износостойкости и др.) в действительности будут соответствовать значениям физико-механических и эксплуатационных характеристик материала, который разрабатывающий это изделие конструктор выбрал для его изготовления. В особой мере необходимость в обеспечении такого соответствия касается изделий, работающих при повышенных (до 600°C) и, особенно, высоких (более 900°C) температурах, когда влияние нагрева очень быстро приводит к потере многих и, особенно, прочностных свойств материала [2].

Главным способом обеспечения указанного выше соответствия в условиях производства является проведение входного контроля используемых материалов с целью определения соответствия их свойств свойствам, отраженным в сертификатах поставщиков этих материалов и/или в соответствующей нормативно-технической документации (ГОСТ, Технические условия и пр.), по которой поставщик их произвел [3].

Однако, такой способ будет эффективен только в том случае, если используемая конструктором характеристика материала и ее значение действительно адекватно отражают физическую суть этой характеристики, а ее значение действительно можно измерить, определить существующими на производствах методами и испытательным инструментарием. Например, истинный предел прочности при растяжении σ_s действительно представляет собой то максимальное нормальное напряжение, которое возникает в материале в момент его разрыва [3], и его значение легко определяется путем растяжения соответствующих образцов из этого материала по соответствующим стандартам, в том числе при повышенных температурах.

К сожалению, этого нельзя сказать о такой важной характеристике материалов, как температура их рекристаллизации T_p . Именно она в большинстве случаев используется конструкторами при расчете того или изделия, или конструкции, работающих в условиях повышенных температур [1-3]. Как будет показано ниже, значения этой характеристики даже для металлов и стандартных простейших сплавов являются, чаще всего, не очень конкретными, а для более точного определения T_p применяются в основном металлографические и рентгеноструктурные методы, реализация которых возможна, во-первых, подготовленными специалистами-материаловедами, а во-вторых, эти методы требуют специальной подготовки образцов (шлифов) для исследований и соответствующего дорогостоящего оборудования (микроскопы, рентгеновские дифрактометры и пр.), что чаще всего отсутствует на отечественных предприятиях, тем более, средних и малых.

Кроме того, появляются новые классы материалов (псевдосплавы, наноструктурные материалы, в том числе дисперсно-упрочненные композиционные

материалы и др.), для которых принятые в материаловедении понятия сущности процесса рекристаллизации не в полной мере подходят для объяснения сущности процессов снижения прочностных свойств таких материалов в результате их нагрева.

В настоящей статье на примере дисперсно-упрочненных композиционных материалов (ДУКМ) на основе порошковой меди предпринята попытка выбора более адекватной характеристики для процесса снижения их прочностных свойств в результате нагрева и метода определения значений такой характеристики.

Как известно [4], под процессом рекристаллизации понимается процесс, при котором при нагреве сильно деформированного (наклепанного) металлического материала выше некоторой температуры T в нем происходит полная или частичная замена деформированных зёрен данной фазы новыми, более совершенными и крупными зёрнами той же фазы, т.е. имеющими меньшее количество дефектов в кристаллической решётке, вследствие чего происходит резкое падение твердости и предела текучести материала и повышение его пластичности.

Поскольку этот процесс протекает не одномоментно, а растянут во времени то, различают температуру начала $T_{н.р.}$ и конца $T_{к.р.}$ рекристаллизации, которые могут значительно зависеть от степени наклепа материала. Это подтверждается, например, данными исследования [5], проведенными на деформированных растяжением и сжатием образцах из спеченной порошковой электролитической меди ПМС-Н, подвергнутых отжигу в защитной атмосфере при температурах 200...500°C в течение 1 ч.

Как следует из [5], температуры начала $T_{н.р.}$ и конца $T_{к.р.}$ рекристаллизации, определенных по данным микроструктурного анализа и рентгенографическим методом по виду интерференционных линий (появлению точечных рефлексов), убывают с ростом деформации, тогда как при сочетании растяжения и сжатия тот же уровень деформации может давать обратный эффект.

При температуре отжига 200°C рекристаллизация начинается лишь в образцах, деформированных на 60% и более. На интерференционных линиях появляются отдельные точечные рефлексы. Количество их незначительно увеличивается с возрастанием степени деформации, что свидетельствует о замедленном развитии рекристаллизации при этой температуре. По мере увеличения температуры отжига начало рекристаллизации сдвигается в сторону меньших деформаций и протекает более интенсивно (рис. 1).

Как видно из рис. 1, температуры начала $T_{н.р.}$ и конца $T_{к.р.}$ рекристаллизации снижаются с ростом степени деформации, а различие между ними (ширина интервала рекристаллизации), примерно, в 150...200°C подчёркивает размытость критерия «температура рекристаллизации». Чаще всего за температуру рекристаллизации принимают ту наименьшую температуру ($T_{н.р.}$), при которой начинается процесс рекристаллизации и происходит разупрочнение материала.

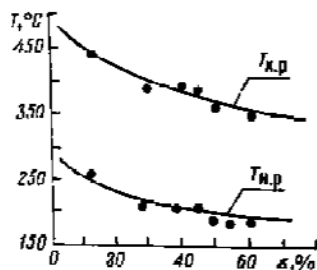


Рисунок 1. Температурные границы рекристаллизации спеченной меди марки ПМС-Н, подвергнутой холодному деформированию [5]

Обычно за такую температуру принимают температуру, при которой после отжига зафиксировано ~50% рекристаллизованных зерен. Этому процессу соответствует температура рекристаллизации T_p , которая согласно А.А. Бочвару, определяется по простой формуле:

$$T_p = \alpha \cdot T_{пл} [K],$$

где $T_{пл}$ — температура плавления материала, К;

α — коэффициент, который для чистых металлов равен 0,1...0,2, для технически чистых металлов — 0,4, для сплавов (твёрдых растворов) — 0,5...0,6.

Согласно [6], для чистой меди $\alpha = 0,3...0,5$, и при $\alpha = 0,4$ температура рекристаллизации $T_p \approx 435$ °С. Для меди промышленной чистоты температурный интервал начала рекристаллизации составляет 405...485 °С.

Учитывая сложность точного определения в производственных условиях рекристаллизованных и нерекристаллизованных зерен, в инженерной практике, чаще всего, температуру начала рекристаллизации определяют по изменению свойств материала. В частности, согласно [7], при определении T_p по изменению твёрдости HB за температуру начала рекристаллизации принимают температуру t_p , при которой прирост твёрдости ΔHB , созданный деформацией, уменьшается вдвое (рис. 2).

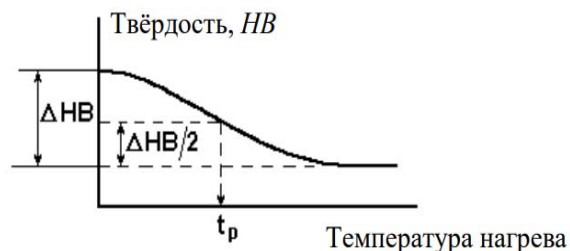


Рисунок 2. К определению температуры рекристаллизации материала по падению твёрдости при нагреве [7]

Однако применение этого метода определения температуры рекристаллизации имеет ограничение в том случае, если измерения твердости производятся на металлическом материале, который не был подвержен наклепу, термической обработке, облучению частицами с высокой энергией наклепу или какой-либо другой обработке, в результате которой материал получил прирост твердости ΔHB , понижаемой в результате дальнейшего нагрева (отжига). К таким материалам можно отнести, например, большинство спеченных материалов, изделия из которых получают холодным прессованием порошковой смеси и дальнейшим спеканием. К ним можно отнести так же и многие дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ) и, в частности, на основе порошковой меди, получаемые методом горячего прессования (экструзии), у которых при нагреве, чаще всего, происходит потеря не только прочности, но и пластичности [8-10].

В дисперсно-упрочненных композиционных материалах на основе меди твердые упрочняющие фазы (оксиды, карбиды, бориды и др.) нанодисперсного уровня надёжно «удерживают» границы зерен и замедляют миграцию границ, что эффективно препятствует рекристаллизации.

Так, эксперименты показывают, что деформированные материалы системы Cu-Al₂O₃ сохраняют деформированную структуру даже после нагрева почти до температуры плавления меди. Например, в исследовании [11] образец материала ДУКМ GlidCop (медь с ~1% Al₂O₃) после холодной прокатки на 80% не был рекристаллизован вплоть до $0,85 \cdot T_{пл}$ (≈ 900 °С). В работы [12] показано, что в композиционном материале Cu-Al₂O₃ мелкодисперсные зерна медной матрицы остаются достаточно стабильными даже после часового отжига при 1000 °С: средний размер зерен в материале Cu-Al₂O₃ вырос лишь с 0,18 мкм до 0,31 мкм, тогда как в чистой меди зерна увеличились с 16 мкм до 185 мкм при том же режиме отжига.

Это отражается и на механических свойствах, в частности, материал Cu-Al₂O₃ сохраняет высокую твердость до ≈ 900 °С за счёт стабильных зерен и отсутствия их заметного роста.

Необходимо отметить, что характер потери дисперсно-упрочненными композиционными материалами прочности отличается от характера этого процесса для традиционных материалов, в частности, при их нагреве не наблюдается привычного механизма «возврат — рекристаллизация — рост зерен» в привычном диапазоне температур. Микроструктура меняется мало, но чистая медная матрица при очень высоких температурах накапливает релаксацию (движение дислокаций, извилистые пакеты дефектов), из-за чего прочность начинает падать. Процесс этот часто называют *разупрочнением* (softening), в научных работах и стандартах подчёркивается, что именно постепенное снижение прочности определяет верхнюю рабочую температуру таких материалов, а не момент появления новых зерен [11,12].

При этом отмечено, что дисперсные частицы — особенно очень мелкие — значительно замедляют рекристаллизацию меди (эффект Зенера), к примеру, достаточно наличия в медной матрице даже ~1% частиц γ -Al₂O₃, чтобы ими «за-

фиксировать» границы зерен и «вынудить» медь рекристаллизироваться только ближе к температуре ее плавления.

Этот фактор ещё более оправдывает введение термина «температура разупрочнения» (*softening temperature* [13-15], основанного на такой характеристике как снижение прочности при нагреве, а не на микроструктурном признаке, связанном с образованием новых зерен. Такой подход позволяет ориентироваться на измеримый эффект «ослабления» материала.

С учётом вышесказанного, целесообразно в таких материалах и, в частности, в ДУКМ оперировать понятием *температуры разупрочнения*, а именно, той температуры, при которой после долгого отжига отмечается заданное снижение прочности (или твердости) по сравнению с исходным состоянием. Международные стандарты уже вводят аналогичные понятия. Так, Международный стандарт ISO 5182:2008(R) (для материалов электродов контактной сварки на основе меди, в том числе из ДУКМ GlidCop) определяет *softening temperature* как максимальную температуру, при которой после двухчасового отжига медного материала падение его твердости не превышает 15% от первоначального значения [16].

Китайский стандарт GB/T 33370-2016 прямо посвящён методике измерения *softening temperature* меди и её сплавов: под точкой *softening temperature* понимается температура отжига материала в течение 1 ч, после которого его твердость падает до 80% от исходной [17]. Аналогичным образом патентная литература по современным медным сплавам все чаще свидетельствует об использовании в описаниях запатентованных материалов *softening temperature*, измененной согласно ISO 5182, а не о температуре рекристаллизации T_p .

Термин «температура разупрочнения» более точно отражает суть, так как при достижении этой температуры наступает существенное размягчение (потеря предела текучести, прочности, т. е. основных характеристик), даже если истинная микроструктурная рекристаллизация ещё не произошла. Это универсальный критерий потери свойства материала при нагреве, который, как представляется, пригодный для любых дисперсно-упрочненных композиционных материалов, в отличие от классического показателя – температуры рекристаллизации T_p .

В литературе и технических нормах уже прослеживается склонность к этому подходу: наши сравнения показали, что высокопрочные бронзы и сплавы (например, бронза БрАЖ9–4 или Cu–Zr) также чаще характеризуют через адекватные критерии нагрева. В алюминиевой бронзе БрАЖ9–4, например, введение Fe и Si прочно связывают с повышением температуры рекристаллизации и общей термостойкости материала (Fe измельчает зерно и «задерживает» рекристаллизацию, Si повышает T_p). Но даже у этих материалов предел рабочей температуры задаётся тем, при каком T их прочность начинает падать, а не «моментом рекристаллизации».

В качестве примера можно привести сплав Cu–Cr–Zr (AMZIRC) – распространённый «жаропрочный» высокоудельный сплав, который демонстрирует резкое падение прочности уже при умеренных температурах. К примеру, его

предел текучести ~500 МПа при комнатной температуре снижается до ~260 МПа при 500 °C и падает ниже 50 МПа выше 600 °C [11]. Подобный эффект объясняется классической рекристаллизацией и ростом зерен, поскольку в Cu–Cr–Zr преобладают сравнительно крупные частички вторичной фазы. В том же исследовании для Cu–Al₂O₃ (GlidCop) отмечалось, что «сохранение» нанозерен обеспечивает наиболее высокую температуру разупрочнения» (900–1000 °C) [11,12]. То есть материал Cu–Al₂O₃ сохраняет высокую прочность при нагреве вдвое дольше, чем обычные сплавы, но и здесь её снижение начинается при достижении ~900 °C.

Таким образом, дисперсно-упрочнённые композиционные материалы на основе меди требуют пересмотра используемой терминологии.

Упрочнение нанодисперсными оксидами практически исключает классический процесс рекристаллизации при температурах до очень высоких (близких к температуре плавления). Следовательно, привычный критерий T_p для таких материалов не отражает реального механизма утраты прочности.

Так, были проведены соответствующие испытания разработанного авторами настоящей статьи дисперсно-упрочненного композиционного материала, содержащего в исходной порошковой смеси 3% мас. Al, 0,45% мас. C, Cu- остальное [18].

Температура разупрочнения $T_{p.y.}$ определялась как температура, при выдержке на которой в течение 2 ч твердость образца снижается не более чем на 15 % от исходной (измеренной при комнатной температуре).

Так, согласно ISO 5182 образцы нагревали при различных температурах (с шагом 50 °C) в печи в течение 2 ч, охлаждали до комнатной температуры и измеряли твердость по Бринеллю (HB). По кривой «твердость после отжига-температура отжига» находили точку, где твердость падает на 15 % от исходной. Эта температура принималась за $T_{p.y.}$ Сами материалы при этом были получены согласно методике, описанной в [8].

Разработанные материалы обладают гетерогенной зернистой структурой, унаследованной от исходных порошковых гранул.

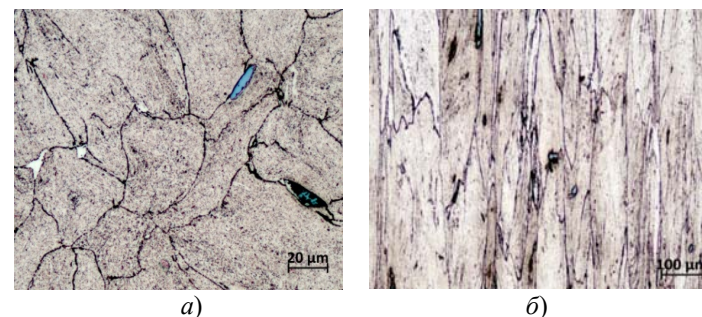


Рисунок 3. Микроструктура материала в поперечном (а) и продольном (б) сечениях

Далее была изучена микроструктура и тонкая структура полученных материалов (рис. 3 и рис. 4 соответственно).

Микроструктура (см. рис. 3, а) представляет собой ансамбль сваренных между собою при горячей экструзии гранул (размером $\sim 0,1\text{--}0,5$ мм) с чёткими границами между ними. По некоторым межгранульным границам наблюдаются включения оксидов меди (вероятно, $\text{Cu}_2\text{O}\cdot\text{H}_2\text{O}$) в виде остаточных тонких прослоек.

В продольном сечении образцов (рис. 3, б) видна вытянутая текстура, гранулы деформированы вдоль направления экструзии, превращаясь в удлинённые волокна. Это типично для экструдированных прутков, полученных порошковым методом после интенсивной пластической деформации.

Тонкая структура (см. рис. 4) композиционного материала имеет однородную текстуру, при этом в медной матрице равномерно распределены дисперсные частицы наноразмерного уровня оксида алюминия Al_2O_3 . Частицы Al_2O_3 идентифицированы по дифракционным линиям и обладают высокой твёрдостью. Эти частицы – главная упрочняющая фаза материала, эффективно препятствующая движению дислокаций и росту рекристаллизованных зерен при нагреве. Тем самым достигается высокая стабильность структуры и сохраняются свойства вплоть до $0,9$ от $T_{\text{пл}}$.

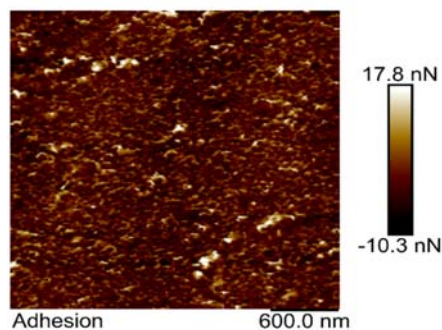


Рисунок 4 - Тонкая структура материала, полученная за счет контраста адгезионных сил

Для определения температуры разупрочнения этого материала $T_{\text{р.у.}}$ согласно ISO 5182:2008(R), от исходного значения твердости HB_0 вычиталось значение произведения $0,15 HB_0$. Полученное значение HB_p откладывалось по оси ординат и через него проводилась линия, параллельная оси абсцисс, до ее пересечения с графиком зависимости твердости материала от температуры отжига. Из точки пересечения опускался на ось абсцисс перпендикуляр. Точка их пересечения отсчитывала значение температуры разупрочнения $T_{\text{р.у.}}$ исследуемого материала. В частности, для медного ДУКМ, содержащего 3,0 мас. Al и 0,45 % мас. С, температура разупрочнения $T_{\text{р.у.}}$ составила, согласно рисунку 5, примерно, 970°C .

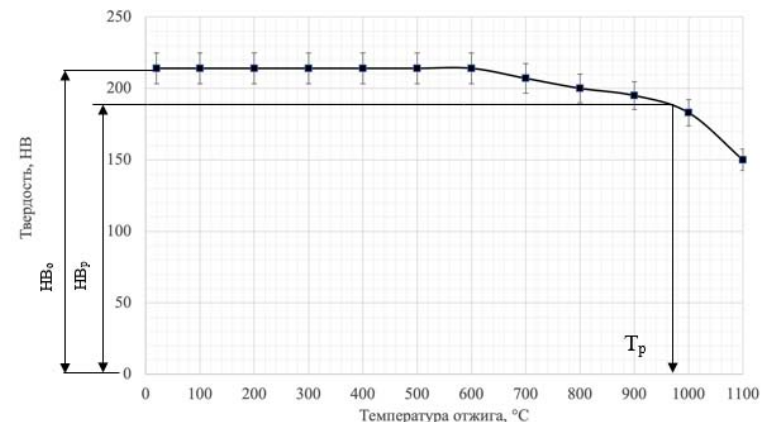


Рисунок 5. Зависимость твердости медного ДУКМ, содержащего 3,0 мас. Al и 0,45 % мас. С от температуры его отжига

Сравнивая полученные значения с данными, характеризующими разупрочнение и, в частности, температуру рекристаллизации у стандартных антифрикционных бронз БрАЖ 9-4 (ГОСТ 18175-78) и БрОФ7-0,2 (ГОСТ 5017-74), которая не превышает для них 500°C , можно отметить значительное превосходство исследуемых материалов над этими стандартными бронзами.

Учитывая, что температура плавления $T_{\text{пл}}$ матричного материала исследуемых ДУКМ, представляющего собой медь, составляет 1083°C , то полученные значения температуры их разупрочнения T_p составляют не менее $0,89T_{\text{пл}}$, что свидетельствует о чрезвычайно высокой сопротивляемости исследуемых материалов процессам их разупрочнения при нагреве.

При этом нужно отметить. Что данный показатель так же превышает аналогичный показатель у материала $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ (GlidCop) - 900°C .

Таким образом, изложенное выше позволяет отметить, что термин «температура разупрочнения» однозначно фокусирует внимание на потере материалом механических свойств в результате отжига – ключевом для эксплуатации критерии. Это облегчает сравнение характеристик разных материалов и применимость результатов испытаний.

Принятие новой терминологии, возможно, потребует корректировки стандартов и технических нормативов. Однако оно обеспечит их согласование с фактическим поведением композиционных материалов. Например, при проектировании изделий с требованиями термостойкости допустимую рабочую температуру следует определять по температуре разупрочнения, а не по T_p . Это делает расчёты более надёжными.

Уточнение терминологии так же позволит точнее задавать требования к новейшим материалам. При стандартизации медных композиционных материалов, включающих дисперсные фазы, будет логично использовать тесты на па-

дение прочности (соответствующие *softening temperature*), а не на образование новых зерен. Это усилит практическую значимость данных испытаний и ускорит внедрение перспективных сплавов в ответственные конструкции.

Таким образом, введение понятия «температура разупрочнения» обосновано как физически, так и технологически, так как оно корректнее отражает потери свойств в дисперсно-упрочненных материалах и соответствует международной практике оценки высокой термостойкости сплавов. Это уточнение позволит повысить точность технических требований при разработке, испытании и эксплуатации жаропрочных композитов на основе меди.

Список литературы

1. Медунецкий, В. М. Основы обеспечения качества и сертификация промышленных изделий: учебное пособие / В.М. Медунецкий. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 61 с.
2. Киселев, В. В. Влияние высоких температур на механические свойства стальных конструкций / В.В. Киселев [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.edufire37.ru/articles/480> (дата обращения 12.12.2025 г.).
3. Гешелин, В. Г. Сертификация и качество металлопродукции. Методы, средства и метрологическое обеспечение механических испытаний / В.Г. Гешелин. -Харьков: Изд-во «Факт», 2004. – 480 с.
4. Cahn, R.W. Physical Metallurgy / R.W. Cahn, P. Haasen. - North Holland: Fourth Edition, 1996 – 2740 p ISBN: 978-0-444-89875-3
5. Пархимович, В. И. Исследование механических и структурных характеристик спеченной меди / В. И. Пархимович, А.М. Ефимов, Т.Л. Русецкая // Порошковая металлургия: сборник статей - Минск: Вышэйшая школа, 1983. - С. 49-54.
6. Зарипова, Р.Г. Рекристаллизация в металлах и сплавах: учебное пособие / Р.Г. Зарипова [Электронный ресурс]. - Уфа: УГАТУ, 2022. – URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/EI_izd/2022-179.pdf (дата обращения 12.12.2026 г.).
7. Егоров, Ю.П. Материаловедение: учебное пособие / Ю.П. Егоров, Е.И. Мавр, И.А. Хворова [и др.]; под ред. А.Г. Багинского. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 25 с.
8. Schalunov, E. Einfluss der Herstellungsbedingungen auf die Eigenschaften von Al-Al₄C₃-Werkstoffen // E. Schalunov, M. Slesar, M. Besterici, H. Oppenheim, G. Jangg //Metall. - 1986. - № 6. - С. 601-606.
9. Патент RU 2195511 C2. Дисперсно-упрочненный композиционный материал для электроконтактных деталей / Е.П. Шалунов, А.Л. Матросов, Я.М. Липатов, В.Я. Берент Заявка № 2001103228/02 от 05.02.2001. Оpubл. 27.12.2002.
10. Shalunov, E. Development and research of a nanostructured material from aluminium powder for orthopedy and traumatology / E. Shalunov, A. Matrosov, A. Karalin В сборнике: Proceedings of the Euro International Powder Metallurgy Congress and Exhibition, Euro PM 2008. Сer. «Proceedings of the Euro International Powder Metallurgy Congress and Exhibition, Euro PM 2008», 2008. - С. 135-139.
11. Goswami, R. Mitigating the Recrystallization of a Cold-Worked Cu-Al₂O₃ Nanocomposite via Enhanced Zener Drag by Nanocrystalline Cu-Oxide Particles / R.Goswami, A.Moser, Ch.S.Pande // Nanomaterials. – 2023. - 13(19), 2727; <https://doi.org/10.3390/nano13192727>
12. Zhang, X. Microstructure stability, softening temperature and strengthening mechanism of pure copper, CuCrZr and Cu-Al₂O₃ up to 1000 °C / X. Zhang, Y. Yuan, S. Zhao, J. Zhang, Q. Yan // Nuclear Materials and Energ.- 2022. – Vol. 30. - p. 101123, ISSN 2352-1791; <https://doi.org/10.1016/j.nme.2022.101123>.

13. Новиков, В.Д. Русско-английский физический словарь / В.Д. Новиков. – М.: Руссо, 2007. – 926 с.
14. Гнесин, Г.Г. Энциклопедический словарь по материаловедению: в 2 т. / Г. Г. Гнесин; под ред. В. В. Скорохода; Нац. Акад. наук Украины, Ин-т проблем материаловедения им. И. Н. Францевича. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Наука, 2013. Т. 1: Терминологический словарь. - 2013. – 261 с.
15. Шведков, Е.Л. Словарь-справочник по порошковой металлургии / Е.Л. Шведков, Э.Т. Денисенко, И.И. Ковенский; Акад. наук Укр. ССР, Ин-т проблем материаловедения. - Киев: Наукова думка, 1982. – 271 с.
16. Международный стандарт ISO 5182:2008(R). Сварка электрическая контактная. Материалы для электродов и вспомогательного оборудования. (Resistance welding – Materials for electrodes and ancillary equipment). - Geneva: ISO copyright office, 2008. – 6 с.
17. National standard of the People's Republic of China GB/T 33370-2016. The measuring method for copper and copper alloys soften temperature. - Standardization Administration of the People's Republic of China, 2017. – p. 8.
18. Vladimirova, Y. O. Heat - And Wear-Resistant Nanocomposite Material Based on Copper Powder for Valve Guides of High-Forced Engines / Y. O. Vladimirova, E. P. Shalunov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. - Vol. 709, 3, Issue 2. –P. 033089. – DOI 10.1088/1757-899X/709/3/033089.

Vladimirova Yulia Olegovna, Senior lecturer

(e-mail: yulivladimirova@mail.ru)

I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Shalunov Evgeny Petrovich, Cand.Tech. Sci., Professor

(e-mail: shalunov2003@mail.ru)

I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

SOFTENING TEMPERATURE OF DISPERSION-STRENGTHENED COMPOSITE MATERIALS BASED ON POWDER COPPER

Abstract. This article demonstrates that the classical criterion of «recrystallization temperature» (T_p) and, consequently, the methods for its determination by registering the complete or partial replacement of deformed grains in a material with new ones, leading to a sharp drop in its strength characteristics with an increase in plasticity, are practically inapplicable to materials such as dispersion-strengthened composite materials (DSCMs). This is because the dynamically thermostable reinforcing phases contained within them (e.g., Al₂O₃) effectively suppress recrystallization up to temperatures close to the melting point of copper. Instead, it is proposed to use the criterion of «softening temperature» ($T_{p,y}$), defined as the temperature at which, after prolonged annealing, a specified decrease in the material's hardness or strength occurs.

The validity and expediency of using the «softening temperature» criterion ($T_{p,y}$), at least for dispersion-strengthened composite materials, have been proven by the authors based on a literature review and an example of their developed DSCM based on powder copper containing dispersed Al₂O₃ particles at the nanodispersed level. For this material, the softening temperature was experimentally determined to be $T_{p,y} = 970$ °C (~0.89 of the melting point of copper) according to the ISO 5182:2008(R) methodology. This value significantly exceeds not only the softening temperature of standard antifriction bronzes (up to 500 °C) but also the analogous indicator for the well-known DSCM material GlidCop (~900 °C).

The use of the term «softening temperature» and standard methods for its determination more accurately reflects the physical processes of strength loss in DSCMs upon heating and aligns with current international practices for metal product certification.

Keywords: recrystallization, softening temperature, dispersion-strengthened composite material, hardness.

СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

Воропаев Андрей Евгеньевич, аспирант,
(e-mail: a.stolnii@yandex.ru)

Малов Владислав Юрьевич, магистрант,
(e-mail: vladislav.malov.1999@mail.ru)

Белоусова Татьяна Валерьевна, специалист по научной и методической работе (e-mail: zinbel@mail.ru)

Белоусов Николай Иванович, к. т. н., доцент
(e-mail: belnikiva@mail.ru)

Курский государственный аграрный университет
имени И.И. Иванова, г. Курск, Россия

В данной статье рассмотрен способ упрочнения почвообрабатывающих рабочих органов с помощью технологии сварки.

Ключевые слова: электрод, сердечник, сталь, рабочие органы, сварка.

Современное сельское хозяйство основано на получении высокого урожая с единицы обрабатываемой площади. При этом используются минеральные удобрения, химические пестициды, что приводит к увеличению кислотности обрабатываемых почв. Для борьбы с этим негативным явлением предлагается использовать известьсодержащие материалы, предназначенные для борьбы с этим явлением и средства для их внесения [1-6]. Обработка почвы, приводит к износу, стиранию рабочих органов сельскохозяйственных машин, поэтому упрочнение и восстановление почвообрабатывающих рабочих органов, является актуальной и важной задачей [7;8]. Для восстановления работоспособности и настройки рабочих процессов механизмов и систем, применяются приспособления и модернизируемые устройства [9-12]. Далее рассмотрим один из способов упрочнения почвообрабатывающих рабочих органов с помощью технологии сварки. На рисунке 1, представлен полный процесс производства и сварки, начиная от сердечника и заканчивая окончательно закаленной поверхностью.

Чтобы избежать образования трещин и обеспечить надежное соединение следует соблюдать определенные меры осторожности для использования данного специального электрода:

Обычная электрическая сварка, также предназначена для соединения металлических деталей и наплавки с целью восстановления изношенных поверхностей, более прочным и износостойким слоем материала. Предварительный нагрев предотвращает растрескивание твердого и хрупкого наплавленного слоя и основного металла.

По окончании сварочных работ важно обеспечить медленное охлаждение детали. Оптимальным вариантом является погружение детали в сухую известь или вермикулит. Сердечник из низкоуглеродистой стали играет ключевую роль в основе металлической матричной композиции (ММК) в готовом наплавленном слое металла.

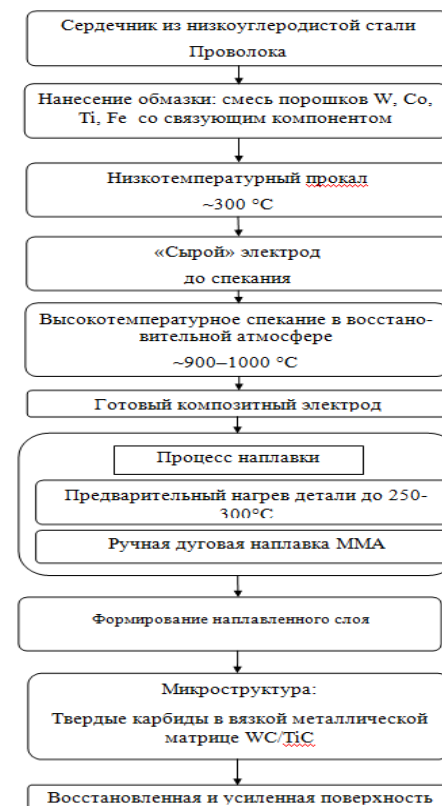


Рисунок 1 – Схема процесса упрочнения поверхности с помощью технологии сварки

В рамках данной композиции:

а) твердые карбиды (WC и TiC), образованные из порошковых материалов, выступают в роли армирующей фазы;

б) пластичный металлический сплав, образованный из расплавленного низкоуглеродистого стального сердечника, порошков кобальта и железа, выполняет функцию матричной фазы.

Оптимальной структурой для защиты от абразивного износа в условиях тяжелых, ударных нагрузок, таких как эксплуатация рабочих органов почвообрабатывающих машин, является сочетание прочной матрицы (сталь- кобальт) и твердой армирующей фазы (карбиды). Данная структура идеально подходит для рабочих органов почвообрабатывающих машин, что соответствует их эксплуатационным требованиям.

Электрод изготавливается из низкоуглеродистого стального сердечника, покрытого специально подобранной порошковой смесью, состоящей из порошков

вольфрама, кобальта, титана и железа. Данное сочетание компонентов обеспечивает оптимальное единство следующих характеристик:

а) хорошая свариваемость и адгезия с рабочим органом благодаря стальному сердечнику;

б) стойкость к абразивному износу благодаря карбидам вольфрама и титана;

в) высокая вязкость и стойкость к ударным нагрузкам благодаря матрице из легированной кобальтом стали.

Рассматриваемый электрод предназначен для восстановления и упрочнения, а также продления срока службы рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Список литературы

1. Воропаев, В. Н. классификация машин для внесения химических мелиорантов / В. Н. Воропаев, В. Е. Желудев, Н. И. Белоусов // Проблемы развития современного общества : Сборник научных статей 9-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. В 3-х томах, Курск, 23–24 января 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 403-405.

2. Поддубный, Е. В. Обоснование параметров кузова разбрасывателя химических мелиорантов / Е. В. Поддубный, Н. И. Белоусов // Агропромышленный комплекс: контуры будущего : Материалы IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 06–08 декабря 2017 года. Том Часть 2. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2018. – С. 283-285.

3. Обоснование вместимости кузова разбрасывателя химических мелиорантов / Н. И. Белоусов, Е. В. Поддубный, А. А. Шукруллаев, М. С. Александров // Молодежная наука - гарант инновационного развития АПК : материалы X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 19–21 декабря 2018 года. Том Часть 3. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 202-205.

4. Белоусов, Н. И. Обоснование размеров кузова разбрасывателя извести материалов / Н. И. Белоусов, Д. Н. Целиков, Д. А. Щенников // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве : Сборник научных трудов международной научно-практической онлайн конференции, посвященной 10-летию образования Бухарского филиала Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Курск, 25–26 сентября 2020 года / Отв. редактор Т.Х. Жураев. – Курск: "Дурдона" ("Sadriddin Salim Buxoriy" Durдона nashriyoti), 2020. – С. 42-44.

5. Исследование физико-механических свойств соломы / В. А. Кончин, А. П. Бабков, М. О. Зубарева, А. Е. Кузько // Физика и современные технологии в АПК : материалы XI Всероссийской молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников с международным участием, Орел, 19 февраля 2020 года. – Орел: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2020. – С. 454-457.

6. Шукруллаев, А. А. Зависимость липкости химических мелиорантов от их влажности / А. А. Шукруллаев, Д. Н. Целиков, Н. И. Белоусов // Инновации в научно-техническом обеспечении агропромышленного комплекса России : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курск, 06 февраля 2020 года. Том Часть 3. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2020. – С. 74-77.

7. Воропаев, А. Е. Анализ износа рабочих органов сельскохозяйственных машин / А. Е. Воропаев, Н. И. Белоусов // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и

молодых ученых, Курск, 21 ноября 2024 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова, 2025. – С. 48-53.

8. Воропаев, А. Е. Применение твёрдосплавных смесей порошков, как средство для упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных орудий / А. Е. Воропаев, Т. В. Белоусова, Н. И. Белоусов // Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2025 : Сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 25–26 сентября 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 233-236.

9. Дремов, С. Н. Основные неисправности турбокомпрессора двигателя серии ЯМЗ-536 / С. Н. Дремов, Н. И. Сасин, Н. И. Белоусов // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 30 октября 2021 года. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2021. – С. 36-39.

10. Шор, М. И. К вопросу ремонта турбокомпрессоров автотракторных двигателей / М. И. Шор, Ю. А. Гуреев, Н. И. Белоусов // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский Государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ совет молодых учёных и специалистов Рязанской области. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 47-51.

11. Белоусов, Н. И. Универсальное приспособление для демонтажа и ремонта ведущих мостов тракторов / Н. И. Белоусов, Д. Н. Целиков, А. В. Жуков // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества : Сборник научных статей Всероссийской молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 05 июня 2020 года / Отв. редактор А.А. Горохов. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 201-203.

12. Митькин, Р. К. Расчёт устройства для монтажа-демонтажа узлов ходовой части гусеничных тракторов / Р. К. Митькин, М. И. Прыгунов, С. И. Мелешков // Актуальные проблемы повышения эффективности агропромышленного комплекса : материалы международной научно-практической конференции, Курск, 23–25 января 2008 года. – С. 314-315.

Voropaev Andrey Evgenievich, PhD student

Malov Vladislav Yurievich, Master's student,

Belousova Tatiana Valeryevna, specialist in scientific and methodological work

Belousov Nikolay Ivanovich, PhD, Associate Professor (e-mail: belnikiva@mail.ru)

Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

METHOD OF STRENGTHENING TILLAGE PLANTS WORKING BODIES USING WELDING TECHNOLOGY

Abstract: This article discusses a method for strengthening tillage working bodies using welding technology.

Keywords: electrode, core, steel, working elements, welding.

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛЬФРАМО-КОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ КАК СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Воропаев Андрей Евгеньевич, аспирант

(e-mail: a.stolnii@yandex.ru)

Кулакова София Александровна, магистрант

(e-mail: 39-61-12@mail.ru)

Белоусова Татьяна Валерьевна, специалист

по научной и методической работе

(e-mail: zinbel@mail.ru)

Белоусов Николай Иванович, к.т.н., доцент

(e-mail: belnikiva@mail.ru)

Курский государственный аграрный университет имени

И.И. Иванова, г. Курск, Россия

В данной статье рассмотрены физико-химические свойства, технологические особенности и практические аспекты применения вольфрамко-кобальтовых твёрдых сплавов при восстановлении рабочих органов сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: вольфрамко-кобальтовые соединения, твёрдые сплавы, напыление, покрытие.

Современный агропромышленный комплекс основан на интенсивном возделывании аграрных культур и обработке посевных площадей, что приводит к истощению и подкислению обрабатываемых почв. Для восстановления плодородия и снижения кислой реакции среды почв используются органические удобрения, известковые кальцийсодержащие соединения [1-4] и машины для их внесения [5-9].

Интенсивная эксплуатация сельскохозяйственной техники приводит к ускоренному износу критически важных узлов и деталей: режущих элементов почвообрабатывающих машин, валов, подшипников, рабочих поверхностей трансмиссий. Традиционные методы восстановления (наплавка, гальваника) зачастую не обеспечивают требуемой износостойкости в условиях абразивного воздействия почвы, высоких нагрузок и циклических воздействий. В этой связи перспективно применение вольфрамко-кобальтовых твёрдых сплавов и других твёрдых металлических порошков, сочетающих высокую твёрдость, износостойкость и ударную вязкость [10-13].

Вольфрамко-кобальтовые твёрдые сплавы, обладающие исключительной твёрдостью, высокой прочностью на сжатие и термостойкостью до 800-1000°C, представляют перспективное решение для повышения ресурса восстановленных деталей.

Основу сплавов составляет карбид вольфрама, это соединение обеспечивает твёрдость и износостойкость. Кобальт выступает в роли металлической связки, придавая сплаву пластичность и ударную вязкость.

Соотношение карбида вольфрама и кобальта (WC:Co) варьируется от 94:6 до 85:15, что позволяет регулировать баланс твёрдости и вязкости под конкретные условия эксплуатации.

Технологии нанесения карбида вольфрама и кобальта (WC-Co) покрытий в ремонтном производстве включают следующие:

1. Газотермическое напыление. Метод предполагает разгон частиц порошка WC-Co до сверхзвуковых скоростей в потоке горящего газа (пропан-кислород, ацетилен-кислород). Преимущества: минимальная термическая деформация основы; толщина покрытия 0,1–1,0 мм; возможность локального нанесения.

2. Плазменное напыление. Использование плазменной струи ($T \approx 10\,000\text{--}15\,000\text{ K}$) обеспечивает: высокую адгезию ($\sigma_{\text{адг}} \geq 50\text{ МПа}$); плотность покрытия $> 95\%$ от теоретической; возможность нанесения на сложные геометрии.

3. Наплавка порошковыми материалами. Применение самофлюсующихся порошков WC-Co-Cr-B-Si позволяет получить: толщину слоя до 3-5 мм; микротвёрдость HV 1000-1400; высокую стойкость к абразивному износу.

4. Холодное газодинамическое напыление. Технология без плавления частиц обеспечивает: отсутствие окисления материалов; минимальные остаточные напряжения; сохранение исходных свойств WC.

Практическое применение восстановления рабочих органов сельскохозяйственной техники заключается в следующем:

а). Восстановление почвообрабатывающих орудий:

- лемеха плугов: напыление WC и 12% Co увеличивает ресурс в 3-4 раза;

- диски борон: наплавка WC и 8%Co снижает износ на 60-70 %;

- лапы культиваторов: плазменное покрытие WC и 10%Co продлевает срок службы до 2-х сезонов.

б). Ремонт трансмиссионных узлов:

- валы и оси: газотермическое напыление WC и 6%Co восстанавливает посадочные места под подшипники;

- шестерни: наплавка WC и 15%Co повышает износостойкость зубьев в 2,5 раза.

в). Восстановление гидравлических компонентов:

- штоки гидроцилиндров: плазменное покрытие WC и 10%Co исключает заедание при абразивном загрязнении;

- рабочие поверхности насосов: напыление WC и 8%Co снижает утечки на 40 %.

Вольфрамко-кобальтовые соединения обладают высокой эффективностью при восстановлении изношенных рабочих органов сельскохозяйственной техники.

Список литературы

1. Лазарев, В. И. Влияние кальцийсодержащих соединений на микробиологическую активность и физико-химические свойства почвы / В. И. Лазарев, Н. Н. Трутаева // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 10. – С. 7-9.

2. Никитина, О. В. Микроорганизмы почв и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур / О. В. Никитина, А. И. Стифеев, Н. Н. Трутаева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4. – С. 63-69.

3. Воропаев, А. Е. Характеристика чернозёмов Курской области / А. Е. Воропаев, С. А. Кулакова, Н. И. Белоусов // Проблемы развития современного общества : сборник научных статей 10-й Всероссийской национальной научно-практической конференции, Курск, 23–24 января 2025 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 464-467.

4. Михайлов, А. С. К вопросу оптимального выбора средств внесения твёрдых органических удобрений / А. С. Михайлов, Ю. А. Гуреев // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России : сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Курск, 30 октября 2021 года. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2021. – С. 68-72.

5. Воропаев, В. Н. классификация машин для внесения химических мелиорантов / В. Н. Воропаев, В. Е. Желудев, Н. И. Белоусов // Проблемы развития современного общества : Сборник научных статей 9-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. В 3-х томах, Курск, 23–24 января 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 403-405.

6. Поддубный, Е. В. Обоснование параметров кузова разбрасывателя химических мелиорантов / Е. В. Поддубный, Н. И. Белоусов // Агропромышленный комплекс: контуры будущего : Материалы IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 06–08 декабря 2017 года. Том Часть 2. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2018. – С. 283-285.

7. Обоснование вместимости кузова разбрасывателя химических мелиорантов / Н. И. Белоусов, Е. В. Поддубный, А. А. Шукруллаев, М. С. Александров // Молодежная наука - гарант инновационного развития АПК : материалы X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 19–21 декабря 2018 года. Том Часть 3. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 202-205.

8. Белоусов, Н. И. Обоснование размеров кузова разбрасывателя из известковых материалов / Н. И. Белоусов, Д. Н. Целиков, Д. А. Щенников // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве : Сборник научных трудов международной научно-практической онлайн конференции, посвященной 10-летию образования Бухарского филиала Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Курск, 25–26 сентября 2020 года / Отв. редактор Т.Х. Жураев. – Курск: "Дурдона" ("Sadriddin Salim Buxoriy" Durдона nashriyoti), 2020. – С. 42-44.

9. Шукруллаев, А. А. Зависимость липкости химических мелиорантов от их влажности / А. А. Шукруллаев, Д. Н. Целиков, Н. И. Белоусов // Инновации в научно-техническом обеспечении агропромышленного комплекса России : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курск, 06 февраля 2020 года. Том Часть 3. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2020. – С. 74-77.

10. Воропаев, А. Е. Анализ износа рабочих органов сельскохозяйственных машин / А. Е. Воропаев, Н. И. Белоусов // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 21 ноября 2024 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова, 2025. – С. 48-53.

11. Воропаев, А. Е. Применение твёрдосплавных смесей порошков, как средство для упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных орудий / А. Е. Воропаев, Т. В. Белоусова, Н. И. Белоусов // Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2025 : Сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 25–26 сентября 2025 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 233-236.

12. Воропаев, А. Е. Вольфрамо-кобальтовый сплав как перспективный способ упрочнения сельскохозяйственных агрегатов / А. Е. Воропаев, Н. И. Белоусов // Молодежная наука - раз-

витию агропромышленного комплекса : материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 21 ноября 2024 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова, 2025. – С. 45-48.

13. Воропаев, А. Е. свойства и характеристики сплава ВК6 / А. Е. Воропаев, П. А. Качанов, Н. И. Белоусов // Современные машиностроительные системы, технологии и инновации : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 06 марта 2025 года. – Воронеж: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 57-60.

Voropaev Andrey Evgenievich, PhD student, (e-mail: a.stolnii@yandex.ru)

Kulakova Sofia Aleksandrovna, Master's student, (e-mail: 39-61-12@mail.ru)

Belousova Tatiana Valeryevna, specialist in scientific and methodological work (e-mail: zinbel@mail.ru)

Belousov Nikolay Ivanovich, PhD, Associate Professor (e-mail: belnikiva@mail.ru) Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

APPLICATION OF TUNGSTEN-COBALT ALLOYS AS A METHOD OF RESTORING WORKING PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Abstract: This article discusses the physical and chemical properties, technological features, and practical aspects of the application of tungsten-cobalt hard alloys in the restoration of agricultural machinery components.

Keywords: tungsten-cobalt compounds, hard alloys, spraying, and coating.

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРЕН ИЗ СТАЛИ 40Х МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ

Гаджибеков Рафаэль Мушфигович, магистрант

(e-mail: rafaelgadzhibekov@mail.ru)

Сарсенгалиев Айдос Мургенгалиевич, к.т.н., доцент

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

В статье приводятся результаты исследования процесса лазерной закалки поверхности стали 40Х. Исследовано влияние режимов лазерной закалки на изменение микротвердости и структуры поверхности стальных образцов.

Ключевые слова: лазерная закалка, модифицирование поверхностного слоя, микротвердость, сталь 40Х, режимы лазерной закалки, микроструктура.

Высокие эксплуатационные нагрузки шестерней возникают в процессе работы коробки переключения передач на высоких оборотах, что часто приводит к износу и последующему выходу из строя элементов шестерен. Для повышения срока службы шестерен применяют упрочнение поверхности их зубьев. Процессы упрочнения могут реализовываться как с нанесением функциональных механически прочных покрытий, так и без них, подвергая модифицированию лишь тонкие поверхностные слои металла. Технологии упрочнения с нанесением пленок и покрытий предусматривают как PVD, так и CVD процессы. Часто модифицирование поверхности проводится электрохимическим и газотермическим оксидированием с созданием твердых и коррозионноустойчивых металлооксидных соединений, порошковым напылением, вакуумным осаждением, на-

плавкой, спеканием и т.д. [1-8]. Эффективным технологическим процессом упрочнения различных изделий является лазерная термообработка в виде закалки поверхностных слоев. Применяя технологию лазерной закалки, повышаются эксплуатационные свойства стали, такие как микротвердость и износостойкость за счет улучшения ее прочностных показателей. Данный способ упрочнения обеспечивает продолжение срока службы всего механизма коробки переключения передач, эксплуатационные показатели и сокращение затрат ресурсов на ремонт агрегата.

Для данного исследования использовались образцы стали 40X, нарезанные в виде прямоугольных пластин из листового металлопроката. Размеры образцов составляли 25x15x3 мм. Подготовка поверхности стали происходила путем шлифования наждачной бумагой зернистостью P40, P80, P120, P180 (рис. 1.)



Рис. 1. Экспериментальный образец из стали 40X для лазерной закалки

Методические этапы проведения эксперимента включали следующие операции:

- вырезку образцов;
- шлифование образцов;
- ультразвуковую очистку, промывку и сушку образцов;
- лазерную закалку поверхности образцов;
- измерения микротвердости упрочненной поверхности.

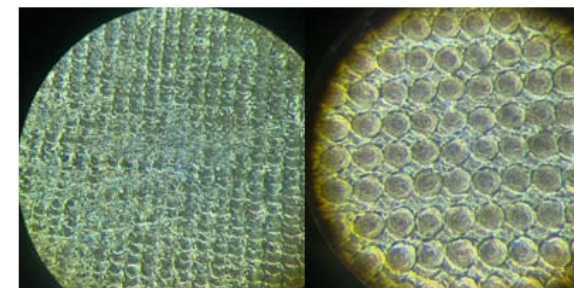
Упрочнение поверхности подготовленных образцов проводили методом лазерной закалки с использованием установки LRS-50, генерирующей излучение в импульсно-периодическом режиме.

Экспериментальные технологические режимы лазерной закалки поверхности стали 40X показаны в табл. 1.

Таблица 1 – Режимы лазерной закалки на образцы из стали 40X

№	Напряжение лампы накачки U, В	Энергия импульса E, Дж	Мощность P, Вт	Длительность импульса τ , мс	Диаметр пятна фокусировки d, мкм	Частота следования импульса ν , Гц	Фокусное расстояние f, мм
1	220	0,2	500	1	0,60	5	70
2	220	0.2	500	1	0,60	10	70
3	220	0.2	500	1	0.60	15	70
4	220	0.2	500	1	0.60	20	70
5	240	0.2	500	1	0.60	5	70
6	240	0.2	500	1	0.60	10	70
7	240	0.2	500	1	0.60	15	70
8	240	0.2	500	1	0.60	20	70

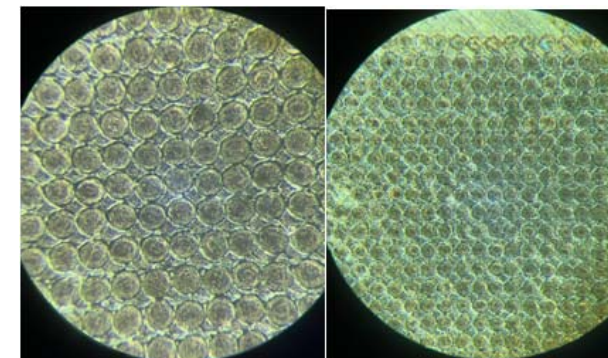
В ходе эксперимента определялось влияние частоты следования импульсов при лазерной обработке с двумя фиксированными значениями напряжения на лампе накачки – 220 В и 240 В. В процессе лазерной закалки на поверхности стали образуется микрочешуйчатая структура с возникновением цветов побежалости (рис. 2-5).



№1

№2

Рис 2. Экспериментальные образцы при увеличении x7



№3

№4

Рис 3. Экспериментальные образцы при увеличении x7

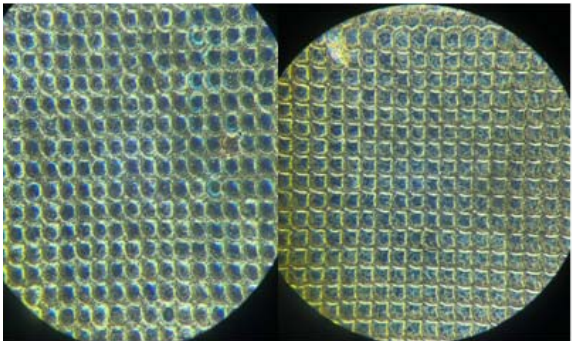


Рис 4. Экспериментальные образцы при увеличении x7

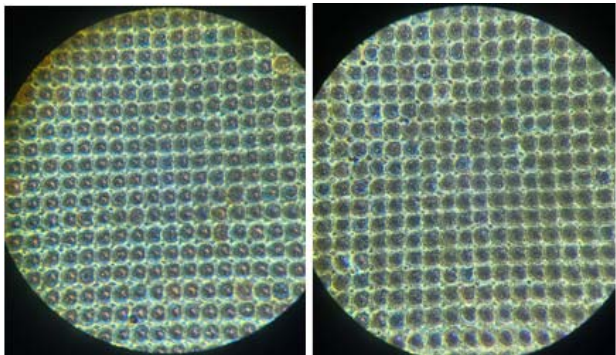


Рис 5. Экспериментальные образцы при увеличении x7

Лазерная закалка была проведена путем четырех технологических проходов с поворотом образца на 90° после каждого прохода и изменением режима лазерной закалки.

Для измерения микротвердости данных образцов применялся микротвердомер ПМТ-3М. Индентирование проводилось по методу Виккерса. Результаты измерения микротвердости представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Результаты измерения микротвердости после проведения лазерной закалки стали 40X

№ образца	Параметры лазерной закалки						Микротвердость, ГПа	Увеличение микротвердости, раз
	U, В	E, Дж	P, Вт	τ, мс	d, мм	f, мм		

Контрольный образец	-	-	-	-	-	-	3,06	-
1	220	0,2	500	1	0,60	70	8,7	2,8
2	220	0,2	500	1	0,60	70	7,9	2,6
3	220	0,2	500	1	0,60	70	7,2	2,3
4	220	0,2	500	1	0,60	70	8,5	2,7
5	240	0,2	500	1	0,60	70	5,6	1,8
6	240	0,2	500	1	0,60	70	6,6	2,1
7	240	0,2	500	1	0,60	70	7,9	2,6
8	240	0,2	500	1	0,60	70	6,6	2,1

По результатам исследования микротвердости стали 40X следует, что образец №1, полученный при режимах лазерной закалки U=300 В, d=0,6 мм с длительностью импульсов 1 мс обладает повышенной микротвердостью. Образец №5 показал наименьшее значение микротвердости из всех образцов (табл. 2). В результате проведения лазерной закалки на образце №1 создавался поверхностный слой с высокой механической прочностью.

Список литературы

1. Родионов, И. В. Коррозионное поведение оксидных биопокровов костных титановых имплантатов, получаемых паротермическим оксидированием / И. В. Родионов, К. Г. Бутовский // Технологии живых систем. 2006. Т. 3, № 5. С. 74-78.

2. Формирование пористого порошкового Al₂O₃ покрытия способом лазерного импульсного спекания / И. В. Родионов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц, П. Н. Устинов // Вопросы электротехнологии. 2024. № 1(42). С. 14-23.

3. Получение ультрамелкодисперсных структур на титановом сплаве ВТ6 лазерным диспергированием тонких оксидных пленок / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов, Е. В. Ситников, С. А. Бородин // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. Т. 17, № 1. С. 14-20.

4. Родионов И.В., Бутовский К.Г., Анников В.В., Хапрова Т.С. Поверхностно-структурные характеристики термооксидных биопокровов остеофиксаторов из стали 12Х18Н9Т / Сб. докладов 2-го Междунар. научно-технического симпозиума «Наноструктурные функциональные покрытия и материалы для промышленности» Харьковской нанотехнологической ассамблеи – 2007. Т.1. Наноструктурные материалы. Украина, Харьков, 2007. С. 139-144.

5. Родионов, И. В. Термооксидные покрытия остеофиксаторов из стали 12Х18Н9Т, полученные воздушно-термическим оксидированием / И. В. Родионов // Инженерная физика. 2008. № 6. С. 56-64.

6. Родионов, И. В. Основные функциональные свойства пароксидных биопокровов костных титановых имплантатов / И. В. Родионов, К. Г. Бутовский // Инженерная физика. 2006. № 5. С. 37-46.

7. Родионов, И. В. Применение технологии анодного оксидирования при создании биосовместимых покрытий на дентальных имплантатах / И. В. Родионов, Ю. В. Серянов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. Т. 2, № 1(12). С. 77-87.

8. Родионов, И. В. Физико-химические и механические свойства функциональных термооксидных покрытий на медицинских имплантатах из нержавеющей стали / И. В. Родионов // Физика и химия обработки материалов. 2012. № 4. С. 45-52.

Gadzhibekov Rafael Mushfigovic master's student

Sarsengaliev Aidos Mirgengalievich, Ph.D., Associate Professor

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

HARDENING OF GEAR TEETH MADE OF 40X STEEL BY LASER HARDENING

Abstract. The article presents the results of a study of the laser hardening process of the surface of steel 40X. The influence of laser hardening modes on the change in microhardness and surface structure of steel samples has been investigated.

Keywords: laser hardening, surface layer modification, microhardness, 40X steel, laser hardening modes, and microstructure.

КОНТРОЛЛЕР «Elreha EVP3150» ДЛЯ ТОРГОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

Галка Андрей Сергеевич, студент

Научный руководитель -

Алехин Сергей Николаевич, к.т.н., доцент

(andrew8werner@gmail.com)

Донской Государственный Технический Университет,

г. Ростов-на-Дону, Россия

В данной статье раскрываются особенности контроллера «Elreha EVP3150», предназначенного для управления температурой потребителей торгового холодильного оборудования. Описываются функции данного устройства и способы управления его параметрами.

Ключевые слова: контроллер, клапан, камера, вентиль, дисплей, оттаивание, регулятор.

Контроллер модели «Elreha EVP3150» представляет собой своеобразный специальный регулятор для управления холодильными установками, такими, как холодильные шкафы, витрины, прилавки, холодильные камеры в зале торгового комплекса. Существуют два типа разновидностей данного контроллера: EVP3150-1 и EVP3150-2. Первый тип предназначен для расширительных вентилей переменного тока, а второй - для расширительных вентилей как переменного, так и постоянного тока, имеющего штепсельные резьбовые зажимы.

Контроллеры «Elreha EVP3150» имеют основное предназначение для торговой холодильной мебели, обладая рабочим напряжением 230В. Температура

окружающей среды должна варьироваться от 0 до 50°C для корректной работы контроллера. Визуальный вид «Elreha EVP3150» представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Контроллер регулирования температуры «Elreha EVP3150» для торговой мебели. [1]

Данный контроллер обладает интеллектуальной, свободно программируемой системой регулирования оттаивания. Для осуществления процесса оттаивания с помощью данного аппарата, необходимо два температурных датчика. Типы температурных датчиков подходят следующие: РТС и РТ1000, но с номинальными сопротивлениями 2кОм. Согласующее устройство для отображения данных на монитор, подходит для этого устройства - порт RS485.

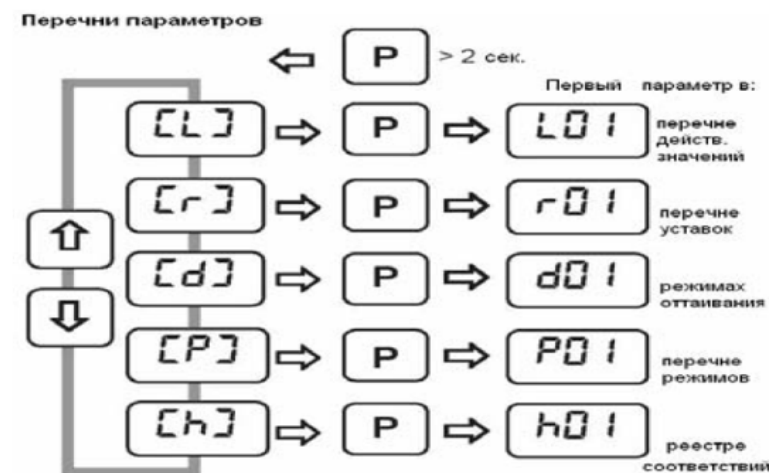


Рисунок 2 - Перечень параметров, которые можно настроить на дисплее контроллера «Elreha EVP3150».

На рисунке 2 обозначены параметры, отображаемые на дисплее контроллера. На данном контроллере можно корректировать установленные значения температуры (уставки), температуру которых необходимо достичь внутри холодильного потребителя. Также, с помощью дисплея можно настроить режимы оттаивания, посмотреть температуру датчиков других важных узлов потребителя холода. К примеру, температуру испарителя, температуру на выходе и входе в испаритель.

Сигнализация температуры на контроллере.

Если реле предписана функция «ALA», то передача сигнала осуществляется по принципу тока покоя, после включения регулятора проходит определенное количество времени (как правило, около 4 секунд), после чего тепловое реле притягивается и остается притянутым. Как раз, регулируемая выдержка времени сигнализации, предотвращает сообщения при коротких температурных колебаниях. [2]

Кроме того, на данном контроллере можно конфигурировать до 4 сигнальных датчиков. Если температура у одного из них превышает регулируемую уставку (установленное значение температуры датчика), а регулируемое время выдержки сигнализации температуры истекло, сигнальное реле отключается.

Контроллер «Elreha EVP3150» может управлять одним холодильным потребителем с одним испарителем, который оснащен электронным расширительным вентилем. Управление осуществляется за счет датчика на выходе из испарителя и температурного датчика на самом ребре испарителя, на основе показаний которых, электронный вентиль либо закрывается, либо открывается, подавая подачу хладагента и охлаждая объем торгового оборудования. Контроллер может регулировать скоростью вентилятора испарителя, а также его включением или выключением, через аналоговый выход или реле управления.

К тому же, одна из наиболее важная функция данного контроллера - цифровой вход на дверном контакте холодильной единицы оборудования. Если на цифровой вход поступает 230В, вентилятор отключается. Диапазон регулирования расширительного вентиля, одновременно с тем, меняется, чтобы предотвратить последующее испарение. Через задаваемое количество времени (в среднем это около 3 минут), охлаждение в объеме потребителя отключается до того момента, пока дверь не закроется (условной холодильной горки или шкафа/витрины). В результате возникает на контроллере после отключения охлаждения аварийное оповещение открытой двери.

Контроллер «Elreha EVP3150», произведенный немецкой компанией «Elreha» является специализированным регулятором для холодильных систем. Данное устройство отличается тем, что имеет большую энергоэффективность, благодаря интеллектуальному управлению вентиляторами и оптимизацией времени оттайки, свободно настраиваемой. Встроенный аварийный режим через аналоговые входы позволяет продолжать работу системы даже при выходе из строя температурных датчиков или сбоя системы оттайки. Кроме всего прочего, на этом контроллере имеется адаптивное управление терморегулирующим вентилем и электронным расширительным вентилем, благодаря чему автоматически

регулируется степень открытия клапана подачи хладагента и позволяет точно поддерживать температурный режим, во избежание порчи товара. Данный контроллер остается актуальным и в наше время в промышленном холоде, за счет своей высокой степени надежности и возможности настройки под конкретный тип хладагента и конфигурацию испарителей холодильных потребителей. [3]

Список литературы

1. Жильцов И.Б., Новикова И.В. «Автоматизация холодильных установок» - 2024г.
2. Крупененков Н.Ф. «Электронные регуляторы температуры (контроллеры) фирм Danfoss, Eliwell, AKO. Настройка параметров и алгоритма работы холодильной установки» - 2014г.
3. А.В. Родина, Н.А. Тюнина: Современные холодильники. – М.: СОЛОН – ПРЕСС, 2008. – 96с.

Galka Andrew Sergeevich, student

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Alekhn Sergey Nikolaevich, Cand.Tech.Sci., associate professor

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

ELREHA EVP3150 CONTROLLER FOR COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT. MAIN FUNCTIONS

Abstract. This article reveals the features of the «Elreha EVP3150» controller, which is designed to control the temperature of consumers of commercial refrigeration equipment. It describes the functions of this device and the methods of controlling its parameters.

Keywords: controller, valve, chamber, valve, display, defrosting, regulator.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Гаркавенко Владимир Викторович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия государственной противопожарной службы, г.Москва, Россия

Гончарова Юлия Александровна, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Банк России, г.Москва, Россия

Клепач Максим Денисович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова, г.Москва, Россия

В работе дается рассмотрение вопросов, относящихся к использованию современных навигационно-информационных и диспетчерских систем на транспорте.

Ключевые слова: транспорт, информационная система.

Организация производства на современных предприятиях должна опираться на оперативное получение информации о параметрах производственного процесса, а именно о показателях и режимах работы подвижного состава, представленных как в виде временного (моментного) ряда, так и в накопленном и систематизированном виде [1]. Очевидно, что в данном случае речь идет о не-

обходимости использования информационных технологий в системе организации производства. Современной тенденцией использования информационных технологий на транспорте является интеграция информационных потоков [2] и коммуникационное обеспечение транспортировки грузов (так называемая «телематика» как одно из направлений информатики).

Данные подходы реализуются в навигационно-информационных системах и системах диспетчеризации перевозок [3]. Достаточно часто на транспорте применяются бездокументарные информационные системы слежения, связи и диспетчеризации транспорта на базе спутниковых систем навигации и связи [4].

Навигационные системы предназначены для определения местонахождения подвижного состава на местности в определенный момент времени, что позволяет контролировать режим работы и график прохождения маршрута. Использование глобальной спутниковой связи и построенной на ее основе системы диспетчеризации позволяет обеспечить:

- потоковое получение технико-эксплуатационных показателей [5] работы подвижного состава и сохранение этой информации в базе данных;
- прямую и скоростную связь с диспетчерским пунктом;
- хранение сообщений в базах данных;
- возможность получения информации о местоположении [6] и состоянии транспортного средства и др. Навигационно-информационная система предприятия должна включать следующие подсистемы:

а) подсистему спутниковой навигации [7]. Определение места транспортного средства производится на борту;

б) подсистему связи (передачи данных и – при необходимости – голосовых сообщений). Способы связи могут быть различными: спутниковая (через геостационарный спутник [8] или низкоорбитальную группировку), сотовая связь (может использоваться голосовой канал или текстовые сообщения), транковая, специальная;

в) подсистему бортовых датчиков и/или сигнальных устройств у водителя. Набор датчиков и требования к их установке и подключению сильно варьируются в зависимости от назначения системы [9] и условий её работы. Требуемую гибкость призван обеспечить бортовой контроллер. Необязательные компоненты бортового оборудования: система идентификации водителя (автовладельца), система «hands free», система скрытного прослушивания салона, система автономного питания, а также всевозможные исполнительные устройства [10];

г) бортовой контроллер. Предназначен для управления навигационным приёмником и передающим устройством, коммутации бортовых датчиков, первичной обработки информации и формирования пакетов данных для передачи в центр управления;

д) центр управления. Специальное оборудование может включать в себя антенну и модем для приёма сообщений с бортов.

На диспетчерском пункте предприятия информация помещается в компьютер, где с помощью программного обеспечения выдаются все маршруты движения транспортного средства и оформляются необходимые документы. Суще-

ствуют две основные формы представления маршрутов транспортного средства: анимационный и табличный. В режиме анимации на дисплее компьютера, где имеются электронные карты местности, отображается движение транспортного средства. В табличной форме указываются наименование пункта въезда, время выезда из пункта, продолжительность стоянок и остановок в пути, количество пройденных километров, расход горючего, время прибытия в пункт назначения, наименование пункта назначения.

Список литературы

1. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
2. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
3. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
4. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
5. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.
8. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.
9. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
10. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
11. Tomakova, R. A. Comparative Analysis of Segmentation Efficiency Method the Halfont Image Based on the Selection of Priority Direction of Machining Segment Boundaries / R. A. Tomakova, S. A. Filist, A. I. Pykhtin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11, No. 5. – P. 3199-3206. – EDN VRQGFJ.
12. Потапенко, А. М. Приложение теории графов к исследованию сетевых структур в телекоммуникациях : учебное пособие / А. М. Потапенко, Р. А. Томакова, М. В. Томаков ; А. М. Потапенко, Р. А. Томакова, М. В. Томаков ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Курский гос. технический ун-т". – Курск : Курский гос. технический ун-т, 2010. – 147 с. – ISBN 978-5-7681-0547-1. – EDN QMUUBF.
13. Универсальные сетевые структуры в задачах классификации многомерных данных / Р. А. Томакова, А. А. Насер, О. В. Шаталова, Е. В. Рудакова // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 8. – С. 48-49. – EDN PCNOTB.

14. Hybrid Intelligent Models for Chest X-Ray Image Segmentation / S. A. Filist, R. A. Tomakova, S. V. Degtyarev, A. F. Rybochkin // Biomedical Engineering. – 2018. – Vol. 51, No. 5. – P. 358-363. – DOI 10.1007/s10527-018-9748-5. – EDN XYVBSP.

15. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутонных изображений / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, Р. А. Томакова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 3(32). – С. 44-63. – EDN QPNAYM.

Garkavenko Vladimir Viktorovich, specialist
Academy of the State Fire Service, Moscow, Russia

Goncharova Yulia Alexandrovna, specialist
Bank of Russia, Moscow, Russia

Klepach Maxim Denisovich, specialist
Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov, Moscow, Russia

PROBLEMS OF MANAGEMENT OF MODERN TRANSPORT SYSTEMS

Annotation: The paper discusses issues related to the use of modern navigation, information and dispatching systems in transport.

Key words: transport, information system.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Гаркуша Артемий Витальевич, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия управления МВД России, г.Москва, Россия

Панфилова Елена Олеговна, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия электротехнических наук РФ, г.Москва, Россия

Погорилко Анастасия Романовна, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АНО "Альфа-Прогрессор", г.Москва, Россия

В статье проведен анализ особенностей формирования моделей телекоммуникационных систем на предприятии.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, предприятие, модель.

Процессы моделирования и различные модели встречаются в при проектировании телекоммуникационных систем на предприятиях. Происходит замена соответствующими отображениями, рассматриваемыми в виде моделей, реальных объектов. Должны быть воспроизведены интересующих исследователей свойства, которые есть в реальных системах [1]. Практика показывает, что весьма эффективными и востребованными являются именно методы моделирования, если их сравнивать с другими методами, когда создаются, организуются и оптимизируются сложные системы [2].

Модели, связанные с проектами, разрабатываются до того, как будет изготовлено любое из технических устройств или сооружений. Для получения мак-

симального эффекта от применения определенных систем, люди осуществляют процессы их организации. Многие из ключевых задач в экспериментальных исследованиях могут быть решены за счет применения моделирования [3]. То есть, вместо непосредственного наблюдения ведутся аналитические расчеты. Они по соответствию результатов в теоретическом анализе подвергаются проверке. Регистрируются те процессы, которые будут происходить в моделях [4].

Вследствие того, что для вычислительной техники различные компоненты активным образом в настоящее время распространяются, это ведет к тому, что интерес к подходам, связанным с моделированием, также возрастает. Что позволяют достигать компьютерные модели? По поведению технических систем можно вести прогнозирование. Варианты решения, являющиеся лучшими, могут быть более быстрым образом определены. Сложные системы более эффективным образом можно спроектировать [5].

В моделировании существует несколько крупных направлений, которые выделены на рис. 1.

Для идеального моделирования можно отметить интуитивное и формализованное [6].

В первом из них определенное отображение реальных объектов рассматривается в виде модели. То есть, ситуация будет описываться на основе нечеткого подхода [7]. Для исследователя важно наличие соответствующего опыта и интуиции. Наглядные элементы присутствуют в формализованном моделировании [8]. Есть достаточно четкая формализация взаимодействия образов. При мысленном эксперименте такой подход является достаточно перспективным [9].

В ходе моделирования технологических процессов, а также технических систем важно следовать определенным правилам.

1. Чтобы анализировать модели и обобщенным образом их создавать, требуется, чтобы были привлечены различные специалисты. Это вытекает из того, что процессы применения, исследования и разработки моделей являются весьма трудоемкими [10].

2. Исследователи должны владеть как различными видами математического аппарата [5], так и знать общие законы, по которым технические системы будут функционировать.

3. Выделяют подмодели в моделях. Это делается для того, чтобы всесторонним образом осуществить изучение рассматриваемых объектов.

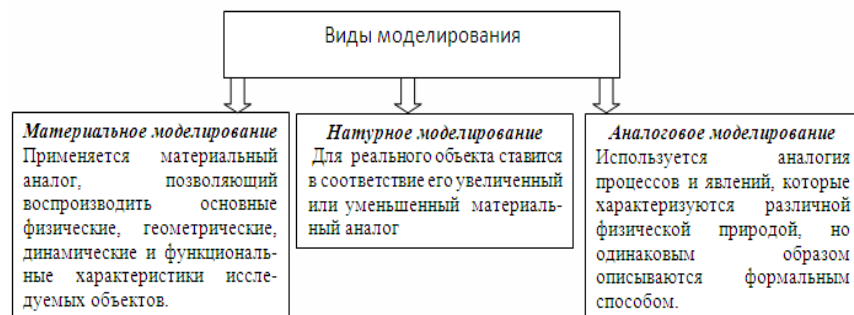


Рис. 1. Основные направления в моделировании

Список литературы

1. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
2. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
5. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
6. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
7. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
8. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
9. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
10. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).

Garkusha Artemy Vitalievich, specialist

Academy of Management of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia

Panfilova Elena Olegovna, specialist

Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation, Moscow, Russia

Pogorilko Anastasia Romanovna, specialist

ANO "Alfa-Progressor", Moscow, Russia

ON SOME FEATURES OF THE FORMATION OF MODELS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS OF THE ENTERPRISE**Annotation:** The article analyzes the features of the formation of micromodels of telecommunication systems at the enterprise.**Key words:** telecommunication system, enterprise, model.**УПРАВЛЕНЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ
ВЕДЕНИЕ УЧЁТА КЛИЕНТОВ****Герасимова Татьяна Валерьевна**, студент

(e-mail: tatyana.gerasimova.05@mail.ru)

Научный руководитель –

Назрнова Ольга Борисовна, к.п.н., доцент

lavrenova23102002@yandex.ru

МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

В данной статье рассмотрен процесс принятия управленческого решения по автоматизации бизнес-процесса «Ведение учёта клиентов» в фитнес-центре «Fitness Life».

Ключевые слова: управленческое решение, автоматизация, автоматизированная информационная система.

В качестве предметной области был выбран фитнес-центр «Fitness Life».

Данная компания имеет следующие бизнес-процессы:

1. Привлечение новых клиентов.
2. Продажи/продления услуг.
3. Ведение учёта клиентов.
4. Организация юридического обеспечения деятельности.

В данной работе будет рассматриваться бизнес-процесс «Ведение учёта клиентов».

Данный процесс реализуется следующим образом:

1. Клиент консультируется с администратором. На данном этапе клиент получает всю необходимую информацию для принятия решения о подключении к услугам клуба.

2. Подписывает сформированный договор об оказании услуг (если приходит в первый раз). Администратор предоставляет клиенту договор, который включает: описание услуг, права и обязанности сторон, условия и сроки оказания услуг, политику отмены и возврата, клиент внимательно ознакомился с договором и подписывает его (в случае необходимости может потребоваться предоставление документа, удостоверяющего личность, чаще всего паспорт).

3. Оплачивает выбранную услугу. После подписания договора администратор знакомит клиента с доступными платежными опциями. Клиент выбирает

от способ оплаты и вносит финансирование. Клиенту выдается квитанция или чек об оплате, средства зафиксированы в учетной системе клуба.

4. Получает абонемент на определенный срок в виде бумажной карточки. После оплаты администратор создает абонемент. Клиент получает бумажную карточку абонента, на которой указаны: фамилия и имя клиента, дата начала и окончания действия абонента. На данном этапе клиент стал официальным членом клуба и готов начать пользоваться услугами. Также, если клиент приобретает услугу групповых занятий, он получает расписание занятий в бумажном виде.

5. В течение данного срока администратор фитнес-клуба при посещении клиента отмечает его посещаемость в карточке и в отдельной базе данных. При каждом посещении фитнес-клуба клиент предъявляет карточку администратору. Администратор отмечает факт посещения в бумажной карточке. Дополнительно информация о посещаемости вносится в базу данных клуба. В конце месяца администратор передает отчет менеджеру по работе с клиентами. После чего менеджер анализирует предоставленный ему отчет и формирует выгодную стратегию развития компании.

На основе собранной информации была построена модель бизнес-процесса «Ведение учёта клиентов» в нотации eEPC [1], представленная на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модель бизнес-процесса «Ведение учёта клиентов» в фитнес-центре «Fitness Life» в нотации eEPC «Как есть».

Основная проблема бизнес-процесса «Ведение учёта клиентов» в фитнес-клубе «Fitness-Life», найденная в процессе моделирования, заключается в бумажном документообороте, т.е. в отсутствии электронной системы учёта клиентов. Таким образом, проанализировав процесс работы фитнес-центра «Fitness Life», можно выделить следующие «узкие» места [2]:

- Бумажная система ведения учёта клиентов;
- Человеческий фактор.

Исходя из этого IT-решение для проблемы ведения учёта клиентов в фитнес-клубе Fitness-Life заключается в введении системы, где посещаемость будет отмечаться с помощью индивидуального QR-кода абонента, который формируется на определённый срок, и где клиента сможет консультировать ИИ-помощник из web приложения, созданного по заказу фитнес-центра.

Автоматизация процесса ведения учёта клиента позволит:

- Уменьшить среднее время обработки нового клиента с момента первой консультации до выдачи абонента до 20 минут;
- Повысить уровень удовлетворенности клиентов за счет упрощенного процесса регистрации и выбора услуг, введения электронного документооборота и удобной онлайн-оплаты. Это должно привести к увеличению числа регулярных членов фитнес-центра;
- Оптимизировать внутренние процессы управления базой данных клиентов, повысить эффективность анализа активности клиентов и своевременности предлагаемых акций и специальных предложений, что приведет к росту выручки от продажи абонементов и сопутствующих услуг.

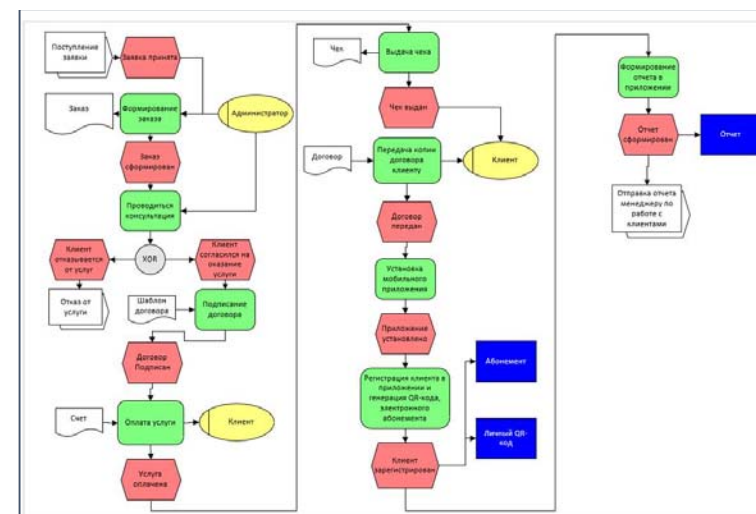


Рисунок 2 – Модель eEPC IT-решения бизнес-процесса «Ведение учета клиента» в фитнес-центре «Fitness Life» «Как будет».

Таким образом, было принято управленческое решение [3]: автоматизация бизнес-процесса «Ведение учёта клиента» с помощью разработки веб-приложения с использованием отметки через QR-код и оптимизация бизнес-процесса с помощью метода «Как будет».

Далее была построена модель «Как будет», которая представлена на рисунке 2.

Эта модель демонстрирует оптимальное понимание того, как должен быть организован бизнес-процесс после внедрения автоматизированной информационной системы в фитнес-центре «Fitness Life».

Список литературы

1. Новикова Т.Б., Назарова О.Б., Петеляк В.Е. IDEF0, DFD, IDEF3, FISHBONE, FTA: теория и практика бизнес-моделирования: учеб. пособие / Т.Б. Новикова, О.Б. Назарова, В.Е. Петеляк. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 97 с.
2. Назарова О.Б. Практикум по разработке АИС: предпроектное обследование: учеб. пособие / О.Б. Назарова, Т.Б. Новикова. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 261 с.
3. Назарова О.Б., Новикова Т.Б. Разработка моделей описания в социальных и экономических системах: учебное пособие. Электронное издание / О.Б. Назарова, Т.Б. Новикова. Магнитогорск, 2017.

Gerasimova Tatiana Valeryevna, student

Scientific director – Petrova Olga Borisovna, PhD, Associate Professor

Nosov Moscow State Technical University, Magnitogorsk, Russia

CUSTOMER ACCOUNTING MANAGEMENT SOLUTION FOR AUTOMATION

This article discusses the process of making a managerial decision to automate the business process "Customer accounting" at the Fitness Life fitness center.

Keywords: management decision, automation, automated information system.

ДОМИНИРУЮЩИЕ ПАРАДИГМЫ В АРХИТЕКТУРЕ ОБЛАЧНЫХ САХ-СИСТЕМ: КОМПАРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ МОНОЛИТНОЙ И МИКРОСЕРВИСНОЙ МОДЕЛЕЙ

Гончаров Даниил Дмитриевич, студент

(e-mail: danie2dickson3@gmail.com)

Кромина Людмила Александровна, доцент

(e-mail: luyda-kr@yandex.ru)

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау, Россия

Статья посвящена сравнительному анализу двух доминирующих архитектурных парадигм — монолитной и микросервисной — в контексте инженерного программного обеспечения (CAD/CAM/CAE/PDM). Рассматриваются ключевые компромиссы между производительностью, масштабируемостью, сложностью разработки и эксплуатации. Утверждается, что выбор архитектуры должен определяться конкретными требованиями проекта, а не трендами. На основе количественных и качественных критериев выявлены области эффективного применения каждой парадигмы. Особое внимание уделяется эволюционному пути от модульного монолита к микросервисам, а также необходимо-

сти зрелости команд и процессов для успешной реализации распределённых систем. В заключение предложен гибридный подход для инженерных систем, сочетающий производительность монолитного ядра и гибкость микросервисных периферийных компонентов.

Ключевые слова: монолитная архитектура, микросервисная архитектура, производительность, масштабируемость, сложность разработки, операционная сложность, распределённые системы, инженерное программное обеспечение, модульный монолит, гибридная архитектура.

Эволюция инженерного программного обеспечения от изолированных настольных приложений к комплексным облачным платформам поставила перед архитекторами принципиальный выбор парадигмы. Два доминирующих подхода — монолитная и микросервисная архитектура — предлагают диаметрально противоположные компромиссы между производительностью, сложностью, масштабируемостью и гибкостью. Актуальность исследования обусловлена отсутствием универсальных решений: слепое следование трендам без понимания фундаментальных различий приводит к значительному росту затрат и снижению надежности и эффективности систем. Цель этой статьи — сравнить две архитектуры, выявив области эффективного применения каждой архитектуры на основе количественных и качественных критериев.

МОНОЛИТ АРХИТЕКТУРА



Рисунок 1 – Архитектура монолита визуализация

Рассмотрим первую архитектуру под названием “Монолит” она представляет собой единую, логически целостную систему, где все компоненты тесно связаны, компилируются и развертываются как единое целое. Ключевые характеристики производительности: минимальные накладные расходы на коммуникацию: Взаимодействие между модулями происходит через вызовы в памяти, что на порядки быстрее сетевых вызовов. Эффективная локальность данных: кэширование и работа с памятью предсказуемы и высокоэффективны в

рамках единого процесса. Атомарность и согласованность: полная поддержка ACID-транзакций обеспечивает строгую согласованность данных, что критически важно для PDM-систем. Ограничение масштабируемости: поддерживается только вертикальное масштабирование, что имеет физические и финансовые пределы. Ресурсоемкая задача может блокировать или деградировать работу всей системы.

Монолит снижает операционную сложность. Простота развертывания мониторинга и отладки в едином процессе. Но с увеличением кодовой базы связность модулей растет квадратично, что замедляет разработку, повышает риск регрессии и формирует «страх изменений». Интеграция новых технологий требует переработки системы. [4]

Микросервисная архитектура: принципы, потенциал и издержки

Микросервисная архитектура декомпозирует приложение на набор небольших, слабосвязанных сервисов, каждый из которых инкапсулирует конкретную бизнес-возможность, работает в собственном процессе и взаимодействует по сети.

МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА

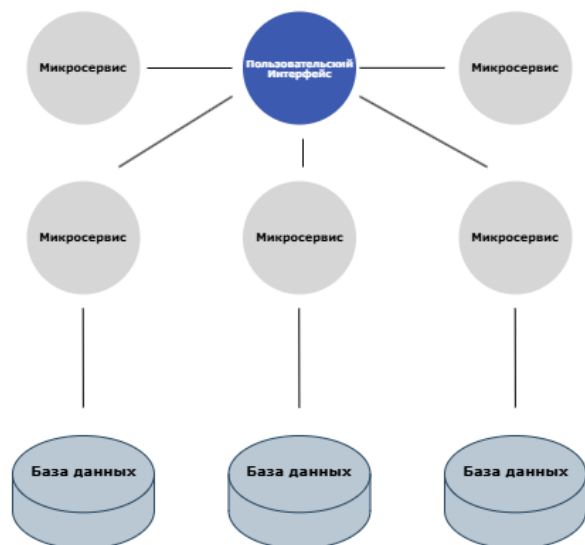


Рисунок 2 – Микросервисная архитектура визуализация

Ключевые характеристики производительности:

Горизонтальная масштабируемость: Возможность независимого масштабирования отдельных сервисов. Например, сервис CAE-расчетов можно масштабировать отдельно от сервиса геометрического моделирования.

Распределение нагрузки: Проблема в одном сервисе (падение, высокая нагрузка) локализуется и не должна приводить к отказу всей системы.

Высокие сетевые издержки: Каждое межсервисное взаимодействие несет накладные расходы на сериализацию/десериализацию данных и сетевую задержку (0.1 - 10 мс), что на 3-5 порядков медленнее вызовов в памяти.

Сложность распределенных транзакций: Обеспечение согласованности данных требует реализации сложных паттернов (Saga, CQRS) вместо простых ACID-транзакций.

Оценка сложности:

Снижение сложности разработки в больших командах: Сервисы могут разрабатываться, тестироваться и развертываться независимо разными командами.

Резкий рост операционной и системной сложности: Появляется необходимость в оркестрации (Kubernetes), Service Discovery, распределенной трассировке, централизованном логировании и управлении конфигурациями для десятков или сотен сервисов. [1]

Сравнительный анализ микросервисов и монолита

1. Производительность

Монолит: Максимальная скорость (10-100 нс на вызов в памяти), но уязвим к "эффекту блокировки" — тяжелая операция в одном модуле тормозит всю систему.

Микросервисы: Сетевые задержки (0.1-10 мс на вызов), но поддерживают истинный параллелизм независимых задач. Монолит выигрывает в связных операциях (CAD-CAE), микросервисы — в параллельных вычислениях.

2. Масштабируемость

Монолит: Только вертикальное масштабирование (увеличение мощности сервера). Экономически и физически ограничено, нельзя масштабировать отдельные компоненты.

Микросервисы: Горизонтальное масштабирование — каждый сервис масштабируется независимо. Оптимально для систем с неравномерной нагрузкой на компоненты.

3. Сложность разработки и эксплуатации

Монолит: Низкая операционная сложность (простое развертывание, мониторинг), но высокая сложность разработки при росте — связность кода растет экспоненциально.

Микросервисы: Низкая сложность разработки отдельных сервисов, но высокая операционная сложность — требуется оркестрация, распределенная трассировка, управление десятками сервисов.

4. Управление данными и надежность

Монолит: ACID-транзакции, гарантированная согласованность. Единая точка отказа — сбой в одном модуле падает вся система.

Микросервисы: Eventual consistency, паттерны Saga/CQRS. Изоляция отказов — падение сервиса не должно затрагивать всю систему, но сложность распределенных транзакций высока.

Выводы и рекомендации

Архитектурный выбор — это компромисс. Не существует «лучшей» архитектуры, есть архитектура, адекватная конкретному контексту проекта, команды и бизнес-требований.

Производительность vs. Гибкость: Монолит оптимизирован для производительности связанных компонентов, микросервисы — для гибкости, независимого масштабирования и устойчивости.

Сложность не исчезает, а трансформируется. Монолит переносит сложность в плоскость разработки и поддержки кода, микросервисы — в плоскость эксплуатации и координации распределенной системы.

Эволюционный путь как стратегия. Для большинства проектов оптимальной отправной точкой является модульный монолит (Modular Monolith) — система с четкими внутренними границами, которая может быть в будущем при необходимости декомпозирована. Это позволяет отложить сложное решение и избежать преждевременной микросервисной архитектуры, издержки которой на ранних этапах неоправданно высоки.

Критический фактор успеха для микросервисов — зрелость команды и процессов. Без инвестиций в культуру DevOps, автоматизацию и мониторинг микросервисная архитектура ведет к операционному хаосу.

Заключение: Для CAD/CAM/CAE/PDM систем с их требовательными вычислениями и сложными данными решение должно быть взвешенным. Ядро, требующее максимальной производительности (геометрическое моделирование, симуляция), может оставаться модульным монолитом, в то время как периферийные сервисы (управление заданиями, отчетность, интеграции) могут быть вынесены в микросервисы. Такой гибридный подход позволяет балансировать между производительностью и гибкостью. [9]

Список литературы

1. Ньюмен С. Создание микросервисов. — СПб.: Питер, 2021.
2. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. — М.: Диалектика, 2020.
3. Фаулер М., Льюис Дж. Микросервисы: решение проблем архитектуры и интеграции. — М.: ДМК Пресс, 2021.
4. Тиличев И.В., Шарафутдинов Р.Н., Абдуллин И.И. Сравнительный анализ монолитной и микросервисной архитектур для высоконагруженных систем // Программные продукты и системы. — 2022. — Т. 35, № 3. — С. 484–492.
5. Богачёв А.С., Ахметов Р.Р., Козлов А.А. Эволюционный переход от монолитной к микросервисной архитектуре промышленного программного обеспечения // Информационные технологии. — 2023. — Т. 29, № 1. — С. 35–44.
6. Хасслебрин В., Штейнковер А. Микросервисы и контейнеризация: проблемы и пути их решения // Открытые системы. СУБД. — 2019. — № 4. — С. 40–45.
7. Вольф Э. Микросервисы. Гибкая архитектура современных приложений. — М.: ДМК Пресс, 2018.
8. Книга Принципы организации архитектуры программных систем / Под ред. Иванова И.И. — М.: Издательство «Наука и Технологии», 2022.
9. Руководство по гибридным архитектурным решениям в распределённых системах. Аналитический отчет НИИ «Информсистем». — М., 2021.

Goncharov Daniil Dmitrievich, student

Kromina Lyudmila Aleksandrovna, associate professor

Ufa University of Science and Technology, branch in Kumertau, Russia

DOMINANT PARADIGMS IN CLOUD CAX SYSTEMS ARCHITECTURE:

COMPARATIVE ANALYSIS OF MONOLITHIC AND MICROSERVICE MODELS

Abstract. This article provides a comparative analysis of two dominant architectural paradigms—monolithic and microservices—in the context of engineering software (CAD/CAM/CAE/PDM). Key tradeoffs between performance, scalability, and development and operational complexity are considered. It is argued that the choice of architecture should be determined by specific project requirements, not trends. Using quantitative and qualitative criteria, areas of effective application for each paradigm are identified. Particular attention is paid to the evolutionary path from a modular monolith to microservices, as well as the need for team and process maturity for the successful implementation of distributed systems. Finally, a hybrid approach for engineering systems is proposed that combines the performance of a monolithic core with the flexibility of microservice peripheral components.

Keywords: monolithic architecture, microservice architecture, performance, scalability, development complexity, operational complexity, distributed systems, software engineering, modular monolith, hybrid architecture.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Горелых Михаил Васильевич, магистр

(gorelykh@mail.ru)

Куделина Дарья Васильевна, к.т.н., доцент

(kydelina_d@gmail.com)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В работе проведено детальное исследование современных систем мониторинга силовых масляных трансформаторов напряжением 110–750 кВ. Рассмотрена физико-химическая природа дефектов изоляции и методы их раннего выявления. Особое внимание уделено хроматографическому анализу растворенных газов (DGA), контролю состояния высоковольтных вводов и тепловому моделированию. Обоснована необходимость перехода от планово-предупредительных ремонтов к стратегии обслуживания по фактическому состоянию (CBM).

Ключевые слова: Силовой трансформатор, мониторинг, DGA-анализ, изоляция, высоковольтные вводы, диагностика.

Введение. Силовые трансформаторы являются наиболее критически важными и дорогостоящими элементами энергетической инфраструктуры. Надежность их работы напрямую определяет стабильность энергоснабжения промышленных предприятий и жилого сектора. Статистика отказов показывает, что значительная часть парка трансформаторов в России и мире приближается к предельному сроку службы (25–30 лет). В этих условиях традиционная система планово-предупредительных ремонтов (ППР), основанная на жестких временных интервалах, становится экономически неэффективной и технически риско-

ванной. Решение проблемы лежит в плоскости внедрения автоматизированных систем непрерывного мониторинга, позволяющих оценивать состояние оборудования в режиме реального времени под рабочим напряжением.

Классификация дефектов и физика процессов старения. Изоляционная система масляного трансформатора состоит из двух основных компонентов: трансформаторного масла (жидкий диэлектрик) и бумаги/картона (твердый диэлектрик). Основными врагами изоляции являются: тепло, кислород и влага. Под воздействием этих факторов происходит деполимеризация целлюлозы и окисление масла. Процессы деградации можно разделить на две группы: медленно развивающиеся (общее старение изоляции, увлажнение) и быстропротекающие (дуговые разряды, витковые замыкания, перегревы контактов РПН). Задача системы мониторинга — выявить эти процессы на ранней стадии.

Хроматографический анализ растворенных газов (DGA). На сегодняшний день DGA (Dissolved Gas Analysis) признан наиболее эффективным методом диагностики внутренних дефектов. При термических или электрических повреждениях молекулы масла и бумаги распадаются, выделяя специфические газы. Современные системы мониторинга (например, Hydran, Kelman) встраиваются в масляный контур и анализируют концентрации следующих компонентов:

— Водород (H_2): основной маркер частичных разрядов (ЧР) и искрений низкой энергии.

— Ацетилен (C_2H_2): наиболее опасный газ, наличие которого даже в малых количествах (1–3 ppm) свидетельствует о мощном дуговом разряде.

— Метан (CH_4), Этан (C_2H_6), Этилен (C_2H_4): группа углеводородов, соотношение которых указывает на температурный диапазон перегрева масла.

— Оксиды углерода (CO и CO_2): продукты разложения бумажной изоляции. Их соотношение позволяет судить о вовлечении твердой изоляции в дефект. Использование диагностических критериев (треугольник Дюваля, отношения Роджерса) позволяет автоматизировать процесс распознавания типа дефекта без участия человека.

Контроль высоковольтных вводов. Повреждения вводов (особенно с RIP-изоляцией) являются причиной до 20% аварий, часто сопровождающихся пожарами и взрывами. Традиционный метод контроля (измерение тангенса угла диэлектрических потерь раз в 4 года) не способен предотвратить внезапное развитие теплового пробоя. Системы онлайн-мониторинга вводов используют метод измерения тока утечки и сравнения фаз. Путем векторного сложения токов от трех фаз (сумма которых в идеале равна нулю) можно выделить ток небаланса. Изменение амплитуды этого тока свидетельствует об изменении емкости C_1 (пробой слоев изоляции), а изменение фазы — о росте тангенса угла потерь (увлажнение). Установка порогов срабатывания сигнализации (например, рост емкости на +5% или $\tan \delta > 0.7\%$) позволяет вывести трансформатор в ремонт до разрушения ввода.

Мониторинг влагосодержания и теплового режима. Вода является катализатором старения целлюлозы. При увеличении влажности бумаги с 1% до 3%

скорость ее старения возрастает в 6–8 раз. Кроме того, при резком нагреве трансформатора влага мигрирует из бумаги в масло, что может привести к снижению пробивного напряжения масла или даже образованию пузырьков (bubbling effect), вызывающих перекрытие. Датчики влажности измеряют активность воды (a_w) в масле, а программное обеспечение пересчитывает эти данные во влагосодержание твердой изоляции, используя кривые равновесия. Тепловой мониторинг включает в себя не только измерение температуры верхних слоев масла, но и расчет температуры наиболее нагретой точки обмотки (Hot Spot). Современные модели согласно стандарту IEC 60076-7 учитывают токовую нагрузку, температуру окружающей среды и состояние системы охлаждения (работа маслососов и вентиляторов), позволяя динамически рассчитывать допустимую перегрузку.

Контроль РПН (Регулирование под нагрузкой). Устройство РПН является единственным механически подвижным узлом трансформатора, совершающим тысячи переключений в год. Мониторинг РПН основан на анализе виброакустической сигнатуры и кривой потребления тока двигателем привода. Любое механическое заедание, износ пружин или подгорание контактов меняет временные характеристики переключения и форму осциллограммы тока двигателя. Также применяется контроль разницы температур между баком РПН и основным баком (дифференциальная термометрия).

Экономическая эффективность и перспективы (LCC). Стоимость оснащения трансформатора комплексной системой мониторинга составляет 3–7% от его цены. Однако расчет стоимости жизненного цикла (Life Cycle Cost) показывает высокую рентабельность таких инвестиций. Эффект достигается за счет: предотвращения катастрофических аварий и экологического ущерба; перехода от календарных ремонтов к ремонтам по состоянию; продления срока службы трансформатора за счет контроля режимов перегрузки. В перспективе развитие систем мониторинга движется в сторону «Цифровых двойников» (Digital Twin), где математическая модель трансформатора постоянно обновляется на основе реальных данных, позволяя прогнозировать остаточный ресурс с высокой точностью.

Заключение. Внедрение комплексных систем мониторинга масляных трансформаторов является необходимым условием цифровизации электроэнергетики. Переход на непрерывный контроль растворенных газов, параметров вводов и тепловых режимов позволяет минимизировать аварийность и оптимизировать эксплуатационные затраты. Дальнейшее совершенствование алгоритмов диагностики с применением искусственного интеллекта позволит полностью исключить «человеческий фактор» при принятии решений о выводе оборудования в ремонт.

Список литературы

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. — М.: НЦ ЭНАС, 2018.
2. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Силовые трансформаторы. Справочная книга. — М.: Энергоиздат, 2019.

3. IEC 60599. Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.

4. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. — ПАО «Россети».

5. Duval M. The Duval Triangle for Load Tap Changers, Transformer Oil Analysis. — IEEE Electrical Insulation Magazine, 2018.

Gorelykh M.V., Master's degree

Southwestern State University, Kursk, Russia

RESEARCH OF MONITORING AND DIAGNOSTICS PROCESSES OF OIL-FILLED POWER TRANSFORMERS

Abstract: The paper presents a detailed study of modern monitoring systems for oil-filled power transformers with a voltage of 110–750 kV. The physicochemical nature of insulation defects and methods for their early detection are considered. Particular attention is paid to the chromatographic analysis of dissolved gases (DGA), monitoring the condition of high-voltage bushings and thermal modeling. The necessity of transition from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance (CBM) strategy is substantiated.

Keywords: Power transformer, monitoring, DGA analysis, insulation, high-voltage bushings, diagnostics.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ НА СНИЖЕНИЕ ОТКАЗОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Данилов Владимир Александрович, магистр

(vladimird748@gmail.com)

Алябьев Владимир Николаевич, к.т.н., доцент

(alyabev_v@mail.ru)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В статье проанализировано влияние комплекса мероприятий по диспетчеризации энергосистемы на снижение частоты и продолжительности отказов оборудования. Описаны ключевые диспетчерские технологии (SCADA/EMS, системы синхронных измерений WAMS/PMU, автоматизированные системы оперативного управления), процедуры режимного сопровождения, алгоритмы прогнозирования отказов и оперативного перенаправления потоков мощности. Приведена методология оценки эффекта мероприятий по показателям надежности (SAIFI, SAIDI, MTBF, MTTR), предложены модель и методика количественной оценки вклада диспетчеризации в снижение отказов. На основе обзора литературы и практических сценариев сформулированы рекомендации по приоритетам внедрения и улучшению процессов. Статья полезна для инженеров-операторов, руководителей эксплуатации и проектировщиков систем управления энергосистемами.

Ключевые слова: диспетчеризация, SCADA, EMS, WAMS, PMU, надежность энергосистемы, отказ оборудования, SAIDI, SAIFI, прогнозирование отказов

Введение Основная цель диспетчеризации - обеспечить надежную, безопасную и экономичную работу энергосистемы. Снижение отказов оборудования

достигается не только техническим повышением надежности отдельных элементов, но и улучшением процессов мониторинга, управления и принятия решений в диспетчерских центрах. Современные диспетчерские решения позволяют обнаруживать предаварийные состояния, оптимально перераспределять нагрузки, организовывать быструю коммутацию и дистанционное обслуживание, что в сумме снижает количество и тяжесть аварий.

Цели и задачи исследования Цель - оценить влияние мероприятий по диспетчеризации на снижение отказов оборудования и предложить практические рекомендации по оптимизации этих мероприятий. Задачи:

систематизация мероприятий диспетчеризации, влияющих на отказоустойчивость;

разработка методики оценки влияния на ключевые показатели надежности;

анализ примеров/сценариев, демонстрирующих эффект;

формулировка приоритетных практических рекомендаций.

Классификация мероприятий по диспетчеризации, влияющих на отказоустойчивость. Разделим мероприятия на технологические, процедурные и кадровые.

Технологические мероприятия

SCADA/EMS: сбор телеметрии, автоматическое управление разъединителями, выполнение расчетов оптимального перетока мощностей, диспетчерские прогнозы.

WAMS и PMU: синхронные измерения фазы и частоты по всей сети позволяют обнаруживать динамически неблагоприятные режимы и предотвращать развития аварий.

Автоматизированные защитные и автоматики (аварийное автоматическое восстановление, автопереключения, дистанционные выключатели).

Резервирование каналов связи, дублирование серверов EMS/SCADA, кибербезопасность диспетчерских систем.

Аналитические модули: детектор аномалий, предиктивное обслуживание (predictive maintenance) на основе обработки сигналов и данных телеметрии.

Процедурные мероприятия

Непрерывное режимное сопровождение в реальном времени (24/7).

Разработка и отработка протоколов аварийного и восстановительного переключения.

Регламенты принятия решений и эскалации, плана аварийного восстановления.

Регулярные сценарные учения и анализ «post-mortem» после инцидентов.

Кадровые мероприятия

Обучение операторов работе с EMS/SCADA и системами визуализации WAMS.

Регулярные тренировки и тренажерные учения по аварийным сценариям.

Обратная связь и непрерывное улучшение процедур на основе реальных инцидентов.

Методика оценки влияния мероприятий на снижение отказов Показатели надёжности Используем классические метрики:

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) - средняя частота прерываний на пользователя.

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) - средняя длительность прерываний на пользователя.

MTBF (Mean Time Between Failures) - среднее время между отказами для оборудования.

MTTR (Mean Time To Repair) - среднее время восстановления. Цель - показать, как конкретные мероприятия влияют на MTTR и MTBF, а через них на SAIDI/SAIFI.

Модель оценки вклада Предложенная модель:

Разделение причин отказов на аппаратные (условия эксплуатации), операционные (ошибки управления) и коммуникационные (потеря телеметрии).

Для каждого типа причины оценить вероятность отказа p_0 и среднее время восстановления t_0 до внедрения мероприятий.

После внедрения мероприятий оценить сниженные значения p_1 и t_1 , где вклад диспетчеризации отражается через коэффициенты снижения α (для частоты отказов) и β (для времени восстановления): $p_1 = p_0(1-\alpha)$, $t_1 = t_0(1-\beta)$.

Оценить экономический эффект через уменьшение SAIDI ($\Delta SAIDI$) и сокращение затрат на восстановление и штрафов за надёжность.

Источники данных

Исторические данные аварийности по оборудованию;

Журналы телеметрии и событий EMS/SCADA;

Отчёты по учениям и инцидентам;

Статистика работы оборудования по системе CMMS.

Эмпирические сценарии и примеры влияния Приведём типовые сценарии с качественным и количественным описанием ожидаемого эффекта.

Пример 1 - внедрение PMU/WAMS Эффект: ранняя детекция приближающегося расслоения по фазе и резкого изменения мощности, возможность заблаговременного снижения нагрузки или изоляции проблемного участка. Ожидаемое влияние: снижение вероятности масштабных отключений, особенно вызванных динамическими явлениями (электрохимическая неустойчивость). В практике WAMS снижает риск лавинного отключения за счёт быстрой идентификации источника нестабильности.

Пример 2 - автоматизированные схемы аварийного переключения Эффект: уменьшение времени отключения (MTTR) за счёт автоматического исполнения коммутаций и маршрутов обхода. Ожидаемое влияние: существенное снижение SAIDI, особенно для распределительных сетей с автоматическим секционированием.

Пример 3 - предиктивное обслуживание на основе телеметрии Эффект: переход от реактивного ремонта к плановому устранению на ранних стадиях деградации. Ожидаемое влияние: увеличение MTBF для ключевых узлов, снижение внеплановых отказов.

Количественная оценка: пример расчёта Примерная схема расчёта вклада диспетчеризации для подстанции:

Исторически MTBF = 2000 часов, MTTR = 10 часов.

Внедрение комплекса мероприятий (мониторинг состояния + автоматизация переключений) даёт ожидаемое снижение частоты отказов на 15% ($\alpha = 0.15$) и снижение времени восстановления на 40% ($\beta = 0.40$).

Новые параметры: MTBF = $2000/(1-0.15)$?? (корректнее: $p_1 = p_0(1-\alpha)$ - если $p_0 = 1/MTBF$, то $MTBF_{new} = MTBF/(1-\alpha)$) $\Rightarrow MTBF_{new} \approx 2353$ ч; $MTTR_{new} = 10(1-0.40) = 6$ ч.

Влияние на SAIDI/SAIFI рассчитывается по соответствующим формулам сети и числу потребителей. Даже при консервативных оценках такая оптимизация даёт значимое сокращение суммарного времени отключений и затрат на аварийный ремонт.

Практические рекомендации и план внедрения Приоритеты внедрения (по критичности эффекта/стоимости) 1) Аудит и улучшение телеметрии (SCADA/PMU) - высокий эффект, относительно невысокая стоимость. 2) Автоматизация переключений в распределительных сетях - высокий эффект для SAIDI. 3) Предиктивное обслуживание ключевых трансформаторов и коммутационной аппаратуры - средний/высокий эффект. 4) Дублирование критичных каналов связи и резервирование EMS - необходимое для устойчивости диспетчерских операций.

Этапный план (пример на 12 месяцев) Месяцы 1-2: аудит состояния SCADA/EMS, критичности узлов, сбор требований. Месяцы 3-5: установка PMU в критических точках, интеграция в EMS. Месяцы 6-8: внедрение модулей автоматического переключения и тестирование схем. Месяцы 9-10: внедрение системы предиктивного обслуживания и обучение персонала. Месяцы 11-12: отработка аварийных сценариев, корректировка процедур и KPI.

KPI для мониторинга успеха

Снижение MTTR и увеличение MTBF для ключевого оборудования.

Снижение SAIDI/SAIFI на заданный процент в течение 12 месяцев.

Количество успешно предотвращённых инцидентов (detected & mitigated).

Время реакции диспетчера на критические события.

Риски и ограничения

Неполная или низкокачественная телеметрия снижает эффективность аналитических модулей.

Киберугрозы к диспетчерским системам требуют параллельных мер безопасности.

Не всё сокращение отказов зависит от диспетчеризации - часть улучшений требует модернизации физического оборудования.

Человеческий фактор и организационные барьеры могут ограничивать скорое внедрение.

Выводы Комплекс мероприятий по диспетчеризации - от улучшения телеметрии и внедрения WAMS/PMU до автоматизации переключений и предиктивного обслуживания - оказывает существенное влияние на снижение как час-

тоты, так и длительности отказов оборудования энергосистемы. Эффект проявляется через рост MTBF, сокращение MTTR и, как следствие, улучшение ключевых индикаторов надежности (SAIDI, SAIFI). Для максимального эффекта необходимо сочетание технологических улучшений с процедурными изменениями и обучением персонала. Предлагаемая методика оценки позволяет количественно оценить эффект внедряемых мер и обосновать инвестиции.

Список литературы

1. Kundur P. Power System Stability and Control. McGraw-Hill, 1994.
2. Phadke A. G., Thorp J. S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Springer, 2008.
- Wood A. J., Wollenberg B. F. Power Generation, Operation, and Control. Wiley, 1996.
3. Monticelli A. State Estimation in Electric Power Systems: A Generalized Approach. Kluwer Academic Publishers, 1999.
4. IEC 61850 - Communication networks and systems for power utility automation. International Electrotechnical Commission.
5. NERC. Reliability Standards. North American Electric Reliability Corporation. (<https://www.nerc.com>)
6. IEEE Power & Energy Society. Reports and Standards on SCADA/EMS and Wide-Area Monitoring (см. материалы IEEE PES).
7. Общие рекомендации по диспетчеризации и эксплуатации энергосистем: обзоры CIGRE и национальных регуляторов (CIGRE, соответствующие брошюры и отчёты).
8. Изучение проблем энергосбережения и повышения энергетической эффективности в бюджетных учреждениях Курской области и способы их решения / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина, В. А. Чаплыгин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 558-562. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-558-559. – EDN GUMBZJ.
9. Бирюлин, В. И. Использование современных релейных защит на крупных подстанциях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 535-539. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-535-536. – EDN FZBSQC.
10. Бирюлин, В. И. Использование нейронных сетей для исследования энергопотребления в образовательных учреждениях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 257-260. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-9-257-258. – EDN VJAAPW.
11. Способы снижения потерь в электрических сетях / В. Н. Алябьев, А. С. Чернышев, И. В. Ворначева, М. С. Кимлик // Молодежь и XXI век - 2020 : материалы X Международной молодежной научной конференции, Курск, 19–20 февраля 2020 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 265-267. – EDN CKBIGS.

Danilov Vladimir Alexandrovich, Master's degree

Alyabyev Vladimir Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Southwestern State University, Kursk, Russia

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF DISPATCHING MEASURES ON REDUCING FAILURES OF POWER SYSTEM EQUIPMENT

The article analyzes the impact of a set of measures for dispatching the power system on reducing the frequency and duration of equipment failures. Key dispatching technologies (SCADA/EMS, synchronous measurement systems WAMS/PMU, automated operational control systems), routine maintenance procedures, algorithms for predicting failures and operational redirection of power flows are described. A methodology for assessing the effect of measures on reliability indicators (SAIFI, SAIDI, MTBF, MTTR) is presented, and a model and methodology for quantifying the con-

tribution of dispatching to reducing failures are proposed. Based on a review of the literature and practical scenarios, recommendations on priorities for implementation and improvement of processes are formulated. The article is useful for engineers-operators, operation managers and designers of power system management systems.

Keywords: dispatching, SCADA, EMS, WAMS, PMU, power system reliability, equipment failure, SAIDI, SAIFI, failure prediction

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ ЗА СЧЁТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ГОРЕНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Должиков Дмитрий Романович, студент

(e-mail: dolgikof@list.ru)

Коровкина Алина Игоревна, к.э.н., доцент

(e-mail: alinko199@mail.ru)

Воронежский государственный технический университет,

г.Воронеж, Россия

Рассмотрены вопросы повышения энергетической эффективности котельных установок, путем внедрения модернизированной системы горения и автоматизированных систем регулирования. Проведен анализ влияния состояния горелочного оборудования и систем подачи топлива на КПД и уровни тепловых потерь. На основе анализа выявлены основные направления повышения эффективности котельных: улучшение процессов сгорания, автоматизированная работа, уменьшение токсичных выбросов в атмосферу. Сделан вывод о необходимости внедрения модернизации котельных установок для повышения их эффективности.

Ключевые слова: котельные установки, энергетическая эффективность, системы горения, автоматизированные системы управления, КПД, тепловые потери, экологическая безопасность.

Введение

Повышение энергетической эффективности котельных установок является главной задачей в теплоснабжении. В постоянном росте цен на топливо и суровыми экологическими нормами обновление уже имеющийся котельных несет большую актуальность.

Актуальные подходы к модернизации энергетического сектора направлены на снижение потерь и улучшение параметров горения топлива путём внедрения автоматизированных систем управления. Интеллектуальные системы управления, внедрённые в производство, сокращают расход топлива и повышают надёжность эксплуатации оборудования.

Быстрая оптимизация режимов горения снижает объёмы эмиссии в воздушную среду и отвечает действующим нормам экологической безопасности.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – установить, в какой мере обновление горелочных узлов вместе с внедрением автоматизированных средств управления снижает потребление энергии при эксплуатации котлов. В приоритете – количественная оценка ожидаемого объёма сокращения расхода топлива и увеличения коэффициента полезного действия котельных систем вследствие проводимых мероприятий.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

Оценить актуальные приёмы и технические решения для улучшения параметров горения в промышленных установках. Исследовать внедрение комплексов автоматического регулирования с целью повышения энергоэффективности и производительности котельных.

Обзор литературы

В секторе энергоснабжения приоритет – повышение КПД котловых систем. Заметное улучшение эксплуатационных показателей достигается посредством модернизации горелочных узлов и совершенствования регулировки подачи топлива; вывод подтверждается многочисленными исследованиями, касающимися действующих и проектируемых котельных комплексов.

Механизмы, которые способствуют повышению эффективности при модернизации:

Нужно наладить подачу горючего и окислителя. Контроль избытка воздуха крайне необходим, поскольку он снижает тепловые потери, уносимые уходящими газами.

Компонентный состав дымовых газов устанавливают с помощью специализированных приборов, регистрирующих долю кислорода и прочие параметры. Управляющая электроника последнего поколения использует сигналы кислородных сенсоров в отработавших газах для регулировки соотношения воздуха и топлива.

Реконфигурация горелок. Установка модулируемых устройств горения, способных продуктивно работать при частичной нагрузке, позволит регулировать тепловую мощность и сократит избыток воздуха в техническом оборудовании.

Автоматизированные системы управления состоят из регуляторов, измерительных приборов и исполнительных приводов; они гарантируют постоянный контроль параметров процесса горения. Такой подход позволяет заметно сократить технологические потери.

Регулярный сбор данных о состоянии техники позволяет выявлять поломки на ранней стадии. Автоматизированные системы контроля вместе с параметрическими датчиками позволяют оперативно устранять повреждения и неполадки в работе машин. Помимо этого мониторинг фиксирует степень износа машин и даёт возможность заранее планировать ремонт с учётом последующей модернизации.

Использование всех этих механизмов позволит избежать неисправностей и повысить эффективность работы оборудования.

Оценка повышения эффективности:

Обследование котельного узла начинают с оперативной оценки его технического состояния; при проведении работ измеряют величины тепловых утрат и

контролируют избыток воздуха. Параллельно фиксируют прочие параметры, влияющие на величину КПД, затем обрабатывают полученные данные для составления заключения.

Запускается пробная стадия, на выбранном котле проведут испытание. На оборудовании смонтируют контроллеры, датчики и устройства рекуперации тепла для накопления требуемых данных. Полученные сведения послужат основанием для сопоставления значений до вмешательства и после него. Только после получения результатов пробного этапа примут решение о внедрении улучшений по всей системе.

Необходимо организовать подготовку коллективов и внедрить новые регламенты рабочего процесса. Образовательная программа должна предоставить сотрудникам навыки, позволяющие грамотно эксплуатировать обновлённый программно-управляющий комплекс. Дополнительно требуется сформулировать регламенты по уходу за техникой и правила обслуживания машинного парка.

Непрекращающийся сбор данных создаёт основу для адаптивного управления эксплуатационными режимами. Новая система обратной связи позволит автоматически и при быстром отклике поддерживать заданные значения температуры и давления, контролировать прочие рабочие показатели. Режим котла можно корректировать по фактической нагрузке и состоянию оборудования.

На завершающем этапе выполняют оценку финансовых показателей и рассчитывают срок окупаемости инвестиций. Рентабельность реализации проверяют по ряду показателей, сокращение потребления топлива и снижение объёма выбросов в атмосферу. Далее принимают во внимание затраты на подготовку персонала и техническое обслуживание внедряемой системы.

Заключение

Внедрение новых котельных установок остаётся одним из главных способов снижения энергопотребления и обеспечения стабильной работы оборудования. Модернизированные и реконструированные горелки, новые датчики контроля дымовых газов, установка утилизаторов тепла – всё перечисленное образует автономную систему управления. Меры, направленные на совершенствование процессов горения топлива, заметно сокращают тепловые потери.

Обновление типовых горелочных агрегатов устраняет выявленные дефекты. После выполнения работ оборудование приводят в полное соответствие с действующими нормами охраны окружающей среды и промышленной безопасности.

Регулирование горения заметно улучшает поддержание наилучшего соотношения воздуха и топлива, уменьшает подсос воздуха и тем самым повышает КПД.

Слаженная эксплуатация техники снижает потребление горючего, что приводит к сокращению объёма загрязняющих выбросов в окружающую среду; параллельно заметно увеличивается эксплуатационный ресурс оборудования, продлевая тем самым период его службы.

Набор мероприятий снижает эксплуатационные затраты котельной и повышает экономичность установки. Заметно возрастает производительность при незначительных изменениях режима эксплуатации.

Список литературы

1. Бойко А. И., Ковалев В. А. Котельные установки и парогенераторы: Учебное пособие.
2. Пенкин В. В. Теплотехническое оборудование и системы теплогенерации.
3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети
4. Пискунов Н. А. Автоматизация теплотехнических процессов.
5. Куриленко Н.А. Повышение энергоэффективности предприятий тепловой энергетики.
6. Козлов А. И. Анализ дымовых газов и регулирование горения.
7. Вукалович М.П. Горение топлива и топочные устройства.
8. ГОСТ Р 55682.5-2013. Энергоэффективность. Методики определения энергетической эффективности котельных установок.

Dolzhirov Dmitry Romanovich, student

(e-mail: dolgikof@list.ru)

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Korovkina Alina Igorevna, Associate Professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BOILER PLANTS THROUGH MODERNIZATION OF COMBUSTION SYSTEMS AND AUTOMATED CONTROL

Abstract. The issues of improving the energy efficiency of boiler plants through the implementation of modernized combustion systems and automated control systems are considered. The influence of the condition of burner equipment and fuel supply systems on efficiency and heat loss levels is analyzed. Based on the analysis, the main directions for improving boiler efficiency are identified, including enhancement of combustion processes, automated operation, and reduction of toxic emissions into the atmosphere. It is concluded that the modernization of boiler plants is necessary to improve their overall efficiency.

Keywords: Boiler plants, energy efficiency, combustion systems, automated control systems, efficiency (thermal efficiency), heat losses, environmental safety.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МЕТОДИК ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Евенко Кирилл Витальевич, аспирант

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М. И. Платова (ЮРГПУ (НПИ))

г. Новочеркасск, Ростовская область

В статье рассматриваются теоретические основы разработки универсальных методик извлечения знаний из слабоструктурированных текстовых данных. Анализируются ключевые подходы к обработке естественного языка, включая извлечение информации, построение онтологий и применение методов текстомайнинга. Обсуждаются проблемы неоднозначности языка и предлагаются принципы создания универсальных методик для различных предметных областей.

Ключевые слова: извлечение знаний, слабоструктурированные тексты, обработка естественного языка, онтологии, текстомайнинг, именованные сущности, отношения.

В современном информационном обществе значительная часть данных представлена в слабоструктурированном виде: отзывы, социальные сети, новостные статьи, научные публикации и документы. Такие тексты не имеют строгой схемы, содержат шум, опечатки и вариации выражений, что затрудняет автоматическое извлечение полезных знаний [1]. Извлечение знаний подразумевает преобразование неструктурированной информации в структурированные формы, пригодные для хранения в базах знаний, онтологиях или графах знаний [2].

Теоретические основы таких методик опираются на обработку естественного языка (NLP), интеллектуальный анализ текстов и онтологический инжиниринг. Разработка универсальных методик актуальна, поскольку позволяет применять их к разным языкам и доменам без полной перестройки системы [3]. В статье анализируются основные теоретические подходы и принципы создания подобных методик.

Слабоструктурированные тексты характеризуются отсутствием фиксированной структуры, но наличием некоторых элементов (например, заголовков или шаблонов в отчетах). Задача извлечения знаний включает несколько подзадач [4]:

1. Распознавание именованных сущностей (NER): выделение объектов реального мира (организации, лица, даты, места).
2. Извлечение отношений: определение связей между сущностями (например, «работает в», «является частью»).
3. Извлечение событий и фактов: выявление описаний событий или фактографической информации.
4. Построение онтологий: автоматическое или полуавтоматическое создание моделей предметной области на основе извлеченных данных [5].

Теоретически процесс основан на комбинации лингвистических правил, статистических методов и машинного обучения. Универсальность достигается за счет модульности: предобработка текста, семантический анализ и интеграция в базу знаний [6].

Классические подходы делятся на правило-ориентированные, статистические и гибридные [7].

Правило-ориентированные методики используют шаблоны и грамматики для точного извлечения, но требуют экспертных знаний для каждого домена. Статистические (на основе машинного обучения) обучаются на размеченных корпусах и лучше справляются с вариациями, но зависят от качества данных.

Гибридные подходы сочетают правила с моделями глубокого обучения (например, BERT-подобными), что повышает универсальность [8]. Для русского языка важны морфологический анализ и учет богатой флексии, что делает лемматизацию и онтологии ключевыми [9].

Для наглядного сравнения преимуществ, недостатков и эффективности указанных подходов приведена таблица 1, обобщающая ключевые характеристики на основе анализа современных исследований [7, 8, 10].

Таблица 1. Сравнение основных подходов к извлечению знаний из слабоструктурированных текстов

Подход	Преимущества	Недостатки	Области применения	Примеры метрик качества (F1-мера)
Правило-ориентированный	Высокая точность в узких доменах; интерпретируемость результатов	Требуется экспертных знаний; низкая адаптивность к новым текстам	Медицинские тексты, юридические документы	0.85–0.95 (в контролируемых доменах)
Статистический	Хорошая обработка вариаций и шума; масштабируемость	Зависимость от больших размеченных данных; низкая интерпретируемость	Социальные сети, отзывы пользователей	0.70–0.85
Гибридный	Баланс точности и универсальности; устойчивость к неоднозначностям	Высокая вычислительная сложность; сложность разработки	Универсальные системы (новости, научные статьи)	0.80–0.92

Таблица демонстрирует, что гибридные методы обеспечивают наилучший компромисс для универсальных методик, что подтверждает актуальность их развития [7].

- Универсальные методики должны включать следующие инструменты:
- Адаптивную предобработку (токенизация, нормализация).
 - Онтологию как основу для семантического связывания.

- Механизмы разрешения неоднозначностей (контекстный анализ). Это позволяет применять методику к разным текстам: от социальных постов до научных статей [10].

Основные проблемы: неоднозначность естественного языка, шум в данных и зависимость от языка. Для универсальности предлагается использование предобученных моделей и онтологий верхнего уровня [5].

Перспективы связаны с большими языковыми моделями, которые позволяют извлекать знания с минимальной разметкой.

Универсальные методики извлечения знаний находят широкое применение в различных сферах, демонстрируя свою эффективность на слабоструктурированных текстовых данных [3, 6]. Например, в области мониторинга социальных сетей гибридные подходы позволяют автоматически выделять именованные сущности (организации, лица) и отношения между ними из постов и комментариев, формируя графы знаний для анализа общественного мнения или выявления трендов. Такие системы используются для обработки больших объемов данных из открытых источников, где традиционные правило-ориентированные методы оказываются недостаточно гибкими из-за шума и вариаций языка [8].

В научной сфере методики применяются для автоматического построения онтологий из статей и отчетов. Например, на основе предобученных моделей (типа RuBERT) извлекаются факты и события из текстов публикаций, что ускоряет создание баз знаний в биомедицине или технических дисциплинах [1, 10]. Это позволяет интегрировать информацию из разнородных источников без ручной разметки, повышая F1-меру до 0.85–0.90 в мультидоменных задачах.

В бизнес-аналитике универсальные методы помогают извлекать знания из отзывов клиентов, отчетов и электронной переписки, превращая слабоструктурированные данные в структурированные для последующего анализа (например, выявление ключевых проблем или предпочтений). Гибридные системы здесь сочетают статистические модели с онтологиями верхнего уровня, обеспечивая адаптивность к разным языкам и доменам [4, 9].

Такие примеры иллюстрируют, что универсальные методики не только теоретически обоснованы, но и практически реализуемы, способствуя переходу от хаотичных текстов к полноценным базам знаний.

Теоретические основы разработки универсальных методик извлечения знаний из слабоструктурированных текстов опираются на интеграцию NLP, текстомайнинга и онтологий. Такие методики позволяют преобразовывать хаотичные данные в структурированные знания, повышая эффективность систем искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Мусаев, А. А. Обзор современных технологий извлечения знаний из текстовых сообщений / А. А. Мусаев, Д. А. Григорьев // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13, № 6. – С. 1291-1315. – DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-6-1291-1315. – EDN HDOMZN.
2. Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска // М.: Издательство МГУ, 2011. - 512 с. - ISBN: 978-5-211-05926-9.

3. Платонов А.В., Полещук Е.А. Методы автоматического построения онтологий // Программные продукты и системы, №. 2 (114), 2016, С. 47-52. doi:10.15827/0236-235X.114.047-052.
4. Иванова, Г. С. Анализ методов извлечения информации из текстовых данных / Г. С. Иванова, П. А. Мартынюк // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 18-28. – DOI 10.18127/j19998554-202203-02. – EDN SVTWZU.
5. Платонов, А. В. Методы автоматического построения онтологий / А. В. Платонов, Е. А. Полещук // Программные продукты и системы. – 2016. – № 2. – С. 47-52. – EDN XSUYSB.
6. Богомолов, Ю. А. Обзор моделей нейронных сетей для обработки естественного языка / Ю. А. Богомолов // StudNet. – 2020. – Т. 3, № 4. – С. 203-217. – EDN ELAVRM.
7. Волынкин, П. А. Идентификация авторства текста при помощи частотных портретов / П. А. Волынкин, Э. Э. Гянджиев // European Scientific Conference : сборник статей X Международной научно-практической конференции. В 2 частях, Пенза, 07 июня 2018 года / Ответственный редактор Гуляев Герман Юрьевич. Том Часть 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 150-155. – EDN OTJUMZ.
8. Компьютерный морфосинтаксический анализ несегментированного текста (на материале корпуса тибетских грамматических сочинений) / П. Л. Гроховский, А. В. Добров, А. Е. Доброва [и др.] // Структурная и прикладная лингвистика : Межвузовский сборник / Под редакцией И.С.Николаева. Том Выпуск 12. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2019. – С. 69-80. – EDN OMUSRS.
9. Грачева, А. А. Стилметрия: компьютерный метод атрибуции и стилистического анализа текстов / А. А. Грачева // Современные СМИ в контексте информационных технологий : Сборник научных трудов 4-ой Всероссийской научно-практической конференции – 2018, Санкт-Петербург, 16 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2019. – С. 107-109. – EDN YHJLI.
10. Анализ подходов к автоматическому выделению контекстных синонимов из текстов на русском языке / Е. В. Полицина, С. А. Полицын, А. С. Поречный, Е. Е. Милованова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2020. – № 3. – С. 120-132. – DOI 10.17308/sait.2020.3/3046. – EDN TVIWWX.

Evenko Kirill Vitalievich, PhD student

Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Rostov Region

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF UNIVERSAL KNOWLEDGE EXTRACTION TECHNIQUES FROM POORLY STRUCTURED TEXT DATA

Abstract. *The article discusses the theoretical foundations of the development of universal methods for extracting knowledge from poorly structured text data. Key approaches to natural language processing are analyzed, including information extraction, ontology construction, and the use of text mining methods. The problems of language ambiguity are discussed and principles for creating universal techniques for various subject areas are proposed.*

Keywords: *knowledge extraction, poorly structured texts, natural language processing, ontologies, text mining, named entities, relationships.*

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ельшин Никита Игоревич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "Радиотехнический институт им. акад. А.Л. Минца", г.Москва, Россия

Завгородний Денис Германович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО "Системы управления научными исследованиями", г.Москва, Россия

Засорин Феликс Святославович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АО Научно-производственное предприятие "Электронное специальное-технологическое оборудование", г.Москва, Россия

В работе дается рассмотрение вопросов, относящихся к тому, как организуются транспортные процессы.

Ключевые слова: транспорт, процесс, организация.

Организация транспортного процесса, прежде всего, зависит от формирования перечня контрольных точек на карте и схеме маршрутов перевозок. Контроль работы подвижного состава – это мониторинг своевременности прохождения каждой контрольной точки [1].

Главным преимуществом спутниковых систем навигации является автоматический режим контроля прохождения контрольных точек, параметры которых задаются в виде географических координат или в привязке к прочим объектам на местности [2].

Фиксируются факт прохождения контрольной точки и время прохождения. При этом автоматически определяются отклонения фактического времени от планируемого. Важным аспектом является учет расстояний [3]. Свод данных позволяет диспетчеру осуществлять расчеты регулярности перевозок и контролировать график работы подвижного состава. Используя мониторинг в реальном времени по контролю работы подвижного состава в пределах отдельных участков маршрута, можно контролировать параметры работы транспорта [4].

Наиболее часто для среднего предприятия на первый план выходит контроль технико-эксплуатационных показателей работы транспорта [5], а также технических параметров его работы. На основных и наиболее трудоемких маршрутах осуществляются мониторинг выполнения графика прохождения маршрута, контроль безопасности транспортного средства, а также оценка режима работы водителей. С помощью навигационной системы и системы диспетчеризации можно оценить продолжительность отдельных операций транспортного процесса [6], фактически – реализовать фотографию рабочего дня водителя. Это, в свою очередь, позволяет организовать труд водителя на качественно ином уровне. Рассмотрим несколько примеров возможных отчетов, которые выдаются навигационными системами [7].

Отчет о стоянках позволяет оценить эффективность использования рабочего времени подвижного состава и водителя. Появляется возможность оценки про-

должительности и места стоянки с дальнейшим анализом целесообразности затраченного на нее времени [8]. Скоростные диаграммы служат иллюстрацией динамики скорости подвижного состава для диспетчера и дают возможность контроля скоростного режима транспорта. Следующим параметром контроля диспетчера является пробег [9].

Величины пробегов по путевому листу и по навигации сопоставляются между собой и формируются отклонения. С данным отчетом сравниваются сведения из отчета о расходе топлива. Таким образом, реализуется возможность сопоставить расход топлива и пробег. Обобщенные сведения из таких отчетов являются инструментом для разработки норм внутри предприятия по расходу топлива. Отчеты по ежедневным пробегам могут формироваться как по отдельному подвижному объекту [10], так и по группе.

По учету расхода топлива также возможно несколько вариантов отчетов, однако большинство отчетов составляются либо по датчикам расхода топлива, либо аналитически.

Расширенный отчет по расходу топлива, подготовленный с использованием аналитических методов, включает период формирования (дата), время начала и окончания работы в заданный период. Каждый временной период сопоставляется с пробегом по данным навигации, нормой расхода топлива, фактическим значением расхода топлива, показателем топливного бака на начало периода, величиной заправок в литрах, расходом топлива по показаниям датчика. На основании сравнения указанных данных определяются расхождения расхода топлива по пробегу и по показаниям датчика. Определяются вероятные «сливы» топлива. Разработка рациональных схем организации перевозок с использованием систем рассматриваемых навигационно-информационных систем предусматривает выполнение двух видов работ. Первый вид работ – подготовительный.

Работы проводятся диспетчером и включают соответствующий анализ местности в реальном времени и ввод необходимых данных в базу данных используемой системы.

Второй вид работ – работа и мониторинг подвижных объектов в процессе эксплуатации в режиме реального времени. Эти работы выполняются в процессе эксплуатации систем и заключаются в анализе маршрутов на карте местности.

Список литературы

1. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
2. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
3. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
4. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).

5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
8. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.
9. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.
10. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
11. Расчёт вероятности возникновения коллизий при использовании алгоритма контроля подлинности сообщений/ Таныгин М.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2-2. С. 179-182.
12. Определение погрешностей при использовании низкочастотной аппаратуры в электроразведке на постоянном токе/ Шкурятник В.Л., Таныгин О.Ф., Таныгин М.О.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 142-144.
13. Верификация данных, передаваемых между устройством и программным обеспечением/ Таныгин М.О.// Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2010. № 2. С. 49-52.
14. Об одном методе контроля целостности передаваемой поблоково информации/ Таныгин М.О., Алшааи Х.Я., Алтухова В.А.// Телекоммуникации. 2019. № 3. С. 12-21.
15. Теоретические основы идентификации источников информации, передаваемой блоками ограниченного размера/ Таныгин М.О.// Курск, 2020.
16. Организация системы сетевого мониторинга и оценки состояния информационной безопасности объекта/ Марухленко А.Л., Селезнёв К.Д., Таныгин М.О., Марухленко Л.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23. № 1. С. 118-129.

Yelshin Nikita Igorevich, specialist

JSC "Radio Engineering Institute named after acad. A.L. Mints", Moscow, Russia

Zavgorodniy Denis Germanovich, specialist

JSC "Research Management Systems", Moscow, Russia

Zasorin Felix Svyatoslavovich, specialist

JSC Research and Production Enterprise "Electronic Special Technological Equipment", Moscow, Russia

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF TRANSPORT PROCESSES

Annotation: The paper considers issues related to how transport processes are organized.

Key words: transport, process, organization.

УДК 621.791/669.715

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ИХ ПОСЛЕДУЮЩАЯ ТЕРМООБРАБОТКА

Ефимов Арсений Андреевич студент

(e-mail: arsyuxa.efimov@mail.ru)

Медведева Ксения Сергеевна, к.т.н доцент

(e-mail: kseniamedvedeva17@gmail.com)

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Анализируется влияние термоциклирования в процессе сварки на формирование микроструктуры высокопрочных алюминиевых сплавов. Предложены оптимальные режимы термообработки для восстановления пластичности сварных соединений.

Ключевые слова: сварка алюминиевых сплавов, зона термического влияния, термообработка, рекристаллизация.

Высокопрочные алюминиевые сплавы систем Al-Zn-Mg-Cu (серия 7XXX), Al-Cu-Mg (серия 2XXX) и Al-Mg-Si (серия 6XXX) широко применяются в авиационной, автомобилестроении и других отраслях промышленности благодаря оптимальному сочетанию прочности, пластичности и малого удельного веса [1]. Основной проблемой при сварке данных сплавов является значительное снижение механических свойств в зоне термического влияния (ЗТВ), вызванное сложными структурно-фазовыми превращениями под воздействием термического цикла сварки [2]. Быстрый нагрев и охлаждение приводят к растворению упрочняющих фаз, их коагуляции, изменению размеров зерен и формированию неравновесной структуры, что существенно снижает прочность и пластичность соединения [3].

В качестве материалов исследования были выбраны высокопрочные алюминиевые сплавы: 7075-T6 (Al-Zn-Mg-Cu), 2024-T3 (Al-Cu-Mg) и 6061-T6 (Al-Mg-Si). Химический состав исследуемых сплавов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав исследуемых сплавов (масс. %)

Сплав	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
7075-T6	0,40	0,50	1,6	0,30	2,5	0,23	5,6	0,20	Основа
2024-T3	0,50	0,50	4,4	0,60	1,5	0,10	0,25	0,15	Основа
6061-T6	0,65	0,7	0,28	0,15	1,0	0,20	0,25	0,15	Основа

Сварные соединения выполнялись методом аргонодуговой сварки (TIG) и импульсной лазерной сварки. Параметры режимов сварки: ток 100-120 А, напряжение 12-14 В, скорость сварки 12-15 м/ч для TIG-сварки; мощность излучения 3-4 кВт, скорость сварки 30-40 м/ч для лазерной сварки.

Для исследования микроструктуры использовали оптическую микроскопию (микроскоп Olympus GX51), электронную сканирующую микроскопию (SEM

JEOL JSM-6490LV) с энергодисперсионным анализатором (EDS Oxford Instruments). Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 50 г.

Термическая обработка сварных соединений проводилась по следующим режимам:

1. Закалка: нагрев до 460-520°C (в зависимости от сплава), выдержка 1 час, охлаждение в воде
2. Искусственное старение при температурах 120-200°C с выдержкой от 2 до 24 часов
3. Двухступенчатое старение: предварительное старение при 120°C (8 часов) и последующее старение при 175°C (6-12 часов)

Механические испытания сварных соединений проводились на универсальной испытательной машине Instron 5982 с определением предела прочности (σ_B), предела текучести ($\sigma_{0,2}$) и относительного удлинения (δ).

Металлографический анализ сварных соединений показал, что ЗТВ в высокопрочных алюминиевых сплавах имеет сложную градиентную структуру, которую можно разделить на несколько характерных участков.

Для сплава 7075-T6 в участке, примыкающем к линии сплавления, наблюдается полное растворение упрочняющих η' -фаз ($MgZn_2$) при температурах выше 400°C. В участке, где температура нагрева составляла 320-400°C, отмечена коагуляция промежуточных η' -фаз и их преобразование в стабильные η -фазы, что является основной причиной снижения прочности на данном участке. В зоне с максимальным разупрочнением (температура нагрева 250-320°C) наблюдается интенсивный рост размера зерен и формирование крупных частиц фазы $MgZn_2$.

В сплаве 2024-T3 зона максимального разупрочнения характеризуется растворением метастабильных фаз θ'' и θ' ($CuAl_2$) и образованием относительно крупных выделений стабильной θ -фазы по границам зерен. Измерение микротвердости показало снижение значений от 135-140 HV в основном металле до 80-90 HV в зоне разупрочнения.

Для сплава 6061-T6 характерно изменение морфологии и распределения упрочняющих фаз β'' (Mg_2Si) и частичное снятие деформационного упрочнения. Минимальные значения твердости (60-65 HV) наблюдаются на расстоянии 4-6 мм от оси шва при исходной твердости основного металла 105-110 HV.

Сравнительный анализ микроструктуры ЗТВ при различных способах сварки показал, что при лазерной сварке ширина ЗТВ составляет 3-5 мм, что в 2-3 раза меньше, чем при TIG-сварке (9-12 мм). Это объясняется более концентрированным тепловым потоком и меньшим тепловложением при лазерной сварке, что приводит к формированию более узкой зоны с измененной микроструктурой.

Результаты исследования показали, что после сварки предел прочности составляет 55-65% от прочности основного металла для сплава 7075-T6, 60-70% для сплава 2024-T3 и 65-75% для сплава 6061-T6. Коэффициент прочности сварных соединений (отношение прочности сварного соединения к прочности основного металла) зависит от режима сварки и последующей термообработки.

Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным способом восстановления механических свойств для сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu является повторная закалка с температуры 480°C с последующим двухступенчатым старением: предварительное старение при 120°C в течение 8 часов и окончательное старение при 175°C в течение 8 часов. Данный режим обеспечивает восстановление прочности сварного соединения до 85-90% от прочности основного металла при сохранении достаточной пластичности ($\delta = 8-10\%$).

Для сплавов системы Al-Cu-Mg оптимальным является режим: закалка с температуры 495°C и искусственное старение при температуре 190°C в течение 12 часов. Это позволяет достичь коэффициента прочности сварного соединения 0,8-0,85 при относительном удлинении 9-11%.

Для сплавов системы Al-Mg-Si наилучшие результаты показал режим: закалка с температуры 520°C и искусственное старение при температуре 175°C в течение 10 часов. При этом коэффициент прочности составляет 0,85-0,9, а относительное удлинение – 10-12%.

Металлографический анализ показал, что повышение механических свойств связано с формированием однородной дисперсной структуры с равномерным распределением упрочняющих фаз в матрице. При этом происходит растворение крупных частиц, выделившихся по границам зерен при сварке, и повторное выделение дисперсных частиц при искусственном старении.

Следует отметить, что для сварных соединений, выполненных лазерной сваркой, эффективность термической обработки выше, что объясняется меньшими размерами ЗТВ и более однородной структурой. Коэффициент прочности таких соединений после термообработки достигает 0,9-0,95 от прочности основного металла.

В заключение можно сказать, что проведенное исследование позволяет сформулировать следующие фундаментальные выводы. Установлено, что в зоне термического влияния при сварке высокопрочных алюминиевых сплавов происходят сложные структурно-фазовые превращения, связанные с растворением, коагуляцией и изменением морфологии упрочняющих фаз, что приводит к снижению механических свойств сварных соединений.

Показано, что применение лазерной сварки обеспечивает формирование более узкой зоны термического влияния по сравнению с аргонодуговой сваркой, что положительно сказывается на механических свойствах сварных соединений.

Разработаны оптимальные режимы термической обработки сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов, обеспечивающие восстановление прочностных характеристик до 85-95% от прочности основного металла при сохранении достаточной пластичности.

Установлено, что двухступенчатое искусственное старение после повторной закалки является наиболее эффективным способом восстановления свойств для сварных соединений сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu, а для сплавов систем Al-Cu-Mg и Al-Mg-Si оптимальным является одноступенчатое искусственное старение.

Список литературы

1. Алтухов А.А., Гуреева М.А. Современные алюминиевые сплавы и технологии производства полуфабрикатов из них для авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2. С. 3-12.
2. Овчинников В.В. Сварка и диагностика высокопрочных алюминиевых сплавов. М.: МГИУ, 2019. 240 с.
3. Liu G., Murr L.E., Niou C.S. et al. Microstructural aspects of the friction-stir welding of 6061-T6 aluminum // Scripta Materialia. 2018. Vol. 37. № 3. P. 355-361.

Efimov Arseny Andreevich is a student at the Siberian State Industrial University in Novokuznetsk, Russia (e-mail: arsyuxa.efimov@mail.ru)

Medvedeva Ksenia Sergeevna, PhD, Associate Professor at the Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia (e-mail: kseniamedvedeva17@gmail.com)

MICROSTRUCTURAL CHANGES IN THE THERMAL INFLUENCE ZONE DURING WELDING OF HIGH-TENSILE ALUMINIUM ALLOYS AND THEIR SUBSEQUENT HEAT TREATMENT

Abstract. The influence of thermocycles in the welding process on the formation of the microstructure of high-strength aluminum alloys is analyzed. The optimal modes of heat treatment for the restoration of the plasticity of welded joints are proposed.

Keywords: welding of aluminum alloys, heat affected zone, heat treatment, and recrystallization.

УДК 621.7/004.89

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Ефимов Арсений Андреевич студент

(e-mail: arsyuxa.efimov@mail.ru)

Медведева Ксения Сергеевна, к.т.н доцент

(e-mail: kseniamedvedeva17@gmail.com)

Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия

В статье рассматривается проблема прогнозирования отказов промышленного оборудования с использованием технологий машинного обучения. Проанализированы современные подходы к организации предиктивного обслуживания на основе данных с датчиков и систем мониторинга. Предложена комплексная методика, интегрирующая алгоритмы случайного леса и глубокого обучения для анализа временных рядов параметров оборудования. Представлены результаты экспериментального внедрения системы предиктивной аналитики на предприятии машиностроительного комплекса, демонстрирующие снижение незапланированных простоев на 73% и сокращение затрат на техническое обслуживание на 25%. Определены перспективные направления развития систем прогнозирования отказов на основе интеграции с цифровыми двойниками и облачными платформами.

Ключевые слова: машинное обучение, предиктивное обслуживание, прогнозирование отказов, цифровизация производства, промышленное оборудование, предиктивная аналитика, обнаружение аномалий.

Цифровизация производственных процессов и внедрение концепций "Индустрии 4.0" открывают новые возможности для повышения эффективности эксплуатации оборудования. По данным исследования McKinsey [1], до 40% времени простоя промышленного оборудования связано с незапланированными отказами, что приводит к потерям производительности и дополнительным затратам на внеплановый ремонт. Традиционные подходы к техническому обслуживанию – реактивный (ремонт после возникновения поломки) и планово-предупредительный (обслуживание по расписанию) – не позволяют оптимально использовать ресурс оборудования и предотвращать критические отказы.

Предиктивное (прогностическое) обслуживание представляет собой стратегию, основанную на прогнозировании вероятности отказа оборудования путем анализа данных с датчиков и исторических сведений об эксплуатации [2]. Данный подход позволяет выполнять обслуживание только когда это действительно необходимо, но до момента фактического возникновения отказа.

Ключевую роль в реализации концепции предиктивного обслуживания играют методы машинного обучения (МО), способные выявлять сложные взаимосвязи между параметрами работы оборудования и вероятностью возникновения отказов [3]. В отличие от традиционных статистических методов, алгоритмы МО могут работать с большими объемами неструктурированных данных, учитывать нелинейные зависимости и адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации.

Целью данного исследования является разработка методики применения алгоритмов машинного обучения для прогнозирования отказов редукторных механизмов и подшипниковых узлов промышленного оборудования. В задачи работы входит сравнительный анализ эффективности различных алгоритмов, оценка точности прогнозирования и определение экономического эффекта от внедрения системы предиктивного обслуживания.

В качестве объекта исследования были выбраны редукторные механизмы и подшипниковые узлы производственных линий машиностроительного предприятия. Исследовались 38 единиц оборудования в течение 18 месяцев, за этот период было зафиксировано 27 случаев отказов различной степени критичности.

Частота опроса датчиков составляла от 1 Гц для температурных параметров до 20 кГц для вибрационных характеристик. Объем собираемых данных достигал 5 Гб в сутки.

В исследовании были использованы следующие алгоритмы машинного обучения: алгоритмы классификации для выявления предаварийных состояний; алгоритмы обнаружения аномалий для выявления нетипичного поведения оборудования; модели для прогнозирования времени до отказа.

Для оценки качества работы моделей использовались метрики: точность (Precision), полнота (Recall), F1-мера, площадь под ROC-кривой (AUC), а также специфичные для задачи метрики – среднее время предупреждения об отказе и частота ложных срабатываний.

При решении задачи классификации предаварийных состояний наилучшие результаты продемонстрировал алгоритм градиентного бустинга (GB), обеспечивший F1-меру 0,89 при тестировании на исторических данных (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ точности алгоритмов классификации

Алгоритм	Precision	Recall	F1-мера	AUC
LR	0,78	0,75	0,76	0,82
RF	0,91	0,82	0,86	0,93
GB	0,93	0,86	0,89	0,94
SVM	0,84	0,79	0,81	0,85

Для задачи обнаружения аномалий наиболее эффективным оказался гибридный подход, комбинирующий изолирующий лес для первичного анализа и LSTM-автоэнкодер для детального анализа временных рядов. Данный подход позволил сократить число ложных срабатываний на 64% по сравнению с использованием только статистических методов.

При прогнозировании времени до отказа наиболее точные результаты показала модель на базе рекуррентных нейронных сетей с LSTM-ячейками. Средняя абсолютная ошибка прогнозирования составила 14,2 часа для временного горизонта в 7 дней.

Анализ важности признаков, выполненный с использованием методов SHAP (SHapley Additive exPlanations), позволил выявить наиболее информативные параметры для различных типов оборудования. Для подшипниковых узлов ключевыми оказались высокочастотные вибрационные характеристики и температурные тренды, для редукторов – спектральные составляющие вибрации в определенных диапазонах частот и параметры качества масла.

Внедрение системы предиктивного обслуживания на базе разработанных алгоритмов позволило достичь следующих результатов:

1. Снижение количества незапланированных простоев оборудования на 73%;
2. Сокращение среднего времени ремонта на 31%;
3. Увеличение средней эффективности оборудования (OEE) с 67% до 82%;
4. Снижение затрат на техническое обслуживание на 25%;
5. Увеличение срока службы критичных узлов на 15-20%.

Экономический эффект от внедрения системы за 12 месяцев составил около 18 млн рублей для исследуемого участка производства.

В заключение можно сказать, что в результате проведенного исследования разработана и апробирована методика применения алгоритмов машинного обучения для прогнозирования отказов промышленного оборудования. Наиболее эффективным подходом оказалась комбинация различных алгоритмов МО, адаптированных под конкретные типы оборудования и режимы их работы.

Практическая значимость работы заключается в создании системы предиктивного обслуживания, способной выявлять предаварийные состояния оборудования за 48-72 часа до вероятного отказа с точностью до 89%, что дает воз-

возможность проводить обслуживание в плановом режиме, минимизируя дорогостоящие простои.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: интеграция разработанной системы с цифровыми двойниками оборудования для моделирования сценариев деградации; разработка методов учета взаимного влияния параметров и каскадных отказов в сложных технических системах; создание самообучающихся моделей, способных адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации без участия человека.

Список литературы

1. McKinsey & Company. The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype. McKinsey Global Institute, 2019.
2. Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.N., Vita R. и др. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. Computers & Industrial Engineering, 2019; 137: 106024.
3. Жаров И.А., Соколов М.Н. Методы интеллектуального анализа данных в задачах диагностики промышленного оборудования // Машиностроение и компьютерные технологии. 2021. № 2. С. 45-58.

Efimov Arseny Andreevich is a student at the Siberian State Industrial University in Novokuznetsk, Russia (e-mail: arsyuxa.efimov@mail.ru)

Medvedeva Ksenia Sergeevna, PhD, Associate Professor at the Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia (e-mail: kseniamedvedeva17@gmail.com)

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR PREDICTING FAILURES OF INDUSTRIAL EQUIPMENT IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF PRODUCTION

Abstract. The article discusses the problem of predicting failures of industrial equipment using machine learning technologies. Modern approaches to organizing predictive maintenance based on data from sensors and monitoring systems are analyzed. A comprehensive methodology is proposed that integrates random forest and deep learning algorithms for analyzing time series of equipment parameters. The article presents the results of an experimental implementation of a predictive analytics system at a machine-building enterprise, demonstrating a 73% reduction in unplanned downtime and a 25% reduction in maintenance costs. Promising areas for developing failure prediction systems based on integration with digital twins and cloud platforms have been identified.

Keywords: machine learning, predictive maintenance, failure prediction, digitalization of production, industrial equipment, predictive analytics, and anomaly detection.

УДК 656.2

**РАЗВИТИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ
ИНТЕГРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА**

Ефимов Арсений Андреевич студент

(e-mail: arsyuxa.efimov@mail.ru)

Медведева Ксения Сергеевна, к.т.н доцент

(e-mail: kseniamedvedeva17@gmail.com)

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В настоящей статье проведён фундаментальный анализ ключевых детерминант развития мультимодальных транспортных коридоров в контексте стратегических императивов национального развития и цифровой трансформации экономики. Представлены результаты научного исследования особенностей системной интеграции железнодорожного, автомобильного, водного и воздушного транспорта в единые логистические комплексы на территории Российской Федерации. Идентифицированы базовые проблемы институционального и инфраструктурного характера, препятствующие формированию эффективных мультимодальных коридоров в российском транспортно-логистическом пространстве.

Ключевые слова: мультимодальные транспортные коридоры, интермодальные перевозки, транспортная интеграция, логистические хабы, цифровизация транспортного комплекса, национальная транспортная система, евразийские транспортные маршруты.

Интенсификация межрегиональных экономических связей, развитие территориально-производственных комплексов и усложнение цепочек создания стоимости детерминируют необходимость формирования и стратегического развития эффективных транспортных систем, обеспечивающих непрерывное перемещение грузовых и пассажирских потоков. Особую научно-практическую значимость в данном контексте приобретают мультимодальные транспортные коридоры, интегрирующие различные виды транспорта – железнодорожный, автомобильный, водный и воздушный – в единые логистические системы высокого уровня связности.

Мультимодальные перевозки представляют собой технологию транспортировки грузов двумя или более видами транспорта под ответственностью единого оператора по единому транспортному документу с применением сквозной тарифной ставки [1]. Экономическая эффективность данной транспортно-логистической парадигмы обеспечивается посредством оптимального использования конкурентных преимуществ каждого вида транспорта и минимизации транзакционных издержек на перегрузочные операции.

Актуальность настоящего исследования детерминирована императивной необходимостью повышения конкурентоспособности отечественных транспорт-

ных коридоров в условиях фундаментальных изменений в архитектуре транспортно-логистических потоков и акселерации процессов цифровой трансформации логистического комплекса. Несмотря на значительный транзитный потенциал Российской Федерации, обусловленный уникальным географическим положением страны как естественного моста между Европой и Азиатско-Тихоокеанским регионом, степень реализации данного потенциала в контексте обслуживания транспортных потоков остаётся недостаточной для обеспечения национального экономического суверенитета.

Целью настоящего исследования является системный научный анализ современного состояния и стратегических перспектив развития мультимодальных транспортных коридоров Российской Федерации, интегрирующих железнодорожный, автомобильный, водный и воздушный виды транспорта.

Концепция мультимодальных транспортных коридоров получила теоретическое обоснование и практическое развитие в отечественной транспортной науке во второй половине XX века, что было обусловлено процессами контейнеризации грузоперевозок и стандартизации транспортно-логистических комплексов [2]. Фундаментальные исследования, проведённые научной школой Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) под руководством профессора В.С. Лукинского, позволили установить, что мультимодальные перевозки обладают рядом существенных преимуществ в сравнении с традиционными унимодальными перевозками, включая сокращение временных параметров доставки, повышение надёжности логистических процессов, оптимизацию транспортных издержек и снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

Классификация мультимодальных транспортных коридоров в отечественной науке осуществляется по различным таксономическим критериям: территориально-пространственному охвату (федеральные, межрегиональные, региональные), видам интегрируемого транспорта, функциональному назначению (грузовые, пассажирские, комбинированные) и другим параметрам. Особое научно-практическое значение имеют национальные транспортные коридоры, формирующие инфраструктурную основу транспортно-логистической системы Российской Федерации и обеспечивающие её территориальную связность.

В России сложилась уникальная система мультимодальных транспортных коридоров, базирующаяся на исторически сформировавшейся транспортной инфраструктуре и адаптированная к обширной территории страны и неравномерности распределения экономической активности. Важнейшими элементами данной системы являются Транссибирский мультимодальный коридор, коридор "Север-Юг", "Приморье-1", "Приморье-2" и Северный транспортный коридор.

Профессором А.Л. Носовым из Московского государственного университета путей сообщения разработана концепция комплексного развития российских транспортных коридоров, предусматривающая координацию развития инфраструктуры различных видов транспорта и устранение "узких мест" в национальной транспортно-логистической системе. Особое внимание в данной концепции уделяется формированию сети мультимодальных транспортно-

логистических центров в узловых точках пересечения основных грузопотоков [3].

В контексте стратегического развития транспортной системы Сибири и Дальнего Востока академик РАН С.К. Шойгу предложил инновационный подход к формированию мультимодальных коридоров, предусматривающий интеграцию Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей с сетью региональных автомобильных дорог и речных путей, что позволит существенно повысить транспортную доступность обширных территорий и стимулировать их экономическое развитие.

Согласно исследованиям Российского университета транспорта (МИИТ), в Поволжском федеральном округе сформировалась эффективная модель интеграции речного и железнодорожного транспорта в единую мультимодальную систему, обеспечивающую оптимальное распределение грузопотоков с учётом сезонности речных перевозок. Ключевую роль в данной системе играют мультимодальные терминалы в Нижнем Новгороде, Казани и Самаре.

Транссибирская магистраль, являясь крупнейшей в мире железнодорожной системой протяжённостью более 9 тысяч километров, представляет собой фундаментальную основу евразийского сухопутного моста, соединяющего западные и восточные регионы России. Данный транспортный коридор обеспечивает оптимальное время доставки грузов при рациональном использовании ресурсов. Развитие Транссиба как мультимодального коридора предусматривает его интеграцию с морскими портами Дальнего Востока (Владивосток, Находка, Восточный) и Балтийского моря (Санкт-Петербург, Усть-Луга), а также с сетью федеральных автомобильных дорог.

Международный транспортный коридор "Север-Юг", разработанный по инициативе российских учёных и специалистов в области транспорта, призван обеспечить оптимальную логистическую связь между северными регионами России, центральными промышленными районами и южными территориями страны с выходом к акваториям Каспийского моря. Данный коридор интегрирует железнодорожные, автомобильные и водные маршруты, что формирует оптимальные условия для развития мультимодальных перевозок.

В заключение можно сказать, что проведённое исследование позволяет сформулировать следующие фундаментальные выводы. Развитие мультимодальных транспортных коридоров Российской Федерации, интегрирующих железнодорожный, автомобильный, водный и воздушный транспорт, является стратегическим императивом национального развития в условиях цифровой трансформации экономики и геополитических вызовов современности.

Россия обладает уникальным потенциалом для формирования эффективной системы мультимодальных транспортных коридоров, базирующейся на существующей транспортной инфраструктуре (Транссибирская магистраль, коридор "Север-Юг", Северный морской путь) и перспективных инфраструктурных проектах.

Список литературы

1. Миротин Л.Б., Гудков В.А., Зырянов В.В. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах. М.: Горячая линия-Телеком, 2020. 704 с.
2. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики. СПб.: Питер, 2021. 448 с.
3. Носов А.Л. Региональная логистика. М.: Альфа-Пресс, 2019. 326 с.

DEVELOPMENT OF MULTIMODAL TRANSPORT CORRIDORS IN THE RUSSIAN FEDERATION: SYSTEMIC ASPECTS OF INTEGRATION OF DIFFERENT TYPES OF TRANSPORT

Efimov Arseny Andreevich is a student at the Siberian State Industrial University in Novokuznetsk, Russia (e-mail: arsyuxa.efimov@mail.ru)

Medvedeva Ksenia Sergeevna, PhD, Associate Professor at the Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia (e-mail: kseniamedvedeva17@gmail.com)

DEVELOPMENT OF MULTIMODAL TRANSPORT CORRIDORS IN THE RUSSIAN FEDERATION: SYSTEMIC ASPECTS OF INTEGRATION OF VARIOUS MODES OF TRANSPORT

Abstract. This article provides a fundamental analysis of the key determinants of the development of multimodal transport corridors in the context of the strategic imperatives of national development and digital transformation of the economy. The article presents the results of a scientific study of the features of the systemic integration of railway, road, water, and air transport into unified logistics complexes in the Russian Federation. The article identifies the basic institutional and infrastructural challenges that hinder the formation of effective multimodal corridors in the Russian transport and logistics space.

Keywords: multimodal transport corridors, intermodal transportation, transport integration, logistics hubs, digitalization of the transport complex, national transport system, and Eurasian transport routes.

**ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ЕГО ШЕРОХОВАТОСТЬ**

Жачкин Сергей Юрьевич, д.т.н., профессор
(e-mail: zhach@list.ru)

Трифонов Григорий Игоревич, к.т.н.
(e-mail: i@grifonov.ru)

Михальченко Андрей Васильевич, научный сотрудник
Котов Арсений Павлович, курсант

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж, Россия

В рамках данного исследования были выполнены комплексные экспериментальные работы, направленные на изучение воздействия различных технологических параметров процесса осаждения на шероховатость поверхности композитного материала, основанного на хроме. На основании полученных данных были разработаны номограммы, значительно облегчающие выбор оптимальных технологических режимов осаждения.

Ключевые слова: инструмент, хромирование, цикл, нагрузка, износ.

Восстановление деталей машин в сельском хозяйстве – это процесс возвращения изношенным или повреждённым деталям их первоначальных характеристик и свойств.

Различают следующие методы восстановления деталей в сельском хозяйстве [1]:

1. Механическая обработка (токарные, фрезерные, шлифовальные работы).
2. Нанесение функциональных покрытий с целью восстановления размеров и поверхностей детали.
3. Сварка и резка.
4. Применение полимерных материалов.
5. Использование ремонтных комплектов и запасных частей.

Гальваническое осаждение (нанесение покрытий) является приоритетным способом, используемым в агропромышленных цехах ремонта и восстановления техники. Отметим, что при этом ни одна из технологий, применяемых на современном этапе развития отечественного производства, не обеспечивает в полной мере упрочнение и восстановление детали техники [2, 3].

Комплексный анализ вычислительных данных [4] продемонстрировал, что линейная модель с аддитивным свободным членом является наиболее адекватной для описания исследуемого процесса. Это подтверждается высоким значением коэффициента детерминации, характерным для данной математической модели.

Используя современные программные средства анализа данных, такие как «Statistica», которые обеспечивают исчерпывающее описание математических моделей экспериментальных исследований, было получено уравнение, характеризующее зависимость шероховатости покрытия от исследуемых факторов [4, 5].

Анализ уравнения показал, что плотность тока является критическим параметром, оказывающим значительное влияние на величину шероховатости поверхности. Это подтверждает гипотезу о доминирующей роли плотности тока в формировании микроструктуры покрытия.

В ходе исследования установлено, что увеличение температуры электролита и давления инструмента приводит к снижению шероховатости покрытия, что обусловлено повышением качества раскатки покрытия благодаря использованию хромовой матрицы и её физико-механических характеристик.

Для визуализации и анализа трехмерных зависимостей был построен график (рисунок 1), демонстрирующий влияние температуры рабочей среды и давления инструмента на шероховатость поверхности при нанесении композитного покрытия с плотностью тока 10 кА/м².

С целью оптимизации выбора технологических режимов осаждения разработана номограмма, представляющая собой трехмерную графическую зависимость. Основная задача номограммы заключается в упрощении процесса подбора режимов осаждения, обеспечивающих получение покрытий с требуемой шероховатостью поверхности (рисунки 2).

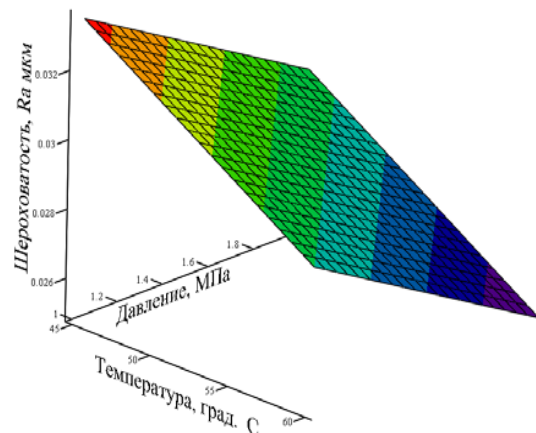


Рисунок 1 – Графическая интерпретация аналитической зависимости шероховатости покрытия от температуры электролита и давления инструмента

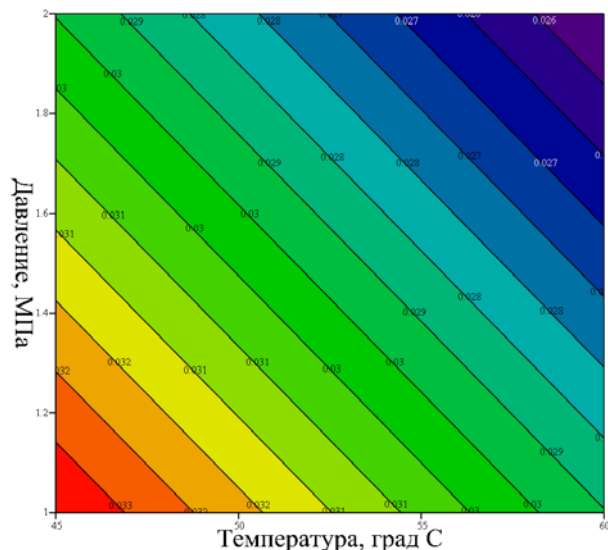


Рисунок 2 – Номограмма, предназначенная для расчёта температуры электролита и давления инструмента, необходимых для создания покрытий с заданной шероховатостью

Учитывая построенные графики, можно с уверенностью утверждать, что технология восстановления с помощью гальванического осаждения покрытий (с использованием определённых технологических режимов и материала покры-

тия) подходит для выполнения финишных операций при упрочнении деталей сельхоз машин.

Список литературы

1. Ценч Ю.С. Опыт технико-технологического обеспечения сельского хозяйства Южного Урала: от машинно-тракторных станций к научно-производственным мощностям / Ю.С. Ценч, Е.В. Годлевская // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. № 3(152). С. 105-115.
2. Trifonov G.I. The Effect of Plasma Spraying Technological Modes on the Strength of Coating Adhesion onto a Screw-Shaped Substrate / G.I. Trifonov, S.Yu. Zhachkin // Polymer Science, Series D. 2024. Vol. 17. No. 3. pp. 739-744.
3. Жачкин С.Ю. Повышение износостойкости композиционного покрытия на основе железа при восстановлении специального оборудования / С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов, А.В. Пустоветов, П.В. Стрункин // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 2(93). С. 92-99.
4. Чернышева Н.В. Основы и методы экспериментальных исследований / Н.В. Чернышева, Е.В. Фомина. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2024. – 111 с.
5. Козлов В.А. Автоматизация чтения графических функций и номограмм при помощи MS Excel / В.А. Козлов // Лучшие научные исследования 2025: Сборник статей XXII Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 20 июля 2025 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.). 2025. С. 28-32.

Zhachkin Sergey Yuryevich, Doctor of Technical Sciences, Professor

Military educational scientific center Air force «Air force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

Trifonov Grigory Igorevich, Candidate of Technical Sciences

Military educational scientific center Air force «Air force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

Mikhailchenko Andrey Vasilyevich, research assistant

Military educational scientific center Air force «Air force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

Kotov Arseniy Pavlovich, student

Military educational scientific center Air force «Air force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

GRAPHICAL REPRESENTATION OF THE EFFECT OF COATING PARAMETERS ON ITS ROUGHNESS

Abstract. Within the framework of this study, comprehensive experimental work was carried out aimed at studying the effects of various technological parameters of the deposition process on the surface roughness of a composite material based on chromium. Based on the data obtained, nomograms were developed that greatly facilitate the selection of optimal technological deposition modes.

Keywords: tool, chrome plating, cycle, load, wear.

АНАЛИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ НАПЫЛЕНИЯ

Жачкин Сергей Юрьевич, д.т.н., профессор

Трифонов Григорий Игоревич, к.т.н.

Иванчура Владимир Иванович, к.в.н., доцент

Петерин Никита Константинович,

(e-mail: i@gtrifonov.ru)

*ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж, Россия*

Проведен детальный анализ существующих аналогов и прототипа материалов для напыления, с целью выявления их технологических недостатков и определения потенциальных областей для оптимизации. Особое внимание было уделено изучению физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик покрытий, полученных на основе различных композиций.

Ключевые слова: плазменное напыление, композитное покрытие, дистанция напыления, морфология, адгезионная прочность сцепления.

В ходе проводимого исследования был проведен комплексный анализ существующих порошкообразных материалов, разработанных для плазменного напыления функциональных покрытий. Были детально исследованы свойства различных композиций материалов, применяемых в качестве основных компонентов для формирования композитных покрытий. В частности, анализировались их химический состав, микроструктурные характеристики, а также одни из основных механических и эксплуатационных свойств.

Проводя анализ существующих материалов для напыления, было определено, что на данный момент активно используются, следующие порошкообразные композиции:

композиционный порошок для плазменного напыления [1], содержащий частицы титана, плакированные слоем никеля, с размером частиц композиционного порошка 45-120 мкм, при этом частицы титана дополнительно содержат слой алюминия, расположенный непосредственно на слое никеля, при следующем соотношении компонентов в композиционном порошке, мас. % - алюминий (Al) 5-20 %, никель (Ni) 20-70 %, остальное титан;

порошкообразный материал для напыления износостойких покрытий [2], содержащий 55-65 % порошка на основе никеля ПР-НХ17 и 35-45 % порошка на основе железа ПР-Х4ГСП.

Отметим, что в ходе детального анализа выше указанных порошков, авторами работы было определено, что при непосредственном их применении в ходе плазменного напыления на поверхности стальных деталей возникает такой недостаток, как низкий уровень микротвердости формируемого покрытия. Данное заключение было сделано на образцах, толщина покрытия на которых достигала до 2 мм, при этом было определено, что величина исследуемого параметра

уменьшается от верхнего слоя покрытия до подложки образца. Данная особенность, как показали последующие исследования, направленные на оценку износостойкости покрытия, напрямую оказывает влияние на качество применяемой технологии.

Также существуют композиционный состав порошкообразного материала для плазменного напыления [3], содержащий порошки на основе железа и никеля и порошок алюминия, при следующем соотношении компонентов: порошок на основе железа фракции 40...100 мкм – 73%, порошок на основе никеля фракции 40...64 мкм – 23 %, порошок алюминия фракции 30...40 мкм – 4%.

К недостатку указанного материала для плазменного напыления относится низкая степень сопротивления кавитационной эрозии.

Недостатком указанного материала для плазменного напыления является его низкая степень устойчивости к кавитационной эрозии, что обусловлено микроструктурными особенностями, а также состоянием внутренних напряжений.

Известен самофлюсующийся сплав на железной основе ПР-Х4ГСП фракционного состава 20-63 мкм, состоящий из, мас. %: 0,8 % углерода, 11 % хрома, 3 % кремния, 2,7 % бора, 4 % марганца, остальное – железо.

К недостаткам указанного порошка относится низкая микротвердость покрытия, получаемого при напылении, а также низкая степень сопротивления кавитационной эрозии.

Таким образом, одной из основных задач, при разработке материала напыления на стальные образцы плазменным методом напыления, будет являться – получение высококачественного композитного покрытия с требуемыми показателями по микротвердости и эрозионной устойчивости к кавитационным воздействиям.

Технологической задачей при разработке нового состава для плазменного напыления, будет являться получение композитного покрытия с высокими показателями микро-твердости и устойчивости к кавитационной эрозии.

на основе проводимых экспериментальных исследований [4], было определено, что соотношении компонентов, мас. %: порошок самофлюсующегося сплава на основе железа фракции 20-63 мкм – 88,7 и порошок карбида титана фракции 43-44 мкм – 11,3.

Микроструктурный анализ полученного покрытия выявляет наличие сложной сетчатой эвтектической структуры, а также субмикронных частиц карбида титана. По мнению авторов дисперсные выделения TiC эффективно препятствуют движению дислокаций, что, в свою очередь, приводит к значительному увеличению микротвердости покрытия.

В результате проведенных измерений было получено покрытие, обладающее следующими показателями по микротвердости – 703 ± 17 HV. Отметим, что стальная подложка при этом обладает твердостью в 250 HV.

Результаты определения кавитационной устойчивости показали, что совокупная потеря веса стальной подложки и покрытия из разработанного материала составила 4,15 мг и 1,64 мг. Значения скорости эрозии по глубине для подложки и покрытия составили 8,72 и 3,66 мкм/ч соответственно.

Анализируя полученные данные, авторы считают, что повышению уровня кавитационной эрозии поспособствовало внедрение в состав покрытия частиц карбида титана, поскольку между матричной основой и наполнителем происходит большой скачок по твердости. Следовательно, возникает предпосылка к тому, что может быть решена проблема по обеспечению кавитационной устойчивости к износу во многих областях техники.

Кроме того, сделанные выводы дают основу для дальнейших исследований в фундаментальном понимании процесса нанесения композитных покрытий и определению оптимальных технологических режимов при их формировании.

Список литературы

1. Патент № 2039125 С1 Российская Федерация, МПК C23C 4/08, B22F 1/02. композиционный порошок для плазменного напыления покрытий: № 5009968/02: заявл. 15.08.1991: опубл. 09.07.1995 / В.М. Валитова, Д.Д. Афоничев, Э.Ф. Хайретдинов; заявитель Институт проблем сверхпластичности металлов РАН.

2. Патент № 2337178 С1 Российская Федерация, МПК C23C 4/08, C22C 24/00. Порошкообразный материал для напыления износостойких покрытий: № 2007101045/02: заявл. 09.01.2007: опубл. 27.10.2008 / В.Н. Хромов, С.А. Зайцев, В.Н. Корнев [и др.]; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО Орел ГАУ).

3. Патент № 2803173 С1 Российская Федерация, МПК C23C 4/08, C23C 24/04, C23C 30/00. композиционный состав порошкообразного материала для плазменного напыления: № 2022128164: заявл. 28.10.2022: опубл. 07.09.2023 / Г.И. Трифонов, И.Н. Кравченко, С.Ю. Жачкин [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

4. Жачкин С.Ю. Повышение износостойкости композиционного покрытия на основе железа при восстановлении специального оборудования / С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов, А.В. Пустоветов, П.В. Стрункин // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 2(93). – С. 92-99.

Zhachkin Sergey Yurievich, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»

Trifonov Grigory Igorevich, Candidate of Technical Sciences

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»

Voronezh, Russia

Ivanchura Vladimir Ivanovich, Candidate of Military Sciences, Associate Professor

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

Peterin Nikita Konstantinovich

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

ANALYSIS OF POWDER MATERIALS FOR APPLYING FUNCTIONAL COATINGS BY PLASMA SPRAYING

Abstract. A detailed analysis of existing analogues and prototype materials for spraying has been carried out in order to identify their technological shortcomings and identify potential areas for optimization. Special attention was paid to the study of the physico-chemical properties and performance characteristics of coatings based on various compositions.

Keywords: plasma spraying, composite coating, spray distance, morphology, adhesive bonding strength.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ

Жильцов Никита Алексеевич, студент

(e-mail: zhiltsoff.nik@yandex.ru)

Коровкина Алина Игоревна, к.э.н., доцент

(e-mail: alinko199@mail.ru)

Воронежский государственный технический университет,
г.Воронеж, Россия

В данной статье рассмотрены проблемы и перспективы внедрения систем энергетического менеджмента (СЭМ) в малых городах. Проанализирована ключевая роль возобновляемых источников энергии, в частности ветровой энергетики, в оптимизации энергопотребления, снижении эксплуатационных расходов и улучшении экологической обстановки. На основе обзора литературных источников систематизированы преимущества СЭМ: экономия затрат, повышение надежности энергоснабжения, экологическая устойчивость и модернизация инфраструктуры. Отдельное внимание уделено экологическим и социальным аспектам использования ветроэнергетических установок. Представлены результаты компьютерного моделирования гибридной энергетической системы с использованием ветрогенерации и микрогазовой турбины в среде MATLAB/Simulink, подтвердившие возможность стабильного обеспечения заданной нагрузки. Сделан вывод о целесообразности внедрения СЭМ для повышения качества жизни и энергетической независимости малых городов.

Ключевые слова: система энергетического менеджмента, малые города, возобновляемые источники энергии, ветровая энергетика, устойчивое развитие, моделирование, MATLAB/Simulink, когенерация.

Повышение качества жизни в малых городах напрямую связано с разработкой и внедрением эффективных систем энергетического менеджмента (СЭМ)

В условиях смещения глобального внимания в сторону устойчивого развития и ответственного использования ресурсов СЭМ становятся ключевым инструментом для оптимизации энергопотребления, снижения воздействия на окружающую среду и сокращения эксплуатационных расходов. Параллельно в строительном секторе наблюдается рост применения энергоэффективных и экологически чистых технологий, что усиливает тенденцию к устойчивому развитию городской инфраструктуры.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), включая солнечную, ветровую и геотермальную энергию, биомассу, играют решающую роль в трансформации глобальной энергетической системы. В настоящее время ВИЭ обеспечивают примерно 14% мирового спроса на энергию, и ожидается, что их доля значительно вырастет в ближайшие десятилетия [2,8,9].

Цель и задачи исследования

Целью работы является анализ эффективности интеграции систем энергетического менеджмента на основе возобновляемых источников энергии для устойчивого развития малых городов.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать преимущества внедрения СЭМ для малых городских сообществ.
2. Оценить потенциал ветровой энергетики как драйвера энергетической трансформации.
3. Проанализировать экологические и социальные вызовы, связанные с использованием ветроэнергетических установок.
4. Разработать компьютерную модель гибридной энергосистемы и провести оценку ее эффективности.

Обзор литературы

Оптимальное использование энергетических ресурсов является приоритетом на национальном и глобальном уровнях. Парижское соглашение стимулирует внедрение чистых технологий и передовых стратегий управления энергопотреблением [3,10,13].

Ряд исследований демонстрирует эффективность СЭМ в интеграции возобновляемых ресурсов. Например, системы, сочетающие фотоэлектрические панели и накопители энергии, способны обеспечить значительную часть местного спроса на электроэнергию [4]. Другие исследования предлагают иерархические структуры СЭМ, которые оптимизируют работу бытовой техники и накопление энергии на основе стохастических моделей [5,11,12].

Преимущества эффективной СЭМ в малых городах

На основе анализа литературных источников можно выделить следующие ключевые преимущества:

1. **Экономия затрат.** Снижение потребления энергии и расходов на коммунальные услуги.
2. **Экологическая устойчивость.** Снижение выбросов парниковых газов и загрязнения воздуха.
3. **Надежное энергоснабжение.** Сокращение количества отключений и стабилизация уровня напряжения.
4. **Повышенная безопасность.** Интеллектуальное управление энергосетью для предотвращения аварий.
5. **Улучшение инфраструктуры.** Модернизация распределительных сетей и общественных объектов.

Ветровая энергия: потенциал и ограничения

Ветровая энергия обеспечивает чистую и возобновляемую электроэнергию, способствуя энергетической независимости малых городов. Однако ее использование сопряжено с проблемами прерывистости генерации, шумового и визуального воздействия [6,7,9].

В качестве решений предлагаются оптимизация конструкции лопастей, технологии шумоподавления и применение инструментов визуального моделирования для оценки ландшафтного воздействия.

Материалы и методы исследования

Для проверки эффективности СЭМ была разработана компьютерная модель в среде MATLAB/Simulink. Модель включала следующие компоненты:

- источник переменной энергии – ветрогенератор;
- микрогазовую турбину, компенсирующую остаточную нагрузку;
- систему автоматического управления подачей топлива;
- котел с рекуперацией тепла для утилизации выхлопных газов турбины и подачи тепловой энергии (схема когенерации).

Моделирование проводилось в течение 2 часов при постоянном спросе на электроэнергию 200 кВт (здесь и далее в модели следует использовать кВт, а не МВт, для соответствия масштабу малого города – прим. оформления).

В качестве входных данных использовались реальные данные о скорости ветра.

Результаты и обсуждение

Результаты моделирования подтвердили работоспособность системы. Вклад ветрогенерации колебался от 32 до 84 кВт, что требовало динамической компенсации мощностью микрогазовой турбины от 0 до approximately 180 кВт. Система продемонстрировала способность эффективно удовлетворять полную нагрузку, сохраняя стабильность энергоснабжения.

Избыточное тепло от турбины передавалось в котельную систему, что подтвердило целесообразность использования когенерации для повышения общего КПД системы.

Заключение

Внедрение систем энергетического менеджмента в малых городах предлагает ряд преимуществ: снижение затрат на энергию, улучшение экологии и повышение надежности энергоснабжения, что способствует устойчивому развитию и повышению качества жизни населения.

Представленная модель гибридной энергосистемы на основе ветрогенерации и микрогазовой турбины с когенерацией подтвердила свою эффективность для стабильного обеспечения энергетических потребностей.

Несмотря на ограничения, связанные с непостоянством ветровой генерации, ее использование в сочетании с системой энергетического менеджмента предоставляет большие шансы для достижения энергетической независимости малых городов.

Список литературы

1. Global Energy Review 2023 // International Energy Agency. – 2023.
2. Парижское соглашение [Электронный ресурс].
3. Smith J., Brown K. Integration of PV and storage systems in microgrids // Energy Reports. – 2021. – Vol. 7. – P. 1234–1245.
4. Li X., Wang Y. A hierarchical energy management system for residential communities // Applied Energy. – 2022. – Vol. 306. – P. 118–135.

5. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергетический менеджмент и энергосбережение. — М.: Энергоатомиздат.
6. Самсонов В.С., Виноградова А.А. Устойчивое развитие городов: энергетические аспекты. — М.: Издательство АСВ
7. Орлов А.Ю., Сидорович В.А. Возобновляемая энергетика в современном мире. — М.: Издательский дом "Дело" РАНХиГС
8. Пути повышения эффективности работы возобновляемых источников энергии / А. И. Коровкина, А. И. Калинина, А. А. Тагайчинова, А. Д. Голядкина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. — 2021. — № 1(22). — С. 10-15. — EDN NZDCBC.
9. Казарцева, А. И. Формирование и развитие инновационной экосистемы на основе корпоративной модели открытых инноваций / А. И. Казарцева, Н. В. Сироткина // Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления : материалы XIV международной научно-практической конференции, Курск, 01–02 июня 2019 года. Том Выпуск 3. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. — С. 189-191. — EDN CZMXBF.
10. Казарцева, А. И. Формирование и развитие инновационной экосистемы на основе корпоративной модели открытых инноваций : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т.ч.: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность; стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Казарцева Алина Игоревна, 2020. — 237 с. — EDN GRZIVG.
11. Challenges and opportunities of human potential in the conditions of technological breakthrough / N. Sirotkina, V. Mishchenko, A. Kazartseva [et al.] // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020 : 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, Granada, 10–11 апреля 2019 года. — Granada, 2019. — P. 7910-7918. — EDN JMFUQN.
12. Prospects for the development and use of innovative technologies in the housing and communal services sector / A. I. Korumkina, A. I. Kolosov, I. I. Pereslavl'tseva, K. A. Sklyarov // E3S Web of Conferences : 22, Voronezh, 08–10 декабря 2020 года. — Voronezh, 2021. — P. 06003. — DOI 10.1051/e3sconf/202124406003. — EDN GIJZHZ.
13. Арчакова, С. Ю. Учет рисков в деятельности строительных организаций / С. Ю. Арчакова, А. С. Шувалова, А. И. Казарцева // Строительство и недвижимость. — 2018. — № 2-1(3). — С. 40-46. — EDN YTXZIL.

Zhiltsov Nikita Alekseevich, student

(e-mail: zhiltsoff.nik@yandex.ru)

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Korumkina Alina Igorevna, Cand.Econ.Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

ENERGY MANAGEMENT AND RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A FACTOR IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SMALL CITIES

Abstract. This article examines the challenges and prospects for implementing energy management systems (EMS) in small towns. It analyzes the key role of renewable energy sources, particularly wind power, in optimizing energy consumption, reducing operating costs, and improving the environmental situation. A review of the literature summarizes the advantages of EMS, including cost savings, increased energy supply reliability, environmental sustainability, and infrastructure modernization. Special attention is paid to the environmental and social aspects of wind turbine use.

The results of computer modeling of a hybrid energy system using wind power and a microgas turbine in MATLAB/Simulink are presented, confirming the feasibility of consistently meeting the specified load. A conclusion is drawn regarding the feasibility of implementing EMS to improve the quality of life and energy independence of small towns.

Keywords: energy management system, small towns, renewable energy sources, wind energy, sustainable development, modeling, MATLAB/Simulink, cogeneration.

УДК 621.923.01

DOI 10.47581/2025.TM-14/ZVEROVSHNIKOV-KAZIN-01

ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВНЫМИ СРЕДАМИ

Зверовщиков Владимир Зиновьевич, д.т.н., профессор
(tmspgu@mail.ru)

Миронычев Николай Алексеевич, к.т.н., доцент
(minial@bk.ru)

Казин Антон Александрович, студент
(kazino.anton@mail.ru)

Пензенский государственный университет, г.Пенза, Россия

Приведены схемы виброшпиндельной и турбообразивной обработки винтовых поверхностей деталей. Предложен новый способ обработки деталей сложного профиля шлифовальным материалом из свободных абразивных частиц, которые трансформируются в эластичный режущий инструмент в рабочей камере внешним давлением. Представлена конструктивная схема камерного устройства для реализации разработанной технологии и создания условий низкотемпературного резания. Дана оценка эффективности процесса по величине удаляемого припуска и достигаемой шероховатости поверхности.

Ключевые слова: абразивные частицы, способ обработки, винтовые поверхности, камерное устройство, эластичная оболочка, шероховатость поверхности.

Формообразование деталей со сложным профилем рабочей поверхности, таких как червяки, шнеки, винты выполняют обработкой резанием на станках с числовым программным управлением или используют аддитивные технологии. При этом технология финишной обработки подобных поверхностей, учитывая их большое разнообразие, является трудоемкой и не всегда гарантирует достижение заданных конструктором качественных показателей на отдельных операциях.

Применение шлифования требует создания инструментов с режущим профилем, который должен точно отображать форму обрабатываемой поверхности. Однако, обработка такими инструментами поверхностей с переменной кривизной не позволяет обеспечить стабильные показатели качества, что связано с изменением кинематических углов резания, так как скорости резания и контактные давления инструмента на деталь на различных участках профиля будут

отличаться. Поэтому для стабилизации показателей качества и формирования однородной поверхности по криволинейному профилю обычно используют трудоемкие и малопроизводительные доводочные операции, которые нередко выполняются с использованием ручного труда.

Альтернативными вариантами процессу шлифования профильными кругами могут быть технологии отделочной обработки свободными абразивными средами, в качестве которых используют шлифзерно, шлифпорошок и абразивные гранулы различной формы на керамических или полимерных связках.

Практическое применение получила технология вибрационной шпиндельной обработки винтовых поверхностей (рис.1).

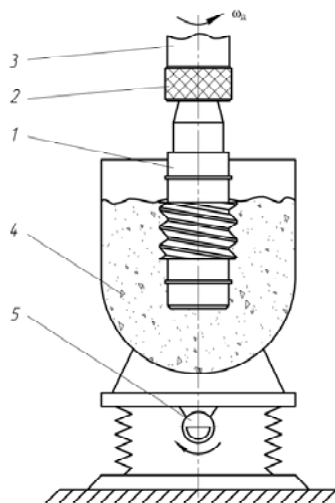


Рисунок 1 – Схема виброспиндельной обработки винтовой поверхности детали

Обрабатываемый червяк 1 закрепляют при помощи быстросменного патрона 2 на шпинделе 3 и погружают в вибрационную камеру 4, заполненную свободной абразивной средой (шлифзерном). В качестве источника вибраций служит инерционный дебалансный вибратор 5, смонтированный на основании рабочей камеры, опирающейся на упругие элементы (пружины) привода вибратора.

При вращении червяка с угловой скоростью ω_d вибрирующая рабочая среда перемещается по винтовым канавкам вниз или вверх в зависимости от направления вращения и винтовой нарезки червяка. Шлифовальный материал подвергается воздействию направленных вибраций с частотой $f=25...30$ Гц и амплитудой $A=1,5...2$ мм. Обычно используют крупные абразивные зерна электрокорунда белого или нормального с размерами частиц $1...1,5$ мм.

Высокие скорости движения обрабатываемых поверхностей деталей относительно абразивных частиц, создаваемые вибрациями рабочей камеры и вращением шпинделя с частотой $n=1000...1500$ мин⁻¹, приводят к интенсивному съему

металла в виде мельчайших частиц и окислов и нивелированию микронеровностей винтовой поверхности червяка. Производительность шпиндельной виброотделки в 10...15 раз превышает обычный процесс объемной обработки [1]. Для интенсификации обработки используют водный раствор кальцинированной соды. Для червяков из стали 40 и 40Х, имеющих твердость поверхности 48...55HRC, шероховатость винтовой поверхности снижается с $R_a=2,5...1,25$ мкм до $R_a=1,25...0,9$ мкм в течение 30...25 минут обработки.

Широкое применение вибрационной обработки винтовых поверхностей ограничивают: относительно высокая длительность обработки (до 30 мин); неравномерный съем металла и неоднородная шероховатость поверхности по глубине профиля; высокий уровень шума, создаваемый оборудованием, что затрудняет его использование на технологических линиях в цехе.

Во ВНИИАШе (г. Санкт-Петербург) разработан процесс отделочной обработки деталей в псевдооживленном абразиве [2], который получил название турбоабразивного полирования.

Псевдооживленную или «кипящую» массу из абразивных частиц 1 (рис.2) создают в камере 2 путем подачи сжатого воздуха через газораспределительную пористую керамическую решетку 3, образующую дно камеры. Поток сжатого воздуха переводит абразивные частицы во взвешенное состояние и абразивная масса приобретает свойства, характерные для жидкости, т.е. становится вязкой и текучей.

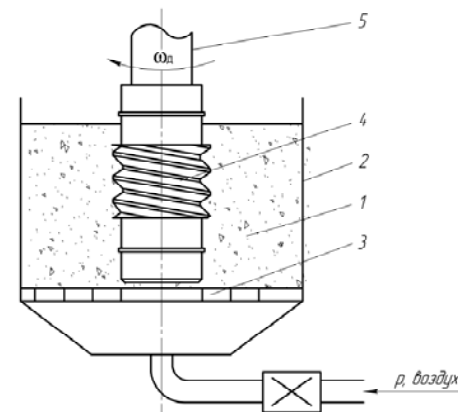


Рисунок 2 – Схема турбоабразивной обработки винтовой поверхности червяка.

Обрабатываемую деталь (червяк) 4 устанавливают жестко на оправку 5 и сообщают ей от шпинделя станка вращение с угловой скоростью ω_d , что приводит к контактному взаимодействию абразивных зерен с поверхностями детали и съему металла.

В качестве шлифовального материала используют электрокорунд нормальный марки 14А или белый марки 24А, а также легированные электрокорунды с

зернистостью F60, F40, F36, F22, F20 и F16, т.е. с размерами абразивных зерен от 0,25 до 1,25 мм.

Основным фактором, определяющим интенсивность съема металла, является скорость движения детали, которая варьируется от 1,5...5 м/с [3] до 10...30 м/с [2]. Поверхность после обработки по турбоабразивной технологии имеет выраженный кратерообразный рельеф с микроцарапинами, который образует микрогеометрию благоприятную для удержания смазки, что является важным для соединений, работающих при трении.

Съем металла невелик, что объясняется малой величиной контактного давления частиц шлифовального материала на обрабатываемые поверхности. Поэтому применение этого способа обработки имеет существенные преимущества при финишной обработке деталей с тонкостенными легкодеформируемыми элементами профиля, а для отделочной обработки винтовых поверхностей со значительной глубиной профиля и особенно закаленных он получил ограниченное применение лишь для зачистки поверхности, удаления окалины и заусенцев.

В Пензенском государственном университете разработан новый способ [4], при котором обработку винтовых поверхностей производят в камере с эластичными стенками, заполненной свободным шлифовальным материалом, а контактное давление абразивных частиц на обрабатываемые поверхности деталей создают внешним давлением жидкости или газа на эластичные стенки камеры.

Обработку деталей с винтовыми поверхностями производят следующим образом. Деталь 1, например, червяк редуктора (рис.3) устанавливают на шпиндель 2 и помещают в рабочую камеру, снабженную цилиндрической эластичной (резиновой или резинотканевой) оболочкой 3. Шпиндель 2 смонтирован с возможностью вращения в направляющей крышки 4 корпуса 5. Рабочая камера и корпус выполнены с общим дном, на фланце которого и верхнем фланце корпуса герметично закреплены стенки эластичной оболочки 3. В рабочую камеру засыпают шлифовальный материал 6 в виде свободных абразивных частиц. Для отвода тепла, возникающего при абразивном резании в замкнутом объеме, предусмотрен подвод в рабочую камеру технологической жидкости (ТЖ) насосом 7 из бака 8 через трубопроводы 9. Эластичную оболочку 3 рабочей камеры деформируют внешним давлением, которое создают подачей сжатого воздуха или жидкости в камеру давления 10, образованную стенками корпуса 5 и эластичной оболочки 3.

Обрабатываемой детали 1, погруженной в шлифовальный материал 6, находящийся в рабочей камере, сообщают вращение от шпинделя 2 с угловой скоростью ω_d и одновременно обеспечивают подачу ТЖ в рабочую камеру. Для достижения необходимой величины контактного давления абразивных частиц на винтовые поверхности детали в камеру давления 10 подают сжатый воздух или жидкость. При этом синхронно с созданием внешнего давления на эластичную оболочку 3 прекращают подачу ТЖ в рабочую камеру, чтобы обеспечить эффективное уплотнение массы шлифовального материала за счет переориентации абразивных частиц и уменьшения пространства, занимаемого порами.

Избыток ТЖ при деформации эластичной оболочки стекает через фильтр 11 в бак 8, при этом магнитный сепаратор 12 обеспечивает очистку ТЖ от металлических примесей (мелкой стружки и заусенцев), возникающих при резании.

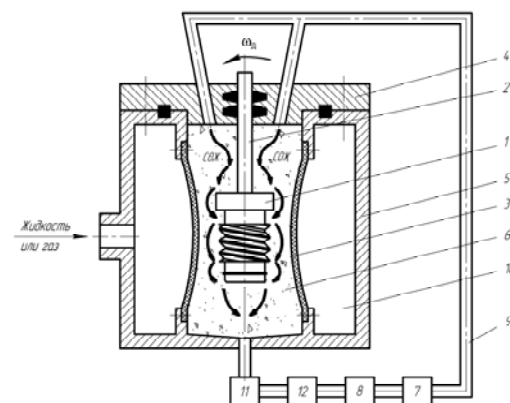


Рисунок 3 – Схема шпиндельной обработки винтовых поверхностей детали в камере с эластичными стенками при статическом уплотнении свободных абразивных частиц внешним давлением.

При разуплотнении шлифовального материала после прекращения подачи сжатого воздуха в камеру 10 возобновляется циркуляция ТЖ через рабочую камеру, что создает условия низкотемпературного резания в зоне контакта инструмента, состоящего из плотных слоев абразивных частиц, с обрабатываемыми поверхностями и охлаждает деталь. Циркуляция жидкости через рабочую камеру кроме охлаждения интенсифицирует обновление абразивных частиц в зоне контакта с винтовой поверхностью, что позволяет стабилизировать процесс резания.

В конце цикла обработку производят при отсутствии избыточного давления в камере 10 для ускорения нивелирования винтовой поверхности после удаления технологического припуска аналогично режиму «выхаживания» при шлифовании абразивными кругами.

Частоту циклов уплотнения-разуплотнения абразивной массы в рабочей камере с синхронным прекращением подачи ТЖ в камеру и длительность режима «выхаживания» без уплотнения шлифовального материала в конце обработки настраивают с помощью реле времени, которое обеспечивает также автоматическое отключение привода вращения шпинделя после завершения обработки.

В предлагаемом способе обработки винтовых поверхностей шлифовальный материал из свободных абразивных частиц трансформируется в режущий инструмент при деформации эластичной оболочки рабочей камеры внешним давлением. При этом достигается точное копирование абразивными частицами обрабатываемого винтового профиля детали.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия абразивных частиц реологического инструмента с поверхностями сложного профиля и рекомендации по выбору соотношения диаметральных параметров эластичной оболочки и обрабатываемых деталей приведены в работе [5].

Интенсивность съема металла определяется главным образом внешним давлением на шлифовальный материал, а величина припуска, удаляемого с винтовой поверхности детали, составляет на эффективных режимах 15...20 мкм. Шероховатость поверхности на закаленных деталях устойчиво составляет $R_a=0,25...0,15$ мкм, что свидетельствует о перспективности промышленного применения разработанного способа отделочной обработки.

Список литературы

1. Бабичев А.П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей / А.П. Бабичев, Л.К. Зеленцов, Ю.М. Самодумский. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1981. – 160с.
2. Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей – новый способ финишной обработки / Кремень З.И., Масарский М.Л. // Вестник машиностроения. – 1977. – №28. – С.68-70.
3. Масарский М.Л. Влияние некоторых факторов на параметры турбоабразивной обработки деталей / М.Л. Масарский / В кн. «Прогрессивные методы финишной обработки изделий сложной формы». – Саратов – Издательство Саратовского университета, 1978. – С.21-26.
4. А.С. № 948637 СССР, МКИ В24В 31/08. Способ обработки деталей в среде свободного абразива / А.Н. Мартынов, П.Я. Ящерицын, В.З. Зверовщиков, Н.А. Миронычев. Оpub. 07.08.82, Бюл.№29.
5. Скрыбин В.А. Контактное взаимодействие уплотненного шлифовального материала с поверхностью детали при финишной абразивной обработке / В.А. Скрыбин, А.Г. Схиртладзе, В.З. Зверовщиков // Ежемесячный производственный научно-технический журнал «Технология металлов». – 2025. – №11, С.37-46.

Zverovshchikov Vladimir Zinovievich, Doctor of Technical Sciences, Professor
Mironychev Nikolay Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 Kazin Anton Alexandrovich, student
 Penza State University, Penza, Russia

FINISHING TREATMENT OF SCREW SURFACES OF PARTS WITH FREE ABRASIVE MEDIA

Schemes of vibration-spindle and turbo-shaped machining of screw surfaces of parts are presented. A new method of processing parts of a complex profile with a grinding material made of free abrasive particles, which are transformed into an elastic cutting tool in a working chamber by external pressure, is proposed. A design diagram of a chamber device for implementing the developed technology and creating conditions for low-temperature cutting is presented. The efficiency of the process is estimated by the amount of the removed allowance and the achieved surface roughness.

Keywords: abrasive particles, processing method, screw surfaces, chamber device, elastic shell, surface roughness.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА «АЗБУКА МОРЗЕ»

Змейкина Анастасия Андреевна, студент

(e-mail: ZmeykinaAA@stud.kai.ru)

Сунгатов Ильназ Зуфарович, к.т.н., доцент

(e-mail: ilnazex@mail.ru)

Казанский национальный исследовательский технический университет
 им. А.Н. Туполева-КАИ, Набережные Челны, Россия

В статье рассматривается разработка экспертной системы, реализующей алгоритм кодирования и декодирования текстовых сообщений с использованием азбуки Морзе — одного из исторически значимых методов символического кодирования. Разработанная система представляет собой интерактивное веб-приложение, созданное на базе HTML, CSS и JavaScript, и предоставляет пользователю возможность преобразования текста в код Морзе и обратно, а также визуального и звукового воспроизведения закодированных сообщений. Проект ориентирован на образовательные цели и способствует формированию понимания основ телеграфной связи и криптографии.

Ключевые слова: азбука Морзе, экспертная система, кодирование, декодирование, веб-приложение, телеграф, звуковое воспроизведение.

Современные средства связи, несмотря на технологическое развитие, по-прежнему опираются на фундаментальные принципы кодирования информации. Одним из таких методов является азбука Морзе, разработанная Сэмюэлем Морзе в 1838 году. Этот способ кодирования символов с использованием комбинаций коротких (точки) и длинных (тире) сигналов до сих пор применяется в морской и авиационной навигации, а также в радиолюбительской практике. Изучение азбуки Морзе позволяет не только познакомиться с историей связи, но и понять базовые принципы дискретной передачи данных [1].

Разработанная экспертная система «Азбука Морзе» реализована в виде веб-приложения, обеспечивающего интерактивное взаимодействие пользователя с процессом кодирования и декодирования сообщений. Система включает функции преобразования текста в последовательности точек и тире, визуализации кода, а также его звукового воспроизведения с регулируемой скоростью. Интерфейс системы построен с использованием HTML и CSS, а логика работы реализована на JavaScript [2].

Основные модули системы включают:

Интерфейс пользователя (HTML/CSS): формы для ввода текста и управления параметрами скорости воспроизведения; кнопки для выполнения операций: «Закодировать», «Декодировать», «Воспроизвести», «Очистить»; визуальные элементы для отображения результатов и таблицы символов азбуки Морзе.

Логика обработки данных (JavaScript): реализация таблицы соответствия символов и кодов Морзе для русского алфавита, цифр и знаков препинания; функции кодирования и декодирования текста; алгоритм звукового воспроиз-

ведения с использованием Web Audio API; обработка пользовательского ввода и визуализация промежуточных результатов.

Модуль визуализации и обратной связи: отображение таблицы символов с возможностью интерактивного выбора; подсветка и форматирование вывода кода Морзе; отображение временных параметров сигналов (длительность точки, тире, пауз).

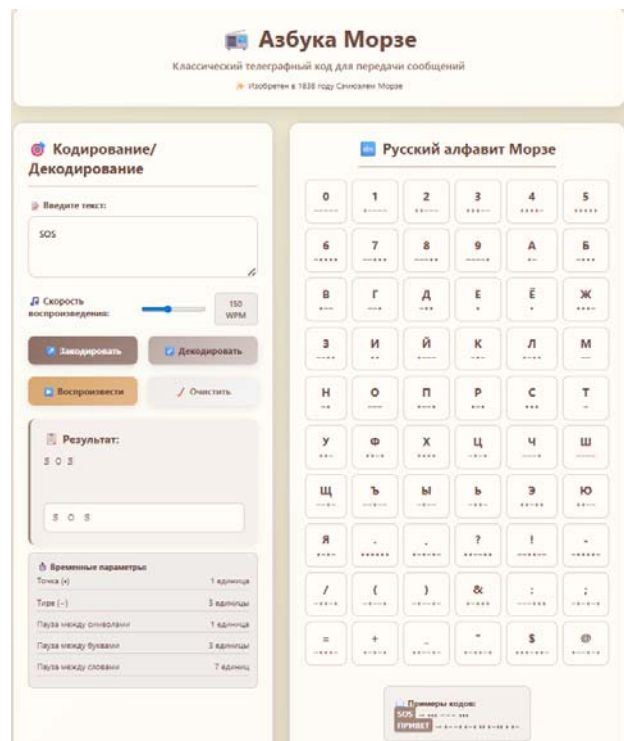


Рисунок 1 – Экспертная система «Азбука Морзе»

Принцип работы системы основан на последовательном преобразовании каждого символа входного текста в соответствующий код Морзе согласно предустановленной таблице. Для кодирования используется функция, которая заменяет каждый символ на последовательность точек и тире, а пробелы преобразуются в символы паузы. Обратное преобразование выполняется путем сопоставления кодовых последовательностей с символами с использованием обратного словаря.

Формулы для определения длительности сигналов: Длительность точки: 1 единица; Длительность тире: 3 единицы; Пауза между символами: 1 единица; Пауза между буквами: 3 единицы; Пауза между словами: 7 единиц.

Система также включает функцию звукового воспроизведения, которая генерирует тональные сигналы с заданной частотой (800 Гц) и длительностью, пропорциональной выбранной пользователем скорости (в единицах WPM — слов в минуту).



Рисунок 2 – Фрагмент кода

Результаты тестирования показали, что экспертная система корректно обрабатывает тексты на русском языке, включая специальные символы и цифры, а также обеспечивает точное воспроизведение звуковых сигналов с регулируемой скоростью. Интерфейс системы адаптирован для использования на различных устройствах, включая мобильные телефоны и планшеты.

Таким образом, веб-приложение «Азбука Морзе» представляет собой эффективный инструмент для изучения основ телеграфной связи и может быть использовано в учебных курсах по истории связи, криптографии и основам информационной безопасности.

Список литературы

1. Иванов В.А. История связи и телекоммуникаций: учебное пособие. — М.: Техносфера, 2020. — 256 с.
2. Петров С.К. Веб-технологии в образовании: учебно-методическое пособие. — СПб.: Лань, 2021. — 192 с.
3. Морзе С. Принципы телеграфной связи. — 1844. — 48 с.

Zmeykina Anastasya Andreevna, student

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Naberezhnye Chelny, Russia

Sungatov Ilnaz Zufarovich, Cand.Tech.Sci., associate professor

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Naberezhnye Chelny, Russia

CAESAR CIPHER «MORSE CODE»

Abstract. The article presents the development of an expert system that implements the Morse code encoding and decoding algorithm — one of the historically significant methods of symbolic encod-

ing. The system is designed as an interactive web application built on HTML, CSS, and JavaScript, providing users with the ability to convert text into Morse code and vice versa, as well as visually and audibly reproduce encoded messages. The project is aimed at educational purposes and helps to develop an understanding of the basics of telegraph communication and cryptography.

Keywords: Morse code, expert system, encoding, decoding, web application, telegraph, sound reproduction.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 кВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Зубарева Елена Олеговна, магистр
(andrusha1702@mail.ru)

Филатов Евгений Алексеевич, к.т.н.
(filatov_e@gmail.com)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В статье рассматривается важность комплексного исследования режимов работы распределительных сетей 10 кВ как основы для обеспечения качества электроэнергии и минимизации технических потерь. Анализируются ключевые проблемы и предлагаются современные методы их диагностики и оптимизации с применением цифровых технологий и интеллектуальных решений.

Ключевые слова: распределительные сети 10 кВ, качество электроэнергии, технические потери, режимы работы, компенсация реактивной мощности, реконфигурация сети.

Исследование режимов работы распределительных сетей 10 кВ для обеспечения качества электроснабжения потребителей и снижения потерь в энергосистеме

Распределительные сети 10 кВ являются конечным и критически важным звеном в цепочке доставки электроэнергии от генерации до потребителя. Их режимы работы напрямую определяют два ключевых показателя: качество электроснабжения конечных пользователей и объем технических потерь в энергосистеме. Исследование и оптимизация этих режимов — не техническая задача, а экономическая и технологическая необходимость.

Основные параметры качества — стабильность уровня напряжения и симметрии фаз — в сетях 10 кВ постоянно нарушаются из-за:

1. Колебаний нагрузки: Пиковые нагрузки промышленных предприятий или массовое включение бытовых приборов вечером вызывают просадки напряжения.

2. Неравномерного распределения нагрузки по фазам (несимметрии) в низковольтных сетях 0,4 кВ, которая «проецируется» на уровень 10 кВ, увеличивая потери и нагрев оборудования.

3. Влияния нелинейных нагрузок (частотных приводов, дуговых печей), генерирующих высшие гармоники, ухудшающих работу оборудования.

Потери в сетях 10 кВ составляют значительную долю общих потерь. Их структура формируется под влиянием режима:

- Нагрузочные потери (квадратично зависящие от тока): определяются уровнем и характером нагрузки.
- Потери холостого хода в трансформаторах.
- Условно-постоянные потери, связанные с утечками тока и коронными разрядами (зависят от состояния изоляции и уровня напряжения).

Для решения этих задач необходимо системное исследование, включающее:

1. Сбор и анализ режимных данных: Внедрение интеллектуальных систем учета и устройств РQM на ключевых узлах сети. Это позволяет построить точные графики нагрузки и выявить проблемные зоны.

2. Расчет и оптимизация потокораспределения: Создание цифровой модели сети для анализа реальных уровней напряжения, загрузки линий и трансформаторов. На ее основе проводятся расчеты коротких замыканий и варианты расчетов.

3. Реализация мер по оптимизации:

- Реконфигурация схемы сети: Переключения для выравнивания загрузки фидеров и снижения потерь.

- Компенсация реактивной мощности: Установка УКРМ (конденсаторных батарей) на стороне 10 кВ для снижения реактивных токов, разгрузки линий и повышения уровня напряжения. Современные установки позволяют осуществлять автоматическое регулирование.

- Регулирование напряжения: Использование трансформаторов с РПН (регулированием под нагрузкой) на питающих центрах или линейных регуляторов напряжения для поддержания уровня в допустимых пределах на удаленных участках сети.

- Балансировка фаз: Плановая работа по выравниванию нагрузок фаз на уровне 0,4 кВ, что положительно скажется и на режиме 10 кВ.

Исследование режимов сетей 10 кВ перестает быть периодической кампанией и становится непрерывным процессом на основе данных в реальном времени. Интеграция цифровых средств мониторинга, моделирования и автоматического управления позволяет перейти от реагирования на проблемы к их прогнозированию и предотвращению.

Результат — стабильное напряжение у потребителей, значительное снижение коммерческих и технических потерь, продление срока службы оборудования и повышение общей эффективности распределительного сетевого комплекса.

Список литературы

1. Бутузов В.А. Накопители энергии: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2021.

2. Olabi A.G. Battery energy storage systems and main applications. — Energy, Vol. 235, 2021.

3. IEEE Std 2030.2. Guide for the Interoperability of Energy Storage Systems Integrated with the Electric Power Infrastructure.

4. Дьяков А.Ф. Системный подход к внедрению накопителей электроэнергии в ЭЭС России. — Энергетик, №5, 2019.

5. Mongird K. et al. Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment. — Pacific Northwest National Laboratory, 2020.

Zubareva E.O., Master 's degree

Filatov Evgeny Alekseevich, Candidate of Technical Sciences

Southwest State University, Kursk, Russia

STUDYING 10 kV DISTRIBUTION NETWORK OPERATIONAL MODES TO ENSURE POWER SUPPLY QUALITY TO CONSUMERS AND REDUCING LOSSES IN THE POWER SYSTEM

Abstract: This article examines the importance of a comprehensive study of 10 kV distribution network operating modes as a basis for ensuring power quality and minimizing technical losses. Key issues are analyzed and modern methods for their diagnostics and optimization are proposed using digital technologies and intelligent solutions.

Keywords: 10 kV distribution networks, power quality, technical losses, operating modes, reactive power compensation, network reconfiguration.

АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОДАТЧИКОВ МНОГОКАНАЛЬНОГО БЛОКА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОТОЧНЫХ СТАНКОВ

*Игнатьев Александр Анатольевич, д.т.н., профессор
(e-mail: atp@sstu.ru)*

*Добряков Владимир Анатольевич, к.т.н., доцент
Курчин Егор Алексеевич, аспирант*

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г.Саратов, Россия*

Рассматривается методика, предназначенная для определения метрологических характеристик частотного датчика температуры и использования его для автоматизации измерений многоканального блока контроля в качестве нестандартизованного средства измерений.

Ключевые слова: частотный датчик температуры, метрологические характеристики, блок термоконтроля.

Поверка средства измерений (СИ) – установление пригодности средства измерений к применению на основании контроля соответствия метрологических характеристик требованиям, установленным в Государственных стандартах и в технической документации производителя [1, 2]. Поверке подлежат только те средства измерений, которые внесены в Госреестр СИ РФ на основании положительных результатов Государственных приемочных испытаний. Поверка осуществляется НИИ, государственными центрами стандартизации и метрологии, поверочными лабораториями на предприятиях, аккредитованными на право поверки. Поверка проводится по методике, изложенной в Государственном

стандарте, либо разработанной специально для этого средства измерений и утвержденной НИИ или ЦСМ в процессе проведения Государственных приемочных испытаний.

В том случае, если средство измерений не внесено в Госреестр СИ РФ, возможна его калибровка с целью определения метрологических характеристик и использование для измерения в качестве нестандартизованного СИ.

В статье рассматривается методика, предназначенная для определения метрологических характеристик частотного датчика температуры (ЧДТ), входящего в состав многоканального блока термоконтроля, применяемого для автоматизации контроля тепловых полей высокоточных станков.

ЧДТ предназначен для измерения постоянных и медленно изменяющихся температур металлических конструкций и иных объектов, установка на которые первичного преобразователя ЧДТ не вносит существенных искажений в их температурные поля.

В соответствии с назначением метрологической оценке подлежат:

- статическая функция преобразования ЧДТ в диапазоне температуры от +10 до +50°C;
- основная погрешность ЧДТ;
- дополнительная погрешность от изменения напряжения от изменения источника питания в диапазоне $220 \pm 10\%$ В;
- дополнительная погрешность от изменения температуры от изменения окружающей среды в диапазоне $20 \pm 10^\circ\text{C}$;
- время установления показаний.

Принцип действия ЧДТ основан на последовательном преобразовании изменения температуры первичного преобразователя в изменение его сопротивления и, затем, изменения сопротивления первичного преобразователя в частоту выходного сигнала вторичного преобразователя.

В качестве первичного преобразователя использован стандартный транзистор типа ГТ109. Применение этого транзистора вместо существующих стандартных терморезисторов объясняется следующими обстоятельствами:

- линейность характеристики в диапазоне температур, в котором производится оценка характеристик ЧДТ;
- высокая чувствительность к изменению температуры 2,3 мВ / °C;
- вероятность воспроизведения транзисторной структурой, указанной выше чувствительности, составляет по данным [3] 0,997.

Работа схемы датчика основана на преобразовании напряжения в частоту. Изменение температуры на 0,1°C приводит к изменению частоты на 1 Гц [4].

Конструктивно ЧДТ состоит из первичного преобразователя, состоящего из чувствительного элемента и вторичного преобразователя, схема которого выполнена на плате с размерами 40 × 60 мм. Указанные преобразователи соединены между собой кабелем длиной 0,8 ... 1,5 м.

Вторичный преобразователь соединен кабелем со схемой индикации блока термоконтроля (БТК), на который выводилась информация об измеренной тем-

пературе (рисунок). При проведении оценки метрологических характеристик в качестве схемы индикации использовался частотомер ЧЗ-33.

БТК обладает следующими **техническими характеристиками** [5]: количество термодатчиков – 4...16 шт., диапазон измеряемых температур – $+10...60^{\circ}\text{C}$, дискретность измерения – $0,1^{\circ}\text{C}$, погрешность измерений – $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Ввод информации о параметрах температурного поля объекта измерения в канал ЭВМ осуществляется через интерфейсную плату, входящую в комплект внешних устройств микроЭВМ, или интерфейс параллельного ввода информации компьютера типа IBM. Для ввода температурной информации разработана программа, согласно которой ЭВМ воспринимает массив данных в двоичных кодах, запоминает его в ячейках ОЗУ, а затем переводит в десятичные коды и распечатывает на принтере. ЭВМ считывает информацию по команде от таймера в течение цикла опроса термодатчиков, а в остальное время может производить математическую обработку поступившего массива (в том числе, расчет коэффициентов корреляции температуры в точках теплового поля и точности обработки деталей, вычисление данных для введения коррекции в управляющую программу).

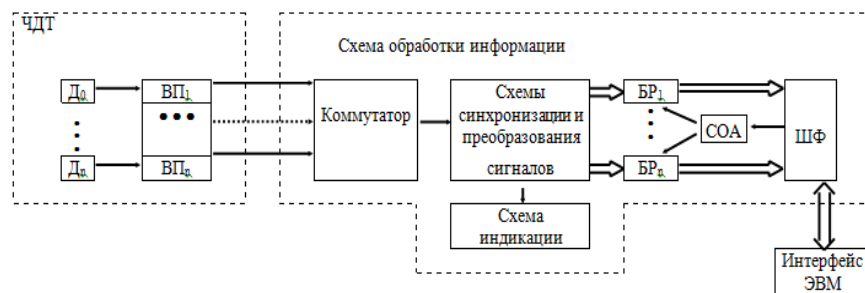


Рис. Функциональная схема БТК:

$D_0... D_n$ - частотные датчики температуры; $ВП_1... ВП_n$ - вторичные преобразователи;

$БР_1... БР_n$ - буферные регистры; СОА - схема опознавания адреса регистров; ШФ - шинные формирователи

Для проведения эксперимента по измерению температуры с помощью термодатчиков и определения основной погрешности измерения температуры ЧДТ, использовалась экспериментальная установка, которая содержала:

- термостатированный сосуд с водой высотой 120-130 мм;
- температуровыравнивающий цилиндр (ТВ-цилиндр) из алюминиевого сплава Д16Т с отверстиями для датчиков и термометра;
- стеклянный лабораторный образцовый термометр ТЛ-4-2 с вложенной шкальной пластиной предназначен для точного измерения в лабораторных условиях температуры воды (погрешность измерения в диапазоне от $+10^{\circ}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ составляет $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$), а также для поверки в термостатах термометров с

ценой деления шкалы не менее $0,1^{\circ}\text{C}$, изготавливается по ТУ 25-2021.003-88 и имеет «Сертификат об утверждении типа средств измерений» [6];

г) нагревательное устройство для поддержания заданной температуры воды в сосуде;

д) устройство для перемешивания воды в сосуде.

Определение основной погрешности преобразователя производилось в пяти точках диапазона измерения (10° , 20° , 30° , 40° , 50°) в следующей последовательности:

а) термодатчики 1, 2, 3, 4, 5 помещались в отверстия температуровыравнивающего цилиндра таким образом, чтобы обеспечивался механический контакт чувствительного элемента с ТВ-цилиндром. Для этой цели применялась любая консистентная теплопроводная смазка. В отверстие 0 ТВ-цилиндра помещался термометр ТЛ-4-2;

б) температуровыравнивающий цилиндр с установленными в нем термодатчиками и термометром помещался в термостатированный сосуд, заполненный водой до уровня не менее $3/4$ высоты ТВ-цилиндра. Для исключения попадания воды внутрь ТВ-цилиндра отверстия, в которых размещались первичные преобразователи ЧДТ, заделывались герметиком;

в) температура воды в сосуде доводилась до $+10^{\circ}\text{C}$ в соответствии с показаниями образцового термометра;

г) температура воды в сосуде стабилизировалась в течение 10 мин с целью исключения погрешности измерения за счет инерционности термометра;

д) снимались показания со всех датчиков с помощью частотомера ЧЗ-33 и заносились в протокол исследования;

е) воду в сосуде последовательно нагревали до температуры 20° , 30° , 40° , 50°C , которая в каждой указанной точке поддерживалась с помощью нагревательного устройства, показания датчиков снимались в каждой температурной точке 10 раз.

По паспортным данным дополнительная погрешность выходного напряжения при изменении напряжения сети на 10 % при максимальном токе нагрузки составляет $\pm 0,01\%$ или 1,2 мВ. Стабильность характеристик схемы ЧДТ обеспечивается при пульсации напряжения питания не более 5 мВ.

Вторичный преобразователь ЧДТ конструктивно выполнен отдельно от первичного преобразователя, поэтому тепловое поле объекта исследований не оказывает на вторичный преобразователь прямого воздействия. Диапазон температур, в которых он используется, составляет $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Экспериментальная оценка времени установления показаний ЧДТ проводилась путем измерения времени, в течение которого они стабилизируются при перемещении первичного преобразователя из одной среды в другую, которые различаются по температуре. Время установления показаний не превышает 1 мин.

Обработка результатов проводилась на основе регрессионного анализа. По результатам анализа строились кривые статических функций преобразования вида

где x_i – показания образцового термометра; y_i – показания ЧДТ; a, b – параметры.

Вычисление случайных ошибок в параметрах Δ_a, Δ_b производилось по формулам, приведенным в работе.

Общая ошибка Δ в этом случае будет равна

$$\Delta = \Delta_a + \Delta_b.$$

Указанные погрешности и статические функции преобразования ЧДТ представлены в таблице.

Таблица - Погрешности и статические функции преобразования ЧДТ

Датчик	Диапазон измерения, °C	Статическая функция преобразования, $y = a + bx$	Погрешность образцового термометра Δ_{τ} , °C	Суммарная ошибка $\Delta = \Delta_a + \Delta_b$, °C	Погрешность аттестуемого ЧДТ: $\Theta = \Delta_{\tau} + \Delta$, °C
1	от +10 до +50	$y_1 = 10,039x - 0,27$	$\pm 0,2$	0,02	0,22
2		$y_2 = 10,044x - 2,18$		0,03	0,23
3		$y_3 = 9,91x + 0,11$		0,05	0,25
4		$y_4 = 10,0x - 0,32$		0,02	0,22
5		$y_5 = 9,93x + 1,72$		0,02	0,22

Выводы

Из данных таблицы видно, что ЧДТ позволяет производить измерения с погрешностью $\Theta = \Delta_{\tau} + \Delta$, не превышающей $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ во всем диапазоне измеряемых температур. Статическая функция преобразования вида $y = a + bx$ представляет собой линейную зависимость, что позволяет производить прямое измерение температуры с учетом коэффициента преобразования, равного 10 Гц / $^{\circ}\text{C}$.

Прошедшие метрологическую аттестацию частотные датчики температуры успешно применялись в составе автоматического многоканального БТК с компьютерной обработкой сигналов для оперативного контроля тепловых полей прецизионных токарных модулей гаммы ТПАРМ, токарных станков с ЧПУ ТПК-125ВН2 с целью стабилизации процесса формообразования [7]. Аппаратурная реализация БТК позволяет с высокой точностью и достоверностью осуществлять измерение температуры элементов конструкции станков.

Кроме того, применение БТК в качестве информационно-измерительного канала контроля и диагностирования тепловых полей станков позволяет организовать корректирующий алгоритм, обеспечивающий поддержание точности обработки на станке в течение длительного времени (двух-трехсменной работы).

Список литературы

1. Фрайден Д. Современные датчики: справочник. М.: Техносфера, 2006. 592 с.
2. <https://temperatures.ru/> - Основы термометрии (информационный портал).
3. Зайцев Ю.В., Громов В.С., Григораш Т.С. Полупроводниковые термоэлектрические преобразователи. М.: Радио и связь, 1985. 120 с.
4. Алексенко Л.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых микросхем. М.: Радио и связь, 1985. 256 с.
5. Добряков В.А., Игнатьев А.А. Оценка метрологических характеристик термодатчиков многоканального блока для контроля тепловых полей технологических объектов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2023. С. 21-26.
6. <https://www.desta-lab.ru/product/93176/> – Характеристики термометра лабораторного ТЛ-4-2 производителя Термоприбор.
7. Анализ методов минимизации влияния тепловых процессов на точность прецизионной токарной обработки / А.А. Игнатьев, Е.А. Сигитов, В.А. Добряков, Е.А. Курчин // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2023. С. 43-51.

Ignatiev Alexander Anatolyevich – Dr. Sc. Tech., Professor of Department «Technical mechanics and mechatronics» Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
(e-mail: atp@sstu.ru)

Dobryakov Vladimir Anatolyevich – PhD in Technical Sciences, the associate professor «Technical mechanics and mechatronics» Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Kurchin Egor Alekseevich – graduate student, Department of Technical Mechanics and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

METROLOGICAL ANALYSIS MULTICHANNEL TEMPERATURE SENSORS FOR AUTOMATION OF THERMAL FIELD CONTROL HIGH PRECISION MACHINES

Abstract. Method is considered, intended for determination of metrological characteristics of frequency temperature sensor and its use for automation of measurements of multichannel control unit as non-standardized measuring instrument.

Keywords: frequency temperature sensor, metrological characteristics, thermal control unit.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Калуцкий Евгений Сергеевич, ведущий научный сотрудник, к.т.н.

(e-mail: kalutsky1990@mail.ru)

ФГБУ НИИПХ Росрезерва, г. Москва

В настоящей работе проведено исследование особенностей образования пор в гальванических покрытиях. Рассмотрено влияние пористости получаемых электроосажденных покрытий на их физико-механические свойства. Рассмотрено влияние толщины покрытия на его пористость.

Ключевые слова: гальванические металлические покрытия, параметры электролиза, пористость.

Пористость является общим свойством гальванических покрытий, значительно снижающим эффективность антикоррозионной защиты [1,2,3].

Порами обычно называют макро- или микроканалы, проникающие в покрытие до покрываемого изделия и нарушающие непрерывность слоя осажденного металла. При этом поры бывают самых разнообразных размеров, что весьма затрудняет их классификацию и подсчет. По размерам и форме поры разделяют на три группы: макропоры, микропоры и поры канальчатого типа. Возникновение микропористости определяется в основном структурными особенностями электроосажденных металлов, которые в свою очередь зависят от условий электролиза, влияющих на скорость пассивации растущих кристаллов.

Макропоры образуются в результате неоднородности электродной поверхности, связанной с включениями различных чужеродных частиц, на которых облегчено выделение водорода и затруднено выделение металла. Канальчатые поры появляются главным образом под действием внутренних напряжений, приводящих к растрескиванию электролитического покрытия и образованию сетки трещин. Этот вид пористости специально используется в случае нанесения износостойких хромовых покрытий для деталей, работающих в условиях, когда необходима непрерывная смазка поверхности. Для создания такой пористости разработаны специальные технологические процессы хромирования. В других случаях канальчатая пористость обычно является вредной и при увеличении внутренних напряжений до величины временного сопротивления металла будет тем больше, чем больше внутренние напряжения. В последнее время для повышения коррозионной стойкости покрытий разработаны специальные технологические процессы создания микропористости никелевых и хромовых слоев.

Во многих случаях переход от макропористости к микропористости происходит непрерывно, что весьма усложняет возможность их разграничения. Поры канальчатого типа сравнительно легко отличимы. Бывают случаи, когда в гальванических покрытиях наблюдаются все три вида пористости. Все это, как уже отмечалось, значительно затрудняет характеристику и изучению пористости.

Предварительная обработка покрываемой поверхности оказывает существенное влияние на пористость электроосажденных металлов. В работах [4,5,6] отмечается, что различные виды механической обработки по-разному влияют на пористость. Так, чем грубее была обработана покрываемая поверхность, тем больше пор образуется в гальваническом покрытии. В то же время по мере сглаживания поверхности катода и уменьшения его шероховатости пористость покрытия снижалась. Как уже отмечалось, различные включения и дефекты поверхности повышают пористость. Поры могут также образовываться в результате некачественной подготовки поверхности перед нанесением покрытия, когда, например, в результате недостаточного обезжиривания эти участки плохо смачиваются электролитом. На них прочно удерживаются пузырьки водорода, экранирующие поверхность, в результате чего выделение металла затрудняется и образуются поры.

Значительное влияние на пористость гальванических покрытий оказывает предварительная пассивация покрываемой поверхности. Предварительная пассивация стали в азотной кислоте приводит к резкому снижению количества пор в оловянных покрытиях и заметно снижает пористость никелевых покрытий. Коррозионные испытания показали более высокую стойкость предварительно пассивированных образцов.

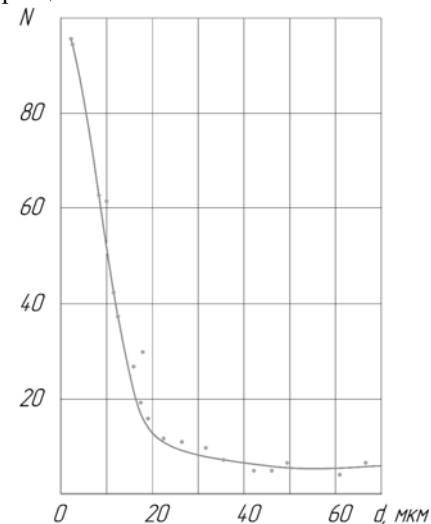


Рисунок 1 – Зависимость числа пор на 1 см^2 поверхности покрытия от толщины электроосажденного покрытия

Проведение процессов электрополирования перед нанесением гальванических покрытий снижает шероховатость покрываемой поверхности, приводит к удалению деформированного слоя и посторонних включений. Кроме того, при электрополировании происходит известная пассивация поверхности. Гальвани-

ческие покрытия, осажденные на электрополированную поверхность, отличаются большим сцеплением с покрываемым металлом и меньшей пористостью.

Электроосаждение металлов является кристаллизационным процессом, который начинается на определенных участках покрываемой поверхности. Чем тоньше слой электроосажденного металла, тем больше в нем вакансий и тем пористей покрытие. Поэтому очень тонкие металлические слои не могут защищать изделие от коррозии. Влияние толщины никелевого покрытия на его пористость показано на рисунке 1. Электроосаждение производилось в сернокислых электролитах при обычных условиях осаждения.

Как уже указывалось, процесс электроосаждения металлов – кристаллизационный процесс, и поэтому естественно, что для получения беспористого осадка малой толщины следует разработать технологические условия, при которых образуются плотные, мелкокристаллические равномерные осадки; чем больше размеры кристаллов, тем больше должны быть минимальные толщины покрытий, требуемые для получения беспористого осадка. Следует также отметить, что пористость покрытий зависит не только от размеров кристаллов, но и от плотности их упаковки.

Список литературы

1. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Структура и некоторые прочностные свойства электролитических сплавов на основе железа // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 7 (55). С. 25-29.
2. Кисель Ю.Е., Лысенко А.Н., Симохин С.П. Повышение износостойкости электрохимических покрытий // Сельский механизатор. 2016. № 10. С. 36-37.
3. Кисель Ю.Е. О взаимосвязи электрофизических свойств электрохимических покрытий с фазовыми превращениями при их термической обработке // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 2 (86). С. 13-16.
4. Блинков Б.С., Серебровский В.В., Калуцкий Е.С. Электроосаждение сплавов на основе железа // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2. С. 67-70.
5. Серебровский В.И., Калуцкий Е.С., Серебровская Л.Н. Зависимость износостойкости железных покрытий от механической обработки // В сборнике: Электроэнергетика сегодня и завтра. сборник научных статей Международной научно-технической конференции. Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. Курск, 2022. С. 165-168.
6. Серебровский В.И., Калуцкий Е.С., Серникова О.С. Зависимость прочности электроосажденного железа от структуры покрытия // Современные материалы, техника и технологии. 2022. № 6 (45). С. 71-77.
7. Серникова, О. С. Исследование износостойкости электроосажденных покрытий / О. С. Серникова, В. И. Серебровский, Е. С. Калуцкий // Современные материалы, техника и технологии. – 2022. – № 6(45). – С. 77-82. – EDN PXGXGX.
8. Серебровский, В. И. Оптимизация процесса электроосаждения покрытия железом / В. И. Серебровский, Е. С. Калуцкий, О. С. Серникова // Современные материалы, техника и технологии. – 2023. – № 2(47). – С. 108-113. – EDN WEGFVC.
9. Калуцкий, Е. С. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники электроосажденными сплавами железо-титан / Е. С. Калуцкий, В. И. Серебровский, О. С. Серникова // Современные материалы, техника и технологии. – 2023. – № 1(46). – С. 47-52. – EDN STLACI.

10. Серебровский, В. И. Зависимость прочности электроосажденного железа от структуры покрытия / В. И. Серебровский, Е. С. Калуцкий, О. С. Серникова // Современные материалы, техника и технологии. – 2022. – № 6(45). – С. 71-77. – EDN ZABSFT.

11. Серебровский, В. И. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники электроосажденными легированными железными покрытиями / В. И. Серебровский, Е. С. Калуцкий, О. С. Серникова // Современные материалы, техника и технологии. – 2023. – № 1(46). – С. 85-89. – EDN EVUTYN.

Evgeny Sergeevich Kalutsky, Senior Researcher, Ph.D.

FSBI NIIPH Rosreserva, Moscow

INVESTIGATION OF THE POROSITY OF ELECTROLYTIC COATINGS

In this work, a study of the features of pore formation in electroplated coatings is carried out. The effect of the porosity of the resulting electrodeposited coatings on their physico-mechanical properties is considered. The effect of coating thickness on its porosity is considered.

Keywords: galvanic metal coatings, electrolysis parameters, porosity.

РАЗРАБОТКА ПАНЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ (DASHBOARDS) ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИТ-ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Каримова Айзиля Рустамовна, магистр

(e-mail: ajzilya.karimova.03@mail.ru)

Назарова Ольга Борисовна, к.п.н., доцент

(e-mail: onazarova_21@mail.ru)

МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

В статье рассматривается роль панелей управления (dashboards) как эффективных инструментов мониторинга и контроля ИТ-проектов в инженерной сфере. Анализируются ключевые компоненты и принципы разработки информационных панелей, позволяющих визуализировать актуальные метрики, статус задач и риски в реальном времени.

Ключевые слова: панели управления, dashboards, мониторинг проектов, ИТ-проекты, визуализация данных, управление проектами.

В современном инженерном мире управление проектами включает не только планирование и выполнение задач, но и постоянный контроль за их статусом, рисками, ресурсами и результатами. Для эффективного принятия решений руководителям и инженерам необходимы инструменты, позволяющие быстро и наглядно получать актуальную информацию о ходе проектов. Таким инструментом являются панели управления (dashboards), или информационные панели — визуальные интерфейсы, объединяющие данные из различных систем в удобном и понятном виде.

Создание эффективных dashboards — залог прозрачности процессов, своевременного реагирования на отклонения и повышения общей эффективности процессов разработки.

Почему важны dashboards в инженерных ИТ-проектах:

- централизация данных: собирают информацию из разных систем — CAD, CAM, CAE, PDM, системы управления проектами.
- визуализация ключевых метрик: показывают состояние выполнения задач, сроки, качество, риски, загрузку ресурсов.
- быстрое принятие решений: обеспечивают оперативный доступ к актуальной информации без необходимости искать данные в разных приложениях.
- автоматизация отчетности: снижают ручной труд по подготовке отчетных документов [1, 4].

Основные компоненты эффективной панели управления:

1. Обзор статуса проектов. Информация о текущем статусе проектов, выполненных этапах, задержках и проблемных задачах.
2. Ключевые метрики (KPI). Например, количество выполненных задач, среднее время исполнения, количество ошибок или изменений.
3. Диаграммы и графики. Визуальное отображение трендов, загрузки ресурсов, прогресса по направлениям.
4. Оповещения и уведомления. Реагирование на критические ситуации, превышение сроков, возникновение рисков.
5. Детализация по сегментам. Возможность drill-down — углубление для просмотра деталей по конкретным задачам или компонентам [3].

Технологии и инструменты для разработки dashboards:

- BI-инструменты: Power BI, Tableau, QlikView и аналоги — позволяют интегрировать данные из систем и создавать интерактивные панели.
- встроенные решения: многие системы PLM, ERP или системы управления проектами имеют встроенные возможности для отчетности и визуализации.
- API и интеграции: использование API позволяет автоматически подтягивать актуальные данные из CAD/CAM/CAE-систем или систем учета задач [2].

Шаги и рекомендации для создания эффективных dashboards:

1. Определение целей и аудитории. Какую информацию нужно отображать и кому (руководство, инженеры, менеджеры).
2. Выбор ключевых метрик. Только те показатели, которые позволяют принимать решения и контролировать проект.
3. Автоматизация сбора данных. Интеграция с системами и автоматическое обновление данных.
4. Интуитивный дизайн и взаимодействие. Простота, понятность, возможность фильтрации и детализации.
5. Постоянное улучшение. Получение обратной связи и оптимизация панели по мере развития проекта.

Внедрение системы визуализации данных для мониторинга ИТ-проектов в области инженерных технологий позволяет:

- повысить прозрачность процессов и повысить управляемость проектами.
- обеспечить автоматический сбор и обработку данных, снизив нагрузку на сотрудников.
- своевременно выявлять отклонения от графиков и бюджета.

- улучшить коммуникацию между командами, предоставляя единый источник правдивой информации.
- сократить время реакции на выявленные проблемы и ускорить процессы исправления ошибок.

В конечном итоге – снизить сроки реализации проектов и повысить их качество.

Создание и использование панелей управления — важный компонент современных ИТ-проектов в области инженерных технологий. Они повышают прозрачность процессов, ускоряют принятие решений и позволяют своевременно реагировать на возникшие проблемы. В условиях растущей сложности проектов dashboards становятся неотъемлемым инструментом менеджмента и контроля, способствуя успешной реализации проектов и повышению конкурентоспособности предприятий.

Список литературы

1. Информационные системы управления производственной компанией : учебник и практикум для вузов / под редакцией Н. Н. Лычкиной. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 241 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00764-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560080>.
2. Миловзоров, О. В. Системы автоматизированного проектирования (САПР) в машиностроении. САПР и САМ системы : учебник для вузов / О. В. Миловзоров, Н. В. Грибов ; под общей редакцией О. В. Миловзорова. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 199 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19303-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/579830>.
3. Поляков, Н. А. Управление инновационными проектами : учебник и практикум для вузов / Н. А. Поляков, О. В. Мотовилов, Н. В. Лукашов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 384 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15534-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560561>.
4. Рыжко, А. Л. Информационные системы управления производственной компанией : учебник для вузов / А. Л. Рыжко, А. И. Рыбников, Н. А. Рыжко. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 354 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00623-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560486>.

Karimova Ayzilya Rustamovna, student

(e-mail: ajzilya.karimova.03@mail.ru)

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Nazarova Olga Borisovna, Cand.Ped.Sci., docent

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

DEVELOPMENT OF CONTROL DASHBOARDS FOR MONITORING IT PROJECTS IN THE FIELD OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

Abstract. This article examines the role of dashboards as effective tools for monitoring and controlling IT projects in the engineering sector. It analyzes the key components and principles of developing dashboards that enable the visualization of relevant metrics, task status, and risks in real time.

Keywords: Control panels, dashboards, project monitoring, IT projects, data visualization, project management.

УДК 004.415

**ВНЕДРЕНИЕ ПРАКТИК DEVOPS И CI/CD
ДЛЯ АППАРАТНЫХ И ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ****Кельмухамедов Тимур Медхатович,***Лукьянова Анна Александровна, доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры «организации и управления наукоемкими производствами»**E-mail: sad6084@mail.ru**Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

В ракетно-космической отрасли, где критически важны надежность, скорость разработки и частые обновления сложных гибридных систем, внедрение практик DevOps и CI/CD позволяет преодолеть разрыв между длительными циклами создания аппаратуры и необходимостью быстрой итерации программных компонентов. Это способствует ускорению вывода продуктов на рынок, повышению качества и снижению эксплуатационных рисков. Ключевыми решениями являются автоматизация, использование инфраструктуры как кода и интеграция этапов тестирования аппаратуры в единый конвейер поставки.

Ключевые слова: DevOps/CI-CD, гибридные системы, аппаратно-программные комплексы, цифровые двойники, конвейер поставки.

Современные сложные технические продукты, такие как системы интернета вещей, медицинские устройства и решения для интеллектуального производства, характеризуются наличием гибридных систем, в которых осуществляется тесная интеграция аппаратных и программных компонентов. В условиях высокой конкуренции скорость вывода продукта на рынок и его дальнейших обновлений становится ключевым фактором успеха. Возникает существенное противоречие между итеративным, высокоавтоматизированным подходом DevOps и традиционно более длительными, водопадными циклами разработки аппаратного обеспечения. Научная проблема заключается в необходимости разработки и адаптации методов, инструментов и культурных принципов DevOps для эффективного управления жизненным циклом таких гибридных систем [1].

Традиционный подход предполагает разделение разработки аппаратных и программных компонентов на изолированные процессы с различными методологиями. Современные тенденции в области DevOps ориентированы на конвергенцию этих доменов: аппаратная разработка должна становиться более итеративной, а программное обеспечение — разрабатываться с учетом ограничений и возможностей аппаратных средств с ранних этапов. Для преодоления разрыва между этими сферами важны внедрение современных технологических трендов, таких как инфраструктура как код (IaC), использование инструментов автоматизированного развертывания и управления инфраструктурой, что обеспечивает воспроизводимость и контроль версий всей системы. Контейнеризация и оркестрация с помощью Kubernetes позволяют стандартизировать среды вы-

полнения, повышая переносимость и согласованность программных компонентов на всех стадиях разработки и эксплуатации. Использование подхода GitOps, предусматривающего использование Git как единого источника правды не только для программного кода, но и для декларативных конфигураций инфраструктуры и автоматизированных процессов развертывания, способствует обеспечению прозрачности, отслеживаемости и аудиту изменений [2].

В качестве основного результата исследования предложена архитектура сквозного CI/CD-конвейера для гибридных систем, интегрирующая этапы работы с аппаратными и программными компонентами. Этап непрерывной интеграции включает автоматизированную сборку низкоуровневого программного обеспечения и компиляцию прошивок для программируемых логических интегральных схем по триггеру из системы контроля версий Git, а также параллельную сборку контейнерных образов для микросервисных и облачных компонентов системы. Этап автоматизированного тестирования предусматривает запуск тестов в виртуальных средах, эмулирующих целевое аппаратное обеспечение, проведение интеграционного тестирования с использованием цифровых двойников для проверки взаимодействия компонентов на ранних этапах, а также регрессионное тестирование на физических испытательных стендах по определенному триггеру. Этап автоматизированной доставки и внедрения включает обновление программных компонентов в облачной среде или на edge-шлюзах с помощью инструментов GitOps, а также формирование пакетов обновлений встроенного программного обеспечения для их последующего распространения по воздуху (FOTA) [3].

Внедрение практик DevOps и CI/CD в контексте аппаратных и гибридных систем представляет собой сложную, однако решаемую задачу, требующую комплексного подхода, охватывающего культуру сотрудничества, процессы и инструменты. Предложенная модель CI/CD-конвейера демонстрирует возможность интеграции традиционно разрозненных процессов в единый, автоматизированный поток. Наибольшую выгоду от такой трансформации могут получить отрасли, создающие сложные продукты с длительным жизненным циклом и необходимостью частых обновлений, такие как интернет вещей, телекоммуникации, автомобилестроение и ракетно-космическая промышленность, где надежность и скорость итераций являются критическими параметрами. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на стандартизации инструментов автоматизации работы с аппаратным обеспечением и более глубокой интеграции практик безопасности на всех этапах жизненного цикла систем [4].

Список литературы

1. DevOps Research and Assessment [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.google.com/devops> (дата обращения: 25.11.2025).
2. GitLab [Электронный ресурс] URL: <https://about.gitlab.com/topics/ci-cd/> (дата обращения: 26.11.2025).
3. IEEE Xplore Digital Library [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/> (дата обращения: 27.11.2025).
4. Habr [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/> (дата обращения: 28.11.2025).

Timur Medkhatovich Kelmukhamedov,

Anna Aleksandrovna Lukyanova, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Organization and Management of High-Tech Industries

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

IMPLEMENTING DEVOPS AND CI/CD PRACTICES FOR HARDWARE AND HYBRID SYSTEMS

In the rocket and space industry, where reliability, speed of development, and frequent updates of complex hybrid systems are critical, the adoption of DevOps and CI/CD practices bridges the gap between the long hardware development cycles and the need for rapid iteration of software components. This accelerates product delivery, improves quality, and reduces operational risks. Key solutions include automation, infrastructure as code, and integrating hardware testing stages into a single delivery pipeline.

Keywords: DevOps/CI-CD, hybrid systems, hardware and software complexes, digital twins, and delivery pipelines.

О ТРАНСПОРТНЫХ СЛУЖБАХ В КОМПАНИЯХ

Кисель Иван Алексеевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ"

им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Клычев Иван Сергеевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военная академия материально-технического обеспечения

им. генерала армии А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург, Россия

Корыстин Владислав Дмитриевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

г. Санкт-Петербург, Россия

Кочуров Владимир Дмитриевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии,

г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются некоторые характеристики управления транспортными службами на предприятиях.

Ключевые слова: управление, транспортное предприятие.

Задачи транспортного хозяйства - осуществление бесперебойной транспортировки всех грузов в соответствии с производственным процессом, содержание [1] транспортных средств в исправном и работоспособном состоянии, снижение издержек на транспортные и погрузо-разгрузочные работы. Рациональная организация транспортного хозяйства служит предпосылкой снижения себестоимости продукции. В зависимости от особенностей [2] технологических процессов и типов производств на предприятии применяются различные транспортные средства. Структура транспортной службы предприятия зависит от

особенностей производственного процесса [3], типа производства и объемов выпуска продукции. Функции транспортной службы предприятия:

- разработка нормативов, применяемых в транспортной службе;
- планирование потребностей во всех видах транспорта на основе расчетов грузопотоков и грузооборота;
- планирование ППР транспортных средств;
- планирование потребности [4] в запчастях и их приобретения;
- оперативное планирование и диспетчирование обеспечения предприятия всеми видами транспорта;
- обеспечение производственных процессов [5] транспортными средствами;
- организация осмотров и ремонта транспортных средств;
- организация безопасности движения;
- организация обслуживания транспортных средств (заправка ГСМ, мойка и т.д.);
- организация приобретения новых транспортных средств, их регистрации в государственных органах, получения лицензий на перевозку грузов и людей, списания и утилизации транспортных средств.

Для эффективного планирования [6] потребности ТС определяются грузооборот предприятия и грузопотоки.

Грузооборот - это сумма всех грузов, перемещаемых на предприятии за определенный промежуток времени (или сумма всех грузопотоков предприятия).

Грузопоток - количество грузов (т, шт, кг), перемещаемых в определенном направлении между цехами и складами за определенный промежуток времени. Грузопотоки рассчитываются на основании: видов перемещаемых грузов; пунктов отправления и доставки; расстояний между пунктами; объемов перемещаемых грузов; частоты и регулярности перевозок. Перевозки подразделяются на разовые и маршрутные.

Разовые перевозки - перевозки по отдельным неповторяющимся заказам (заказам). Маршрутные перевозки - постоянные или периодические перевозки по определенным [7] маршрутам. Одним из методов определения объемов грузопотоков и грузооборота предприятия является составление шахматной ведомости. В этой ведомости отражаются все перемещения грузов. По вертикали перечислены цехи-отправители и склады, а по горизонтали в том же порядке указаны цехи-получатели и склады.

Каждый цех и склад представлен графой и строкой. Итоги граф показывают общее поступление грузов в данный цех, итоги строк - величину отправления грузов. Сумма итогов граф или строк по всем цехам и складам отражает величину [8] внутренних грузопотоков.

Количество транспортных средств рассчитывается как по межцеховым перевозкам, так и по внутрицеховым и межоперационным транспортным системам. Основными направлениями [9] совершенствования транспортного хозяйства на предприятиях являются:

- механизация и автоматизация транспортных операций в сочетании с высокой их организацией;
- применение унифицированной тары (в том числе и оборотной);
- внедрение единой производственно-транспортной (комплексной) технологии;
- специализация средств [10] межцехового транспорта по роду перевозимых грузов;
- организация контейнерных перевозок;
- внедрение автоматизированных систем управления транспортом.

Список литературы

1. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
2. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
3. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
8. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.
9. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.
10. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
11. Ватутин, Э. И. Выявление изоморфных вхождений R-выражений при построении параллельных алгоритмов логического управления / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов, В. С. Титов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 2. – С. 37-45. – EDN JWZROH.
12. Ватутин, Э. И. Эвристический подход к распознаванию изоморфизма графов / Э. И. Ватутин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации : сборник материалов XII Международной научно-технической конференции, Курск, 12–16 мая 2015 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2015. – С. 80-83. – EDN TWIVZT.
13. Ватутин, Э. И. Определение степени параллелизма параллельной граф-схемы алгоритма / Э. И. Ватутин // Интеллектуальные и информационные системы : Материалы Всерос-

сийской научно-технической конференции, Тула, 18–19 ноября 2009 года / Составители сборника: В.С. Карпов; А.С. Новиков. – Тула: Тульский государственный университет, 2009. – С. 24-26. – EDN SYUAIZ.

14. Ватутин, Э. И. Построение блоков разбиения в задаче декомпозиции параллельных управляющих алгоритмов / Э. И. Ватутин, И. В. Зотов // Материалы и упрочняющие технологии - 2003 : Сборник материалов X юбилейной Российской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 40-летию образования Курского государственного технического университета, Курск, 15–17 декабря 2003 года. Том Часть 2. – Курск: Курский государственный технический университет, 2003. – С. 38-42. – EDN STWHSP.

15. Учет алгоритмических особенностей задачи при генерации диагональных латинских квадратов / Э. И. Ватутин, А. Д. Журавлев, О. С. Заикин, В. С. Титов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 2(65). – С. 46-59. – EDN WWRKCL.

Kisel Ivan Alekseevich, specialist

Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

Klychev Ivan Sergeevich, specialist

Military Academy of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulev, St. Petersburg, Russia

Vladislav Dmytrievich Korystin, specialist

Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia

Kochurov Vladimir Dmitrievich, specialist

Military Order of Zhukov Academy of the National Guard Troops, St. Petersburg, Russia

ABOUT TRANSPORT SERVICES IN COMPANIES

Annotation: The article discusses some characteristics of the management of transport services at enterprises.

Key words: management, transport enterprise.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ СВЯЗИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ключникова Дарья Алексеевна, студент

Пономарева Светлана Алексеевна, студент

Шабарин Евгений Дмитриевич, студент

Преображенский Юрий Петрович, профессор

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г.Воронеж, Россия

В статье рассматриваются вопросы, относящиеся к производству современных средств связи.

Ключевые слова: автоматизация, связь, производство.

Улучшение производственного процесса изготовления оборудования для систем связи на предприятиях – непростая задача, обусловленная большим количеством разнообразных этапов обработки [1].

На сегодняшний день многие алгоритмы управления качеством и оптимизации технологических процессов (ТП), как правило, опираются на инструменты математического анализа данных.

К достоинствам такого подхода относится широкая область применения (применимость к любому ТП) и достаточно простая реализация: наличие необходимого объема статистической информации и программного обеспечения для отслеживания состояния процесса позволяет моделировать отдельные операции, а затем и весь технологический процесс в целом.

Однако значительным ограничением статистических подходов [2] является потребность в большом объеме фактических данных [3].

Статистические модели отражают особенности конкретного технологического процесса, поскольку зависят от заданных условий, конфигурации оборудования, способа изготовления и других факторов. Поэтому попытки обобщить результаты, полученные при построении таких моделей, часто приводят к значительным отклонениям от реальности. На практике статистическое моделирование нередко заключается в сопоставлении измеренного значения какого-либо показателя (на входе или выходе системы [4]) с фактическим результатом. После этого определяется диапазон возможных значений параметров процесса (доверительный интервал); значения, попадающие в этот диапазон, считаются приемлемыми для рассматриваемой величины, а находящиеся за его пределами – неприемлемыми [5].

Определение диапазона обычно зависит от объема имеющихся статистических сведений: больший разброс значений по ключевому параметру изготавливаемой партии годной продукции (что отражается в высоком значении среднего отклонения) приводит к расширению границ доверительного интервала; увеличение размера выборки, напротив, позволяет сузить допустимый диапазон.

Эти пределы для каждого нового цикла определяются до начала работ и не подлежат корректировке во время проведения технического обслуживания [6].

Адаптивные подходы к совершенствованию выпуска годной продукции основаны на изменении текущих параметров в соответствии с поступающей информацией. Ключевым достоинством таких методов является способность к самооптимизации [7] в ответ на меняющиеся требования к ТО и воздействие внешних факторов.

В качестве примера можно рассмотреть учет влияния износа технологического оборудования в процессе его использования [8].

Как правило, при оптимизации стремятся добиться наилучших возможных значений всех ключевых показателей для каждой производственной операции. Однако, учитывая сложные взаимосвязи между этими показателями, включая возможные противоречия, создать оптимальный технический продукт [9] с абсолютно идеальными характеристиками — физическими, эксплуатационными и экономическими — не представляется возможным. Поэтому авторы данной разработки предлагают использовать методы многокритериальной оптимизации в системе оптимизации технологического процесса производства технически совершенных изделий. Разработка сложных современных устройств, включая разнообразные механизмы, требует применения специализированного программного обеспечения, такого как системы автоматизированного проектирования (САПР).

В рамках этого исследования разработан инструмент улучшения технологического процесса, предназначенный для создания математического представления производственного цикла продукции, готовой к поставке. При этом он анализирует взаимосвязь между показателями качества составляющих изделия (компонентов, секций) и особенностями его физической конструкции [10], принимая во внимание внешние факторы, проявляющиеся в процессе изготовления. Модульный принцип организации, ориентированный на интеграцию результатов проектирования, используемый при создании готового изделия, продемонстрирован на рисунке 1.

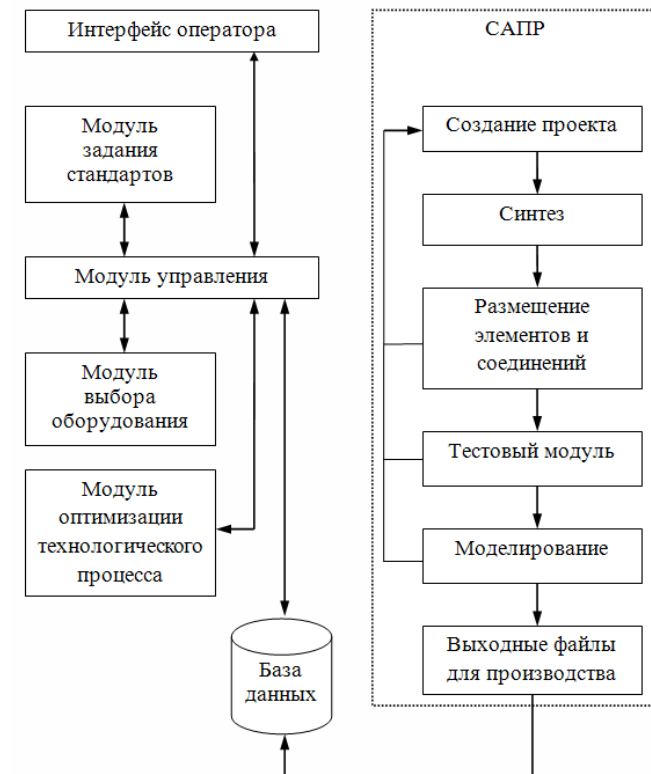


Рис. 1. Схема производства средств связи

Благодаря модулю обработки информации, поступающие данные интегрируются в автоматизированную систему управления [8]. Используя модуль оптимизации, производственный персонал (например, контролеры или технологи) во время выполнения технологической подготовки получает сведения о надёжности изготавливаемых устройств и оценку воздействия различных параметров производства на функциональность создаваемого образца типового средства

(ОТС). Эта информация формируется на базе анализа накопленных данных по ранее произведенным ОТС. Таким образом, внедрение предложенного модуля позволяет эффективно хранить и учитывать индивидуальные параметры настроек оборудования для каждого типа ОТС.

Список литературы

1. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
8. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
9. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
10. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
11. Tomakova, R. A. Comparative Analysis of Segmentation Efficiency Method the Halfont Image Based on the Selection of Priority Direction of Machining Segment Boundaries / R. A. Tomakova, S. A. Filist, A. I. Pykhtin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11, No. 5. – P. 3199-3206. – EDN VRQGFJ.
12. Потапенко, А. М. Приложение теории графов к исследованию сетевых структур в телекоммуникациях : учебное пособие / А. М. Потапенко, Р. А. Томакова, М. В. Томаков ; А. М. Потапенко, Р. А. Томакова, М. В. Томаков ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Курский гос. технический ун-т". – Курск : Курский гос. технический ун-т, 2010. – 147 с. – ISBN 978-5-7681-0547-1. – EDN QMUUBF.
13. Универсальные сетевые структуры в задачах классификации многомерных данных / Р. А. Томакова, А. А. Насер, О. В. Шаталова, Е. В. Рудакова // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 8. – С. 48-49. – EDN PCNOTB.

14. Hybrid Intelligent Models for Chest X-Ray Image Segmentation / S. A. Filist, R. A. Tomakova, S. V. Degtyarev, A. F. Rybochkin // Biomedical Engineering. – 2018. – Vol. 51, No. 5. – P. 358-363. – DOI 10.1007/s10527-018-9748-5. – EDN XYBBCP.

15. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложнотренируемых растровых полутоновых изображений / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, Р. А. Томакова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 3(32). – С. 44-63. – EDN QPNAYM.

Klyuchnikova Daria Alekseevna, student

Ponomareva Svetlana Alekseevna, student

Shabarin Evgeny Dmitrievich, student

Preobrazhenskiy Yuriy Petrovich, professor

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, Russia

ON THE POSSIBILITIES OF AUTOMATING THE CREATION OF COMMUNICATION FACILITIES

Annotation: The article discusses issues related to the production of modern means of communication.

Key words: automation, communication, production.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЧЕТЫРЕХДВИГАТЕЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ САМОЛЁТА

Кожевников Арсений Евгеньевич, студент

(arseny2365@yandex.ru)

Рыжков Владимир Витальевич, к.т.н., доцент

(rizhkov-11@yandex.ru)

*Воронежский государственный технический университет,
г.Воронеж, Россия*

В данной статье рассмотрены ключевые преимущества и недостатки четырехдвигательной компоновки самолета, даны подробные пояснения к каждому факту, что позволяет понять главные причины, почему многие авиакомпании отказались от четырехдвигательной компоновки самолетов в пользу двухдвигательной.

Ключевые слова: Четырехдвигательная компоновка, экономическая эффективность, безопасность.

Самолет Ил-96, совершивший первый полет в 1988 году и введенный в эксплуатацию в 1993-м, стал глубокой модернизацией своего предшественника, Ил-86. Он был создан в эпоху, когда требования к дальности и безопасности полетов через океан диктовали жесткие правила ETOPS (Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards) для двухдвигательных лайнеров. Для четырехдвигательных самолетов таких ограничений не существовало, что изначально давало им карт-бланш на любые маршруты. Ил-96 проектировался как флагман советского, а затем российского авиастроения, способный совершать беспосадочные перелеты на расстояния свыше 10 000 км с полной коммерческой нагрузкой. Его четыре двигателя ПС-90А стали не просто силовой уста-

новкой, а концептуальным выбором, определившим всю дальнейшую судьбу модели.

К преимуществам четырехдвигательной компоновки можно отнести безопасность и отказоустойчивость. Это главный аргумент в пользу четырех двигателей. Отказ одного, даже двух двигателей (при условии, что они расположены на разных крыльях) оставляет самолету значительную часть тяги для продолжения полета и безопасного захода на посадку. В случае с Ил-96 это означает, что при отказе двух двигателей самолет сохраняет 50% тяги, в то время как двухдвигательный лайнер в аналогичной ситуации теряет 50% и оказывается в критическом положении, зависящем от единственного оставшегося двигателя. Эта избыточность критически важна при полетах над удаленными регионами, полярными областями и океанами, где варианты для экстренной посадки ограничены. Как отмечают специалисты, четырехдвигательная схема обеспечивает более высокий уровень безопасности при выполнении длительных полетов над водными и малонаселенными районами земного шара [1].

Независимость от правил ETOPS. Ил-96 может летать по любому маршруту без необходимости соблюдения дистанционных ограничений до запасного аэродрома, которые обязательны для двухдвигательных самолетов. Это предоставляет авиакомпаниям большую гибкость в планировании маршрутов, особенно тех, которые проходят вдали от основных аэропортов. Самолет изначально сертифицирован для выполнения таких миссий.

Возможность эксплуатации с высокими взлетными массами и в жарком высокогорном климате. Четыре двигателя суммарно обеспечивают высокую тяговооруженность, что позволяет Ил-96 уверенно взлетать с полной нагрузкой с относительно коротких ВПП (для своего класса) и в условиях разреженного воздуха (высокогорные аэропорты, жаркий климат). Запас тяги также благоприятно сказывается на скороподъемности после взлета.

Распределение нагрузки и конструктивная надежность. Размещение четырех относительно менее мощных двигателей под крылом позволяет оптимально распределить массу и нагрузки. Кроме того, меньший диаметр гондол каждого из четырех двигателей ПС-90А по сравнению с огромными гондолами современных двухвальных турбовентиляторных двигателей большой тяги (как на Boeing 777 или Airbus A350) может положительно влиять на аэродинамику крыла и облегчать обслуживание на земле.

К недостаткам четырехдвигательной компоновки можно отнести повышенный расход топлива. Это ключевой и наиболее критикуемый недостаток. Четыре двигателя имеют больший суммарный вес, создают большее аэродинамическое сопротивление из-за увеличенного количества гондол и пилонов, а также, как правило, обладают менее выгодным удельным расходом топлива по сравнению с современными двигателями-рекордсменами для широкофюзеляжных самолетов. Экономичность ПС-90А, несмотря на постоянную модернизацию, уступает новейшим западным аналогам. В эпоху, когда стоимость авиатоплива составляет львиную долю эксплуатационных расходов, это становится решающим фактором для авиакомпаний. Исследования подтверждают, что эксплуата-

ция четырехдвигательных самолетов сопряжена с повышенными удельными затратами на топливо на пассажиро-километр [2].

Высокая стоимость обслуживания и ремонта. Четыре двигателя требуют в два раза больше трудозатрат на проведение регулярных технических проверок, ремонтов и замен. Запасные части, расходники (масла, фильтры) также нужны в большем объеме. Это напрямую увеличивает эксплуатационные расходы и время простоя самолета в ангаре.

Конкуренция с двухдвигательными лайнерами. Современные двухдвигательные самолеты, такие как Boeing 777, 787 Dreamliner или Airbus A350, благодаря колоссальной надежности двигателей получили сертификацию ETOPS-330 и выше, что фактически позволяет им летать почти по всем маршрутам, доступным четырехдвигательным. При этом они выигрывают по всем экономическим показателям. Как следствие, рыночный спрос на новые четырехдвигательные пассажирские самолеты резко сократился в пользу более экономичных двухмоторных широкофюзеляжных самолетов [3]. Это привело к остановке производства Airbus A380 и сосредоточению усилий на двухдвигательных моделях.

Самолет Ил-96 в своей четырехдвигательной компоновке представляет собой продукт иной технологической и рыночной философии, где приоритетами были абсолютная безопасность, независимость от внешних правил и выполнение специфических государственных задач (включая перевозку первых лиц государства). Его преимущества — это преимущества избыточности, надежности и оперативной гибкости в чистом виде.

Однако в коммерческой гражданской авиации, где главенствует экономическая эффективность, эти достоинства перевешиваются существенными недостатками: высокими затратами на топливо и обслуживание. Эволюция двигателестроения и правил ETOPS нивелировала некогда ключевые преимущества четырех двигателей в области безопасности маршрутов.

Таким образом, судьба Ил-96 и подобных ему самолетов (Boeing 747, Airbus A340, A380) демонстрирует переход индустрии от безопасности любой ценой к оптимальному балансу безопасности и экономики. Четырехдвигательная компоновка сегодня — это узкоспециализированное решение для особых задач, в то время как двухдвигательная схема стала универсальным и экономически обоснованным стандартом для дальних магистралей. Будущее Ил-96, как отмечается в исследованиях, связано либо с глубокой модернизацией в нише специального применения, либо с переходом на новую двухдвигательную платформу, если речь пойдет о создании преемника для массового рынка [4].

Список литературы

1. Анализ тенденций развития силовых установок магистральных пассажирских самолетов / А. В. Петров, С. И. Волков // Труды МАИ. — 2017. — № 92. — С. 12.
2. Влияние конструктивных параметров на экономическую эффективность эксплуатации самолетов / Ю. В. Захаров, М. С. Липатов // Научный вестник МГТУ ГА. — 2015. — Т. 218, № 6. — С. 51-58.
3. Современное состояние и перспективы развития парка широкофюзеляжных самолетов в мире / Л. А. Козлов // Проблемы экономики и управления воздушным транспортом. — 2019. — № 3. — С. 34-45.

4. Перспективы развития дальнемагистральных самолетов в России / И. К. Смирнов // Авиакосмическое приборостроение. – 2020. – № 11. – С. 3-15.

Kozhevnikov Arseny Evgenievich, student

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Ryzhkov Vladimir Vitalievich, Cand.Nech.Sci, Associate Professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF A FOUR-ENGINE AIRCRAFT COMPOSITION

Abstract. *This article discusses the key advantages and disadvantages of a four-engine aircraft layout, providing detailed explanations for each point, which helps to understand the main reasons why many airlines have abandoned the four-engine layout in favor of a two-engine layout.*

Keywords: *Four-engine layout, economic efficiency, and safety.*

ИННОВАЦИОННЫЕ СВАРОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ В КОНСТРУКЦИИ НОВОГО РОССИЙСКОГО ЛАЙНЕРА МС-21

Кожеевников Арсений Евгеньевич, студент

(arseny2365@yandex.ru)

Ходырев Тимофей Александрович, студент

(tim.khodyrev@mail.ru)

Рыжков Владимир Витальевич, к.т.н., доцент

(rizhkov-11@yandex.ru)

*Воронежский Государственный Технический Университет,
г.Воронеж, Россия*

Разработка и серийное производство магистрального пассажирского самолета МС-21 представляет собой не просто создание новой машины, а формирование целостной технологической платформы для российской гражданской авиационной промышленности. Сварочные технологии, традиционно считавшиеся вспомогательными, в проекте МС-21 выдвинуты на первый план, став ключевым инструментом решения классической авиационной дилеммы — «прочность-масса-стоимость». Данный анализ фокусируется на том, как конкретные сварочные методы определяют эксплуатационные и экономические преимущества нового лайнера

Ключевые слова: инновации, сварка, МС-21, авиастроение.

Конструкция планера МС-21 характеризуется двумя фундаментальными особенностями, которые напрямую влияют на выбор методов соединения:

1. Широкое применение современных алюминий-литиевых сплавов, в частности, сплава 1441 (российский аналог зарубежного 2099). Добавление лития позволяет снизить плотность и повысить модуль упругости, что дает выигрыш в массе до 10-15% по сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами. Однако эти материалы обладают повышенной чувствительностью к термическому циклу. При сварке плавлением в околошовной зоне возникает выраженная разупрочняющаяся область, а сам сплав склонен к горячим трещинам. Как

отмечается в исследованиях, «традиционная дуговая сварка сплавов системы Al-Li часто приводит к недопустимому снижению механических характеристик и требует сложных послетермических обработок» [1].

2. Интегральная конструкция крупногабаритных панелей. В отличие от архаичной сборки из множества мелких деталей на тысячах заклепок, концепция МС-21 предполагает создание крупных интегральных панелей крыла и фюзеляжа. Это снижает количество деталей, упрощает сборку и улучшает аэродинамику, но предъявляет экстремальные требования к надежности и качеству каждого метра сварного шва.

Таким образом, технологическая задача формулируется не просто как «соединить», а как создать протяженное, высокопрочное, легкое и герметичное соединение в материале, плохо переносящем традиционную сварку.

Ответом на вызов стал массовый и системный переход к сварке трением с перемешиванием (СТП). Для МС-21 это не экспериментальная, а базовая производственная технология. Ее применение носит стратегический характер и рассматривается как один из ключевых факторов обеспечения конкурентоспособности изделия, что подчеркивается в анализе технологической политики ведущих авиастроительных предприятий [3].

Физические принципы и преимущества для Al-Li сплавов. В отличие от методов плавления, СТП — это процесс соединения в твердой фазе. Вращающийся инструмент из сверхпрочного материала (часто на основе поликристаллического кубического нитрида бора — PCBN) внедряется в стык, разогревая металл за счет трения до пластического состояния и механически перемешивая его. Ключевое технологическое преимущество СТП для авиастроения заключается в полном отсутствии дефектов, связанных с кристаллизацией расплава (пор, горячих трещин), и минимальных изменениях микроструктуры в зоне соединения, что позволяет сохранить до 90-95% прочности основного материала [1]. Для сплава 1441 это означает, что сварной шов перестает быть конструктивно ослабленным местом.

Практическая реализация на МС-21: СТП применяется для изготовления силовых продольных и поперечных швов верхних и нижних панелей крыла, а также для панелей фюзеляжа. Это позволило создать конструкции длиной до 20 метров с минимальным количеством поперечных стыков.

По данным разработчиков, масса планера была снижена на 15-20% только за счет замены клепаных соединений на сварные швы СТП. Кроме того, исчезла необходимость в герметизации тысяч заклепочных швов, что повысило коррозионную стойкость и снизило трудоемкость производства.

Для соединения элементов, где толщина материала не превышает 3-4 мм, а требования к точности и деформациям максимальны, на МС-21 применяется роботизированная лазерная сварка.

Сфера применения: изготовление топливных баков, гермошпангоутов, элементов кабины экипажа и системы кондиционирования. Лазерный луч, обеспечивающий высокую концентрацию энергии, позволяет вести процесс на высо-

ких скоростях с минимальной зоной термического влияния. Это критически важно для сохранения геометрии тонких оболочек.

Инновационное развитие — гибридная лазерно-дуговая сварка (ЛАД): Для соединений с небольшими зазорами или для увеличения производительности на МС-21 применяется комбинированный процесс, где лазерный луч и электрическая дуга действуют в общую сварочную ванну. Лазерный луч в гибридном процессе обеспечивает глубокое проплавление и стабилизирует дугу, что позволяет повысить скорость сварки в 1.5-2 раза по сравнению с классической аргоновой сваркой и при этом улучшить формирование корня шва [2]. Эта технология, адаптированная на отечественном оборудовании, используется для сварки трубопроводов и элементов управления.

Заключение

Проект МС-21 демонстрирует качественно новый для российского гражданского авиастроения подход к сварке: от вспомогательной операции к системообразующей технологической дисциплине. Стратегический выбор в пользу сварки трением с перемешиванием для силового набора из Al-Li сплавов стал одним из краеугольных камней, обеспечивших лайнеру преимущество в весовой эффективности. Комбинация СТП, лазерной сварки и сквозного цифрового контроля формирует замкнутую технологическую экосистему, направленную на гарантированное качество и воспроизводимость. Этот опыт имеет трансформирующее значение для всей отрасли, задавая новые стандарты. Как отмечают исследователи, внедрение таких технологий на МС-21 является ярким примером эволюционного развития сварочных процессов в России, сочетающего преемственность и инновации, что закладывает основу для будущих проектов [4]. Успех МС-21 в данном аспекте подтверждает тезис о том, что технологическое лидерство рождается на стыке передовой науки, смелого инжиниринга и беспкомпромиссного контроля качества.

Список литературы

1. Акулов, А. И. Применение сварки трением с перемешиванием в авиастроении / А. И. Акулов, В. В. Нестеров // Сварочное производство. – 2019. – № 5. – С. 37-38.
2. Григорьянц, А. Г. Лазерные технологии в авиастроении: современное состояние и перспективы / А. Г. Григорьянц, В. С. Сухинин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2020. – № 1. – С. 68.
3. Федосов, С. А. Развитие технологий сварки в отечественном авиастроении: от Туполева до перспективных проектов / С. А. Федосов, М. В. Потапов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2021. – № 3. – С. 122.
4. Технологии изготовления интегральных панелей из алюминиевых сплавов для перспективных авиационных конструкций / В.И. Лысак [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2022. – № S2. – С. 56.

Kozhevnikov Arseny Evgenievich, student

Khodyrev Timofey Aleksandrovich, student

Ryzhkov Vladimir Vitalievich, Cand.Tech.Sci, Associate Professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

SPECIFICITY AND FEATURES OF WELDING DEVELOPMENT IN THE FIELD OF AVIATION ENGINEERING

Abstract: *Welding as a technological process of joining materials occupies a special place in modern mechanical engineering. This article examines the evolution, specifics, and current trends in the field of welding aircraft components produced in Russia, analyzing the relationship between technological solutions and the performance qualities of the final product.*

Keywords: *welding, aircraft manufacturing, mechanical engineering.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТИТАНА В ОБЛАСТИ АВИАСТРОЕНИЯ

Кожевников Арсений Евгеньевич, студент

(arseny2365@yandex.ru)

Ходырев Тимофей Александрович, студент

(tim.khodyrev@mail.ru)

Рыжков Владимир Витальевич, к.т.н., доцент

(rizhkov-11@yandex.ru)

*Воронежский государственный технический университет,
г.Воронеж, Россия*

Статья посвящена комплексному анализу роли и перспектив титановых сплавов в современном и будущем авиастроении. Рассматривается уникальное сочетание свойств титана — высокой удельной прочности, коррозионной стойкости и жаропрочности — которое делает его стратегически важным материалом для критически нагруженных узлов летательных аппаратов. В работе прослежена эволюция применения титана: от ключевых деталей силового набора и двигателей до создания целых функциональных модулей.

Ключевые слова: титановые сплавы, авиастроение, аддитивные технологии, титаналюминиды, жаропрочность, гиперзвук, замкнутый цикл, композитные конструкции, газотурбинный двигатель.

Если бы у современного авиалайнера или истребителя можно было сделать рентген, мы бы увидели не просто набор деталей, а сложный скелет, где каждому материалу отведена своя роль. Лёгкие, но жёсткие кости из углепластика формируют обводы фюзеляжа и крыла. Мышцы — это силовые приводы и двигатели. А есть ещё критически важные суставы и позвонки — узлы, которые принимают на себя колоссальные нагрузки, работают в адских температурах у двигателей и при этом не должны ни ржаветь, ни уставать. Эта ответственная роль уже более полувека отдана титану. Он не так заметен, как блестящий алюминий или чёрный композит, но именно он позволил авиации шагнуть в эпоху сверхзвука, огромных дальностей и умных материалов. Давайте разберёмся, что ждёт этот незаменимый металл завтра.

Почему инженеры, борющиеся за каждый килограмм и цент, продолжают выбирать титан, который и сложен в обработке, и стоит немало? Всё дело в уникальном наборе свойств, который делает его в некоторых случаях просто безальтернативным.

Представьте два стержня одинаковой прочности: стальной и титановый. Титановый будет почти вдвое легче. Эта простая аналогия — ключ к пониманию его ценности. Экономия веса в авиации — это священный Грааль. Упрощённо можно сказать, что уменьшение массы самолёта на 1 кг за весь срок его службы экономит около тонны топлива. Поэтому там, где нужна максимальная прочность при минимальном весе (стойки шасси, силовой набор в центроплане, крепление двигателей), титан вне конкуренции.

В отличие от алюминия, который активно вступает в реакцию с кислородом, титан делает это один раз, образуя на поверхности тончайшую, но невероятно прочную оксидную плёнку. Она подобна броне, которая самовосстанавливается при повреждении. Поэтому титановые детали не боятся ни морской воды, ни агрессивных технических жидкостей, что резко увеличивает срок их службы и снижает затраты на обслуживание.

Около трети массы современного турбореактивного двигателя — это титан. Он идеально подходит для компрессора, где царит высокая температура и давление. А с появлением композитных крыльев и фюзеляжей у титана появилась новая роль: он стал идеальным «посредником». При контакте углепластика с алюминием возникает электрохимическая коррозия, которая «съедает» алюминий. Титан же химически нейтрален, что делает его единственным верным выбором для всех соединительных узлов в гибридных конструкциях, как в Boeing 787 или Airbus A350.

Титан в авиации — это уже не просто конструкционный материал. Это целая экосистема технологий: от добычи и создания новых сплавов до цифрового проектирования и аддитивного производства. Его эволюция показывает, как ответ на вызовы (вес, коррозия, температура) порождает инновации, которые, в свою очередь, открывают дорогу для новых, ранее невозможных, инженерных решений.

Он перестал быть пассивным сырьём и стал активным соучастником проектирования. Сможем ли мы напечатать лёгкое, прочное и «умное» крыло с интегрированными титановыми силовыми элементами? Создадим ли двигатель, где титаналюминиды позволят добиться невиданного КПД? На эти вопросы инженеры отвечают уже сегодня. И пока они ищут ответы, титан остаётся тем самым невидимым каркасом, который держит на себе не только вес самолётов, но и вес амбиций всего авиастроения.

Список литературы

1. Бойцов В.В., Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. Титановые сплавы в машиностроении. — М.: Машиностроение, 2015. — 752 с.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Нойберт В.П. Перспективные высокопрочные титановые сплавы для авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. — 2021. — № S2. — С. 272-283.
3. Попович А.А., Суфияров В.Ш. Аддитивные технологии изготовления изделий из титановых сплавов в авиакосмической промышленности: обзор // Цветные металлы. — 2020. — № 5. — С. 58–65.
4. Каблов Е.Н. Стратегические материалы и цифровые двойники — основа инновационных решений в авиакосмической технике // Авиационные материалы и технологии. — 2019. — № 3 (56). — С. 3-13.

Kozhevnikov Arseniy Evgenievich, student

Khodyrev Timofey Alexandrovich, student

*Ryzhkov Vladimir Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

PROSPECTS OF TITANIUM APPLICATION IN THE FIELD OF AIRCRAFT CONSTRUCTION

The article is devoted to a comprehensive analysis of the role and prospects of titanium alloys in the modern and future aircraft industry. A unique combination of titanium properties — high specific strength, corrosion resistance and heat resistance — is considered, which makes it a strategically important material for critically loaded aircraft components. The paper traces the evolution of titanium application: from the key parts of the power set and engines to the creation of entire functional modules.

Keywords: titanium alloys, aircraft construction, additive technologies, titanaluminides, heat resistance, hypersound, closed cycle, composite structures, gas turbine engine.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ РЗЛИЧНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ

Кондратьев Дмитрий Евгеньевич, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Министерство обороны РФ, г.Москва, Россия

Котов Александр Владимирович, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия информатизации образования, г.Москва, Россия

Куприянов Анатолий Николаевич, специалист
(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия коммуникаций Вордшоп, г.Москва, Россия

В статье рассматриваются проблемы, связанные с управлением транспортными производствами.

Ключевые слова: транспортное производство, управление, модель.

Чем сложнее задачи, стоящие перед транспортом, чем шире круг этих задач, тем острее ощущается потребность решать их целенаправленно и взаимосвязано, т. е. системно [1].

При современных масштабах и условиях производства эффективность производственной деятельности человека все более определяется организационным фактором, качеством управления. Критерии управления в транспортных системах объективны и не могут выбираться произвольно [2], их установление происходит на базе изучения закономерностей развития самого объекта. Критерием оценки эффективности системы управления объектом может служить только практика, но не та, которая сложилась на сегодняшний день, а та, к которой должен выйти объект в своем развитии. Знание внутренних [3] возможностей транспорта и тенденций развития внешней среды позволяет сделать транспортную систему целенаправленно развивающейся [4], обладающей высокой производительностью и эффективностью. Транспортное производство [5]

обладает существенными особенностями, что отражается в структуре его материально-технической базы, характере производственной деятельности и организации управления. Значительная часть средств производства транспорта (от 20-25 до 80-85 %) не стационарна, а способна к перемещению (парк автомобилей), причем в процессе производства эта активная часть, называемая подвижным составом, функционирует в разнообразных режимах и организационных формах [6]. Технические средства транспорта - постоянные устройства и подвижной состав - пространственно разобщены и функционируют в сетях большого протяжения - от сотен до нескольких тысяч километров и в то же время технологически тесно связаны друг с другом [7].

Эта исключительная и характерная для транспорта "связность", с одной стороны, позволяет в процессе управления [8] маневрировать его производственными мощностями, быстро и эффективно перемещать их на тысячи километров, концентрируя в нужных районах транспортной сети; с другой стороны, динамичность транспортных средств каждого вида транспорта в условиях рыночного хозяйства порождает конкурентную борьбу, которая вынуждает преднамеренно создавать и поддерживать в рамках каждого вида транспорта огромные и плохо используемые резервы перевозочных способностей.

Никакая другая отрасль экономики не обладает такими ценными свойствами, позволяющими [9] повышать организационный уровень производства на базе синтеза, какими обладает транспорт. Его эластичность, способность к пространственно-временным преобразованиям средств производства в ходе самого производства, к взаимопроникновению, к взаимодействию со всеми отраслями производства поистине феноменальны.

Перевозка грузов и пассажиров на огромные расстояния предъявляет повышенные требования к координации действий работников транспорта и транспортной техники для обеспечения непрерывности [10] перевозочного процесса. Это усложняет контроль за работой транспортных предприятий и порождает ряд характерных только для транспортного производства управленческих задач, например: контроль за дислокацией парков подвижного состава (автомобиль), регулирование порожними потоками подвижного состава и др. Перевозочный процесс обладает повышенной энергоемкостью, что объясняется природой транспортирования, связанного с преодолением сопротивления той среды, в которой осуществляется движение, а также с преодолением всякого рода трений в двигателях и ходовых частях подвижного состава.

Перевозочный процесс осуществляется на огромных пространствах суши, поэтому транспортная отрасль функционирует как огромный цех под открытым небом. Отсюда повышенная зависимость его производственных процессов и территориальной организации от естественно- географических факторов. Климатические условия, состояние погоды, характер рельефа местности оказывают существенное влияние на эксплуатационно-экономические показатели перевозок (регулярность движения, среднесуточные пробеги транспортных средств, производительность труда, себестоимость перевозок и др.). На отдельных видах

транспорта (особенно воздушном, водном и автомобильном) потери перевозочных возможностей в связи с этим составляют не менее 10-15 %.

Список литературы

1. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
2. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
3. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
4. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
5. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.
9. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
10. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.

Kondratiev Dmitriy Evgenievich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

Goncharova Yulia Alexandrovna, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Wordshop Academy of Communications, Moscow, Russia

Klepach Maxim Denisovich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov, Moscow, Russia

ON THE FEATURES OF MANAGEMENT OF VARIOUS TRANSPORT INDUSTRIES

Annotation: The article discusses the problems associated with the management of transport production.

Key words: transport production, management, model.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-35 кВ.

Конюхова Марина Викторовна, магистр

(zxcvbnm7774@mail.ru)

Бирюлин Владимир Иванович, к.т.н., доцент

(birylin_I@gmail.com)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В статье рассматриваются методологические основы и практические аспекты исследования режимов работы сложных разветвленных и замкнутых сетей среднего класса напряжения 110-35 кВ. Анализируются специфические задачи, связанные с многоуровневой структурой, наличием транзитных потоков и распределенной генерации. Подробно описываются этапы исследования, ключевые расчеты и современные инструменты, направленные на обеспечение надежного, экономичного и качественного электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: электрическая сеть 110-35 кВ, исследование режимов, сложная разветвленная сеть, потокоораспределение, качество электроэнергии, потери мощности, релейная защита, транзитные потоки, распределенная генерация, расчет токов короткого замыкания, цифровое моделирование.

Сети среднего класса напряжения 110-35 кВ являются ключевым связующим звеном между магистральными линиями высокого напряжения и распределительными сетями 10(6) кВ. Их особая сложность заключается в многоуровневой, часто смешанной (радиально-магистральной и замкнутой) структуре, наличии транзитных потоков и растущем числе объектов распределенной генерации (РГ). Исследование режимов работы такой сети — это комплексная инженерная задача, без решения которой невозможно обеспечить ее надежную и эффективную эксплуатацию.

Сложность сети определяется ее конфигурацией: множественные точки питания, кольцевые и полукольцевые связи, переключки между центрами питания (ЦП), наличие питающих и транзитных линий. В такой системе потоки мощности неочевидны. Основные задачи исследования:

1. Анализ установившихся режимов: Определение потоков активной и реактивной мощности по всем элементам, уровней напряжения в узлах для нормальной, ремонтных и послеаварийных схем.

2. Обеспечение надежности и выполнение критерия N-1: Моделирование отключений ключевых элементов (линий, трансформаторов) для проверки отсутствия перегрузок и допустимых отклонений напряжения при работе в послеаварийной конфигурации.

3. Оптимизация потокораспределения и минимизация потерь: Поиск оптимальной точки разрыва нормальной схемы (в кольцах) и режимов работы устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) для снижения технических потерь.

4. Оценка качества электроэнергии: Контроль отклонений напряжения у удаленных и чувствительных потребителей, особенно в сетях 35 кВ с протяженными линиями.

5. Учет влияния распределенной генерации: Анализ влияния малых ГЭС, солнечных или ветровых электростанций, подключенных к сети 35 кВ, на направление потоков мощности, уровни напряжения и настройки релейной защиты.

6. Расчет токов короткого замыкания (КЗ): Определение токов КЗ для проверки электрооборудования на электродинамическую и термическую стойкость и для корректного согласования уставок защит в условиях сложной сети с несколькими источниками питания.

Исследование носит итерационный характер и опирается на цифровое моделирование.

Этап 1. Формирование исходной базы и модели. Сбор и верификация полной схемы сети: параметры всех линий (марка, длина провода, схема расположения), трансформаторов 110/35/10 кВ (тип, мощность, напряжение КЗ), нагрузок по узлам (с разделением на активную и реактивную), характеристик генерации. На основе этих данных создается точная расчетная модель в специализированном ПО (RastrWin, PowerFactory, NEPLAN).

Этап 2. Расчет нормальных и ремонтных режимов. Для нормальной схемы сети определяются:

- Загрузка всех линий и трансформаторов (в % от допустимого тока).
- Уровни напряжения во всех узлах 110, 35 и 10 кВ.
- Величина суммарных потерь активной и реактивной мощности.

Затем моделируются все плановые ремонтные отключения и проверяется отсутствие перегрузок и выходов напряжения за пределы нормы.

Этап 3. Проведение расчетов короткого замыкания. Выполняются расчеты трехфазных и однофазных КЗ в характерных точках сети для различных схем коммутации.

Особое внимание уделяется точкам подключения новых подстанций или генерации. Результаты используются для обновления карт уставок защит.

Этап 4. Анализ возможностей оптимизации. На основе модели исследуются:

· Эффект от перераспределения нагрузки между параллельными трансформаторами на одной ПС.

· Влияние изменения точки нормального разрыва кольцевой сети на величину потерь.

· Эффективность установки и режимов работы УКРМ (конденсаторных батарей) для компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения.

Этап 5. Разработка рекомендаций и регламентов. Итогом работы является пакет документов:

- Утвержденные нормальные, ремонтные и послеаварийные схемы включения сети.
- Карты потокораспределения и уровней напряжения.

- Рекомендации по оптимальному управлению режимами (переключения, управление УКРМ).

- Рекомендации по развитию сети для устранения выявленных «узких мест».

Исследование режимов сложной сети 110-35 кВ — это не теоретическое упражнение, а обязательная практика для безопасной и экономичной эксплуатации. Оно позволяет перейти от интуитивного, реактивного управления к научно обоснованному, проактивному. В условиях интеграции РГ и усложнения конфигураций сетей такое исследование становится основным инструментом для диспетчерского персонала и планирующих органов, обеспечивая устойчивость и эффективность электроснабжения целых регионов.

Список литературы

1. Бутузов В.А. Накопители энергии: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2021.
2. Olabi A.G. Battery energy storage systems and main applications. — Energy, Vol. 235, 2021.
3. IEEE Std 2030.2. Guide for the Interoperability of Energy Storage Systems Integrated with the Electric Power Infrastructure.
4. Дьяков А.Ф. Системный подход к внедрению накопителей электроэнергии в ЕЭС России. — Энергетик, №5, 2019.
5. Mongird K. et al. Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment. — Pacific Northwest National Laboratory, 2020..

Konyukhova Marina Viktorovna, Master's degree

Southwestern State University, Kursk, Russia

RESEARCH OF OPERATION MODES OF A COMPLEX ELECTRIC NETWORK WITH A VOLTAGE OF 110-35 KV.

Abstract: The article discusses the methodological foundations and practical aspects of studying the operating modes of complex branched and closed 110-35 kV medium-voltage networks. It analyzes specific tasks related to the multi-level structure, the presence of transit flows, and distributed generation. The article provides detailed descriptions of the research stages, key calculations, and modern tools aimed at ensuring reliable, cost-effective, and high-quality electricity supply to consumers.

Keywords: 110-35 kV electrical network, mode study, complex branched network, flow distribution, power quality, power losses, relay protection, transit flows, distributed

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТОЙКИ СТАБИЛИЗАТОРА ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Кормилицын Алексей Сергеевич, магистрант

(e-mail: alexsei02.06.2003@mail.ru)

Перинская Ирина Владимировна, к.т.н., доцент

(e-mail: perinskayaiv@mail.ru)

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., г. Саратов, Россия

Статья посвящена обоснованию целесообразности применения лазерной наплавки в технологии изготовления и восстановления поверхности элементов стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля. Предложена технология лазерной наплавки многокомпонентной порошковой смеси для повышения срока эксплуатации элементов стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля.

Ключевые слова: стабилизатор поперечной устойчивости автомобиля, лазерная импульсная наплавка, повышение срока эксплуатации.

Для повышения управляемости и безопасности при эксплуатации легкового автомобиля в его конструкции существует много узлов и механизмов, в том числе и стабилизатор поперечной устойчивости подвески передних колес [1-2]. Стабилизатор поперечной устойчивости подвески передних колес, представляющий собой часть автомобильной подвески, выполняет функцию снижения наклона кузова автомобиля при поворотах.

Основные элементы стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля показаны на рисунке 1.

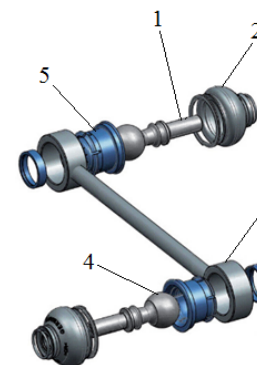


Рис. 1. Элементы стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля:
1 – шаровый палец, 2 – чехол из резины, 3 – корпус, 4 – шарнир, 5 – вкладыш

Часто при эксплуатации автомобиля требуют замены элементы стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля, так как происходит разрушение шарового пальца и шарнира стойки стабилизатора (рис. 2) [1-3].



Рис. 2. Результаты износа и разрушения элементов стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля: а, б, в – шарового пальца; г – шарнира

Для увеличения срока службы деталей автомобиля и восстановления геометрии поверхности изношенных деталей используют методы поверхностного упрочнения, например, цементацию, азотирование, а также разные виды наплавки (электродугую, плазменную, наплавку токами высокой частоты и т.д.).

Перечисленные методы не позволяют проводить упрочняющую обработку локально, прецизионно для изделий сложной конфигурации.

Лазерная порошковая наплавка позволяет наплавлять металлические нити, фольгу, монопорошки и порошковые композиции на детали разной толщины, формы, размеров [4-7].

Разработка и применение в условиях реального производства инновационных способов упрочнения поверхности, в частности с использованием лазерных технологий, является актуальной задачей.

Лазерная порошковая наплавка является методом создания упрочненного слоя с заданным составом и свойствами на обрабатываемой поверхности путем расплавления частиц порошкового присадочного материала и поверхностного слоя основного материала, при этом коэффициент смешивания расплавленного материала и основного материала является минимальным (рис. 3).

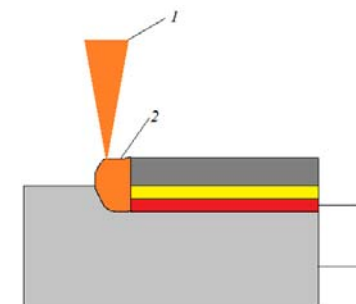


Рис. 3. Схема лазерной наплавки:
1- лазерный луч, 2- ванна расплава, 3- зона термического воздействия, 4- основной материал

В результате аналитического обзора свойств порошковых материалов для проведения лазерной импульсной наплавки на поверхность элементов стоек стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля, а именно шарового пальца и шарнира, были выбраны наиболее эффективные порошки – карбид хрома и силицида молибдена [8]. Дисилицид молибдена (MoSi_2) обеспечивает высокую жаропрочность и стойкость к окислению при экстремальных температурах, тогда как карбид хрома (Cr_3C_2) отличается исключительной твердостью и износостойкостью, что делает их композиционные материалы или отдельные покрытия незаменимыми для работы в агрессивных высокотемпературных и абразивных средах. В качестве связующего вещества для приготовления обмазочной пасты из выше перечисленных порошков был выбран глицерин.

Таким образом, целесообразно использовать порошки MoSi_2 и Cr_3C_2 для продления срока службы стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля. Применение лазерных упрочняющих технологий с целью повышения прочностных характеристик изделий автомобилестроения на данный момент является перспективной и актуальной инженерной задачей.

Были проведены предварительные экспериментальные исследования по лазерной импульсной наплавке порошковой присадочной смеси MoSi_2 и Cr_3C_2 , которые показали, что микротвердость поверхностного слоя стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля возрастает в 3-4 раза по сравнению с контрольными образцами, а износостойкость модифицированной поверхности повышается на 50-60%.

Список литературы

1. Головин, С. И. Устройство автомобиля: учебник / С. И. Головин, А. А. Жосан, М. М. Ревякин. Москва: Прометей, 2022. — 776 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/153564.html>.
2. Автомобиль и общество: учебное пособие / Н. И. Мищенко, И. Ф. Воронина, А. В. Химченко [и др.]. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 331 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/115013.html>.

3. Савич, Е. Л. Устройство автомобилей. Шасси: учебное пособие / Е. Л. Савич, А. С. Гурский. — Минск: Вышэйшая школа, 2020. — 320 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/120090.html>.

4. Влияние режимов лазерной наплавки порошка карбида вольфрама на характеристики поверхности стали 12X18H10T / И. В. Родионов, П. Н. Устинов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2024. — № 2(285). — С. 41-46.

5. Проскуряков, В. И. Формирование состава и характеристик поверхности хромоникелевой стали 12X18H10T при лазерном модифицировании в слое экспериментальной легирующей обмазки / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов // Журнал технической физики. — 2022. — Т. 92, № 1. — С. 84-91.

6. Лазерная наплавка порошка титанового сплава ВТ6 на нержавеющую сталь 08X18H10T при импульсном воздействии излучения / И. В. Родионов, П. Н. Устинов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц // Вопросы электротехнологии. — 2023. — № 4(41). — С. 40-50.

7. Формирование пористого порошкового Al_2O_3 покрытия способом лазерного импульсного спекания / И. В. Родионов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц, П. Н. Устинов // Вопросы электротехнологии. — 2024. — № 1(42). — С. 14-23.

8. Шиганов, И. Н. Перспективные промышленные технологии лазерной обработки: учебное пособие / И. Н. Шиганов. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 284 с.

Kormilitsyn Alexey Sergeevich, student

(e-mail: alexsei02.06.2003@mail.ru)

Perinskaya Irina Vladimirovna, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

(e-mail: perinskayaiv@mail.ru)

Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia

APPLICATION OF LASER DEPOSITION OF POWDERS FOR STRENGTHENING THE SURFACE OF THE ELEMENTS OF THE VEHICLE ANTI-ROLL BAR

Abstract. The article is devoted to the justification of the expediency of using laser surfacing in the technology of manufacturing and restoring the surface of the elements of the anti-roll bar of the car. Proposed is technology of laser surfacing of multicomponent powder mix to increase service life of vehicle lateral stability stabilizer strut elements.

Keywords: car anti-roll bar, laser pulse surfacing, increased service life.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ) И СЖАТОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (КПГ) ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УДАЛЕННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Коровкина Алина Игоревна, к.э.н., доцент

alinko199@mail.ru

Орехова Виктория Сергеевна, магистрант

viikanuts@yandex.ru

Серёжникова Диана Геннадьевна, магистрант

serezchnikova.diana20@yandex.ru

Воронежский государственный технический университет

В статье рассматриваются перспективы применения сжиженного (СПГ) и сжатого (КПГ) природного газа для газификации удаленных населенных пунктов, не имеющих доступа к магистральным газопроводам. Проведен сравнительный анализ технико-экономических показателей использования СПГ и КПГ, включая логистику, хранение, стоимость инфраструктуры и экологическую эффективность. По результатам анализа определены ключевые факторы, влияющие на выбор оптимальной технологии газификации в зависимости от конкретных условий (удаленность, численность населения, рельеф местности). Сделан вывод о высокой конкурентоспособности и перспективности криогенных технологий (СПГ) для снабжения крупных удаленных потребителей.

Ключевые слова: газификация удаленных населенных пунктов, сжиженный природный газ (СПГ), сжатый природный газ (КПГ), автономное энергоснабжение, сравнительный технико-экономический анализ, логистика углеводородных газов, криогенные технологии.

Начало становления газовой промышленности в России носило фрагментарный характер по отношению к нефтедобыче. Несмотря на случайные открытия газовых месторождений и отдельные примеры успешного промышленного использования газа, природный газ не воспринимался как самостоятельный ценный ресурс. Инициативы ученых и инженеров, таких как Д.И. Менделеев и И.Н. Стрижов, о широком практическом применении «топлива будущего» не находили системной поддержки. Доминирующая ориентация на нефть приводила к катастрофическим потерям газа: миллиарды кубометров бесполезно выпускались в атмосферу при бурении скважин, а слабое давление в пластах и отсутствие необходимой инфраструктуры (компрессоров, точных счетчиков) делали многие месторождения невостребованными. Таким образом, ранний этап освоения природного газа в России характеризуется как период упущенных возможностей, когда был заложен фундамент отрасли, но отсутствовали стратегическое видение и государственное регулирование для ее полноценного развития [1].

В настоящее время увеличение доступности для населения данного вида топлива начало постепенно увеличиваться с начала 2000-х годов. Наиболее актив-

ная этапы газификации России пришлось на 2005 год. Наиболее высокий уровень сетевой газификации достигнут в Центральном, Южном, Северо-Кавказском и Приволжском федеральных округах (81-85 %), где уровень газификации отдельных субъектов превышает 95 % [4,5,9].

Развитие сельских территорий России сохраняет статус приоритетной государственной задачи в силу их стратегических функций: обеспечения продовольственной безопасности и проживания значительной части населения. В научной литературе прочно укоренился тезис о необходимости системных социально-экономических трансформаций на селе, реализуемых при наличии соответствующей политической воли, поскольку именно развитые сельские регионы служат основой национальной стабильности. В отличие от урбанизированных зон, для сельских поселений характерны низкая плотность населения и значительная территориальная рассредоточенность. Данные особенности обуславливают отсутствие централизованных систем энергоснабжения и распределительных станций, а также эксплуатацию энергогенерирующих установок, выработавших свой проектный ресурс. Ключевыми факторами, сдерживающими развитие энергетики в этих условиях, выступают неразвитость инфраструктуры, дефицит регионального и муниципального финансирования энергетических программ и сложные природно-климатические условия (в частности, в северных регионах). Следствием указанных ограничений является объективная потребность в создании децентрализованных энергомоощностей малой единичной мощности, реализация которых сопряжена со значительными капитальными затратами [2,11,12].

Однако, несмотря на значительные успехи в газификации, обеспечение природным газом удаленных населенных пунктов остается сложной задачей. Строительство магистральных газопроводов к таким объектам экономически нецелесообразно из-за высоких капитальных затрат и длительных сроков окупаемости. Наиболее перспективными решениями в данном контексте выступают технологии сжиженного природного газа (СПГ) и сжатого природного газа (КПГ). Они позволяют преодолеть логистические ограничения, обеспечивая доставку газа автомобильным, железнодорожным или водным транспортом. Однако каждая из технологий имеет свою специфическую область экономической целесообразности, определяемую такими факторами, как удаленность потребителя, объемы потребления, климатические условия и наличие инфраструктуры. Для начала рассмотрим сущность и преимущества сжиженного природного газа.

Сжиженный природный газ представляет собой криогенную жидкость, состоящую из смеси легких углеводородов с преобладанием метана. В жидкой фазе вещество является нетоксичным и не коррозионным. В случае утечки и при отсутствии источника возгорания СПГ быстро испаряется и рассеивается в атмосфере, не оставляя после себя следов. Ключевым технологическим преимуществом является значительное сокращение объема — переход в жидкое состояние уменьшает исходный объем природного газа приблизительно в 600 раз,

что существенно облегчает его хранение и делает экономически целесообразной транспортировку на большие расстояния [7,8,10].

Современная технологическая цепочка производства и поставок сжиженного природного газа (СПГ) включает три ключевых технологических этапа [6]:

1. Подготовка и сжижение: Добыча природного газа, его предварительная очистка и последующее сжижение на специализированных заводах.

2. Транспортировка: Морская перевозка сжиженного газа с использованием специализированных танкеров-газовозов (метановозов), оснащенных криогенными резервуарами.

3. Приемка и регазификация: Прием поставок в регазификационных терминалах, которые обеспечивают хранение СПГ в изотермических резервуарах и его перевод обратно в газообразное состояние для дальнейшей подачи в магистральные газопроводы и распределительные сети к конечным потребителям.

Транспортировка природного газа в сжиженном состоянии (СПГ) становится экономически более выгодной по сравнению с трубопроводной при расстояниях до потребителя свыше 2000–3000 км. Несмотря на более высокие первоначальные инвестиции в инфраструктуру, ключевым преимуществом данной логистической схемы является структура затрат: основную долю себестоимости составляют не сама транспортировка, а погрузочно-разгрузочные работы и процессы сжижения/регазификации. К другим достоинствам технологии относится повышенная безопасность при перевозке и хранении по сравнению со сжатым природным газом [7].

Универсальность СПГ позволяет осуществлять его поставки с любого завода по сжижению на любой регазификационный терминал, что делает его единственно рентабельной технологией для трансокеанских перевозок. На региональном уровне применение СПГ решает проблему газификации удаленных территорий, не подключенных к магистральным газопроводам.

Создание локальной инфраструктуры, включающей изотермические хранилища и компактные регазификационные установки (например, трубчатые испарители), позволяет организовать доставку СПГ автомобильным или железнодорожным транспортом, оснащенным криогенными цистернами.

Если технология СПГ оптимальна для преодоления дальних расстояний и крупных объемов поставок, то для газификации удаленных населенных пунктов на региональном уровне, а также для организации локального транспорта и энергоснабжения, перспективной альтернативой выступает сжатый природный газ или же компримированный природный газ (КПГ).

Сжатый природный газ (компримированный природный газ) — это природный газ, механически сжатый (компримированный) без изменения его агрегатного состояния. Процесс компримирования осуществляется на компрессорных станциях, где газ сжимается до давления 20–25 МПа (200–250 бар), что приводит к уменьшению его объема в 200–250 раз. Последующая логистическая цепочка может развиваться по двум основным сценариям [3,11,12]:

1. Прямое использование в виде КПГ: Сжатый газ закачивается в специальные мобильные газовые контейнеры (МГК) или стационарные аккумуляторы,

представляющие собой каскад баллонов высокого давления. В такой форме он доставляется автомобильным или железнодорожным транспортом к конечным потребителям для использования в газопоршневых электростанциях, котельных или в качестве газомоторного топлива.

2. Переход в фазу СПГ: В ряде случаев сжатый газ может быть подвергнут дальнейшему охлаждению и сжижению. Этот процесс, требующий более сложного и дорогостоящего криогенного оборудования, сокращает объем газа еще приблизительно в 3 раза по сравнению с КПП, что может быть экономически оправдано для более длительного хранения или определенных логистических схем.

Для определения оптимальных областей применения технологий сжиженного природного газа (СПГ) и сжатого природного газа (КПП) природного газа необходим многофакторный анализ.

1. Степень сокращения объема и энергетическая плотность.

Ключевое различие заключается в степени сокращения объема. СПГ, получаемый путем глубокого охлаждения до -162°C , сокращает исходный объем газа приблизительно в 600 раз. КПП, сжимаемый механически до давления 20-25 МПа, уменьшает объем в 200-250 раз. Как следствие, энергетическая плотность СПГ существенно выше. Это означает, что одна и та же транспортная единица перевезет значительно больше энергии в форме СПГ, чем в форме КПП [5].

2. Логистика и оптимальная дальность поставок.

Высокая плотность СПГ делает его экономически целесообразным для преодоления средних и больших расстояний (от 500-1000 км и более). Его доставка может эффективно осуществляться автомобильным, железнодорожным и морским транспортом. Низкая плотность КПП обуславливает его рентабельность на малых и средних расстояниях (до 200-500 км), где доставка осуществляется преимущественно автомобильным транспортом с использованием баллонных установок высокого давления. При превышении оптимального радиуса затраты на логистику КПП резко возрастают [7,11].

3. Требования к инфраструктуре хранения и эксплуатации.

Инфраструктура СПГ требует применения сложного и дорогостоящего криогенного оборудования — изотермических резервуаров, обеспечивающих поддержание низкой температуры, и регазификационных установок. Это влечет за собой высокие капитальные затраты. Инфраструктура КПП технологически проще и основана на использовании баллонов высокого давления и редукционных станций, что требует меньших первоначальных вложений, но создает ограничения по объемам хранения [5,8,10].

4. Экономические аспекты.

Структура затрат принципиально различается. Для СПГ характерны высокие капитальные затраты, связанные со строительством станций сжижения, криогенных хранилищ и терминалов. Однако его высокая плотность может привести к более низким эксплуатационным затратам на единицу перевезенной энергии при больших объемах и дальних расстояниях. Для КПП, напротив, характерны относительно низкие капитальные затраты, но более высокие операци-

онные затраты на логистику из-за низкой плотности энергии, что делает его чувствительным к тарифам на автотранспортные перевозки [7].

5. Безопасность.

Обе технологии считаются безопасными при соблюдении норм эксплуатации, но имеют разную природу рисков. СПГ при утечке быстро испаряется, образуя газовое облако, которое при наличии источника возгорания может воспламениться. Поскольку пары метана легче воздуха, облако быстро рассеивается. КПП хранится под высоким давлением, и основным риском является механическое повреждение баллона с возможным мгновенным выбросом большого объема газа.

На основе проведенного анализа можно выделить следующие сферы экономической целесообразности. Так, сжиженный природный газ лучше использовать на крупных и средних удаленных населенных пунктах с высоким энергопотреблением, на промышленных объектах, не подключенных к газотранспортной системе. Сжатый природный газ будет целесообразнее использовать на малых населенных пунктах, на мобильных и временных объектах.

Таким образом, технологии СПГ и КПП не являются взаимозаменяемыми, а выступают комплементарными решениями, покрывающими разные сегменты задачи децентрализованной газификации. Выбор между ними должен определяться конкретными условиями: объемом потребления, логистическим плечом, доступностью финансирования и требуемой мощностью.

Список литературы

1. Быков В.Ю. Развитие газового дела в России до 1917 г // Власть. 2018. №3. С. 113-117.
2. Васильева О.Е., Дмитриева А.А., Назарова Е.О. Энергообеспеченность сельской местности России: региональные особенности // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2023. №4 (69). С. 288-294.
3. КПП (компримированный природный газ) [Электронный ресурс] // GraF CNG. — URL: <https://grafcng.ru/KPG> (дата обращения: 22.10.2023).
4. Новак А. Ускоренная газификация регионов России - благополучие и комфорт наших граждан // ЭП. 2022. №7 (173). С. 7-11.
5. Рачевский Б.С. Использование сжатого и сжиженных углеводородных газов для газификации населенных пунктов, промышленных объектов и транспортных средств. Доклад на VI Международной научно-практической конференции «Сжатый и сжиженный газ-2003», Турция, Бильдиби, 12-19 октября 2003 г., фонды ЗАО «НефтеГазТоп», 2003. - 17 с.
6. Сжиженный природный газ: анализ мирового рынка и перспективы отечественного производства / Н. Г. Кириллов, Т. Б. Белозерова, А. Н. Лазарев, Ю. Н. Ярыгин, Ю. В. Дроздов // Газохимия. — 2010. — № 6 (16). — С. 23-29.
7. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии природного газа: технологии и оборудование : монография / Е. Б. Федорова. — М. : Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2011. — 159 с.
8. Коровкина, А. И. Использование тепла уходящих газов при эксплуатации котельных: пути повышения энергоэффективности / А. И. Коровкина, А. С. Дубинцев // Современные инновации в технике и технологиях : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 18 ноября 2025 года. — Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. — С. 155-159. — EDN JPGYOL.
9. Калинина, А. И. Анализ методов воздействия на нефть с высокой вязкостью флюидов / А. И. Калинина, А. И. Коровкина, А. В. Дядина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. — 2021. — № 2(23). — С. 37-43. — EDN WRDJUI.

10. Коровкина, А. И. Корпоративные инновации как способ инновационного развития страны / А. И. Коровкина, Н. В. Колосова // Цифровая и отраслевая экономика. – 2021. – № 3(24). – С. 37-40. – EDN BZPUFK.

11. Защита сооружений от коррозии блуждающими токами / З. С. Гасанов, А. И. Коровкина, Н. М. Попова, А. И. Калинина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2023. – № 3(32). – С. 24-29. – EDN WWRUPW.

12. Антикоррозионные покрытия трубопроводов / З. С. Гасанов, А. И. Коровкина, М. С. Кучмасов, И. С. Волков // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2022. – № 1(26). – С. 28-35. – EDN NURQJF.

Alina Igorevna Korovkina, PhD in Economics, Associate Professor

Victoria Sergeevna Orekhova, Master's Student

Diana Gennadyevna Serezhnikova, Master's Student

serezhnikova.diana20@yandex.ru

PROSPECTS FOR USING LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG) AND COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) FOR GASIFICATION OF REMOTE SETTLEMENTS

Abstract. This article examines the prospects for using liquefied (LNG) and compressed (CNG) natural gas for gasification of remote settlements without access to main gas pipelines. A comparative analysis of the technical and economic indicators of using LNG and CNG is provided, including logistics, storage, infrastructure costs, and environmental efficiency. The analysis identified key factors influencing the selection of the optimal gasification technology based on specific conditions (remoteness, population size, terrain). It concluded that cryogenic technologies (LNG) are highly competitive and promising for supplying large, remote consumers.

Keywords: gasification of remote communities, liquefied natural gas (LNG), compressed natural gas (CNG), autonomous power supply, comparative technical and economic analysis, hydrocarbon gas logistics, cryogenic technologies.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА

Коровкина Алина Игоревна, к.э.н., доцент

alinko199@mail.ru

Логинова Яна Владимировна, магистрант

loginovaaa_yana@mail.ru

Порядин Павел Андреевич, магистрант

pavel.poryadin@mail.ru

Воронежский государственный технический университет

В статье исследована экономическая и энергетическая эффективность, уровни теплопотерь, а также произведено сравнение экологических показателей, осуществлена оценка надежности и управляемости обеих систем. Сравнительный анализ централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения для условий умеренного климата позволяет принять решение о эффективности и рациональности привлечения подобных технологий в рамках отдельной организации. Сделан вывод о том, что проектирование и создание гибридных систем является перспективным направлением развития в теплоснабжении.

Ключевые слова: системы теплоснабжения, централизованное теплоснабжение, децентрализованное теплоснабжение, энергоэффективность, теплопотери, умеренный климат, сравнительный анализ, надежность, гибридные системы.

Энергоэффективность и надежность систем теплоснабжения являются одними из ключевых проблем в условиях растущих требований к устойчивому развитию городской инфраструктуры и сокращению выбросов парниковых газов. В регионах с умеренным климатом, для которого характерны продолжительные отопительные периоды и значительные колебания температур, вопрос выбора оптимальной системы теплоснабжения приобретает особую актуальность.

На сегодняшний день преимущественной моделью организации теплообеспечения остаются централизованные системы теплоснабжения, основанные на генерации тепла на крупных теплоэлектростанциях или котельных с последующей транспортировкой к жилым домам и зданиям. В то же время, благодаря развитию технологий все более заметной альтернативой становятся децентрализованные системы, подразумевающие автономное теплоснабжение отдельных зданий или кварталов. Наиболее широкое распространение децентрализованные системы получили в секторе малоэтажной и частной жилой застройки, а именно в частных домах и коттеджах, где подключение к центральным сетям часто экономически нецелесообразно или технически невозможно.

Кроме того, децентрализованные системы отопления активно применяются для обеспечения теплом удаленных объектов и зданий старой фондовой застройки при реконструкции. Несмотря на долгосрочную историю эксплуатации и надежность централизованной системы теплоснабжения, зачастую возникают проблемы, связанные с теплопотерями в протяженных сетях, а также высокими затратами на их модернизацию и ремонт. Децентрализованные системы, в свою очередь, позволяют избежать потерь в магистральных сетях, обеспечивают высокую энергетическую независимость и гибкость.

1. Описание систем теплоснабжения и их функций. Централизованная система теплоснабжения — это сложный инженерно-технический комплекс, предназначенный для снабжения тепловой энергией потребителей (жилых, общественных и промышленных зданий). Фундаментальный принцип централизованной системы заключается в разделении процессов генерации тепла и его потребления. Тепло производится на крупных источниках, таких как теплоэлектростанции (ТЭЦ) или районные котельные (РК), и транспортируется к потребителям по разветвленной сети трубопроводов (тепловым сетям) с помощью теплоносителя, в качестве которого обычно используется перегретая вода или пар [4].

Данный тип системы теплоснабжения выполняет ряд ключевых функций, которые определяют ее роль в жизнеобеспечении населенных пунктов и промышленных зон в условиях умеренного климата [2, 4]:

1. Энергогенерирующая функция, подразумевающая производство тепловой энергии требуемых параметров (температуры и давления) для нужд отопления,

вентиляции и горячего водоснабжения. Генерация осуществляется на крупных источниках тепла — ТЭЦ или в районных котельных. Это позволяет концентрировать выработку тепла в одном месте, применяя высокоэффективное оборудование и современные методы очистки выбросов.

2. Транспортно-распределительная функция, которая заключается в передаче теплоносителя (перегретой воды или пара) от источника генерации к рассредоточенным потребителям. Транспортировка происходит через разветвленную и закольцованную систему трубопроводов (тепловых сетей), включая магистральные, распределительные и квартальные линии. Эта функция гарантирует доставку тепловой энергии на значительные расстояния при минимально возможных теплопотерях.

3. Функция обеспечения надежности и резервирования. Подразумевает гарантированное и бесперебойное теплоснабжение потребителей, особенно в период пиковых зимних нагрузок. Достигается за счет наличия резервных мощностей на источниках тепла, кольцевания тепловых сетей и взаимного резервирования разных источников. Это позволяет проводить ремонтные работы без прекращения подачи тепла [7,8].

4. Регулировочно-управленческая функция. Обусловлена необходимостью поддержания оптимального гидравлического и температурного режима работы системы в соответствии с изменяющимися погодными условиями и потребностями абонентов. Осуществляется как централизованно на источнике, так и локально в центральных и индивидуальных тепловых пунктах с помощью автоматики, насосов и теплообменников.

5. Экономико-тарифная функция, подразумевающая обеспечение экономической эффективности теплоснабжения за счет эффекта масштаба и формирование единого, регулируемого тарифа для потребителей. Крупномасштабное производство тепла на ТЭЦ позволяет достичь наименьшей удельной стоимости единицы энергии. Наличие единого тарифа, устанавливаемого уполномоченными органами, делает затраты на тепло предсказуемыми для населения и бизнеса.

6. Экологическая функция. Концентрация выбросов от крупных источников позволяет применять дорогостоящее и высокоэффективное газоочистное оборудование, что технологически и экономически нецелесообразно для тысяч мелких котельных. Использование ТЭЦ дополнительно снижает общий расход топлива.

7. Социально-градообразующая функция обусловлена необходимостью обеспечения комфортных и безопасных условий проживания населения и функционирования социальной инфраструктуры (больниц, школ, детских садов).

Рассмотрим децентрализованную систему теплоснабжения. Она основана на принципе подготовки тепловой энергии непосредственно в месте ее потребления. Децентрализованные источники тепловой энергии для объектов различного назначения в зависимости от тепловой мощности и места расположения делятся на индивидуальные теплогенераторы, автономные источники теплоснаб-

жения и локальные котельные. Стоит отметить, что данные источники в центральной части России работают преимущественно на природном газе, а в регионах, где природный газ отсутствует — на жидком или твердом топливе [5].

Для сравнения централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения необходимо представить функции последней [1,9]:

1. Локальная энергогенерирующая функция. Производство тепловой энергии происходит непосредственно на объекте потребления или в пределах локальной группы зданий.

2. Функция энергетической автономии и независимости, характеризующаяся отсутствием зависимости от централизованных теплосетей и единого источника тепла, что позволяет потребителям самостоятельно выбирать режим отопления и проводить обслуживание по индивидуальному графику.

3. Адаптивно-регулирующая функция. Гибкое и оперативное регулирование теплового режима в соответствии с фактическими потребностями конкретного здания. Современные системы автоматики позволяют точно поддерживать заданную температуру в каждом помещении, программировать режимы отопления с учетом времени суток и сезона, оперативно реагировать на изменения погодных условий.

4. Функция минимизации транспортных потерь, которая позволяет полностью исключить или значительно сократить потери тепла при транспортировке.

5. Экономико-управленческая функция, которая осуществляется за счет того, что пользователи отопительного оборудования могут самостоятельно выбирать поставщика топлива, а также осуществлять точный учет и контроль потребления тепловой энергии позволяют пользователю эффективно управлять расходами на отопление.

6. Экологическая функция локального уровня. Применение высокоэффективных конденсационных котлов, тепловых насосов и других возобновляемых источников энергии позволяет минимизировать выбросы вредных веществ на локальном уровне.

2. Сравнительный анализ. Проводя сравнительный анализ, можно заключить, что централизованная система делает акцент на эффективности масштаба и надежности: энергогенерирующая функция сосредоточена на крупных объектах (ТЭЦ, котельных), что позволяет использовать мощное очистное оборудование, обеспечивать резервирование и формировать регулируемый тариф, тогда как ее транспортно-распределительная функция, несмотря на неизбежные потери в сетях, гарантирует снабжение целых районов и социальной инфраструктуры. В отличие от нее, децентрализованная система основана на принципе автономии и гибкости: локальная энергогенерирующая функция (индивидуальные котлы, тепловые насосы) полностью исключает транспортные потери и позволяет конечным потребителям самостоятельно управлять расходами и режимами отопления, обеспечивая высокую адаптивность, однако при этом теряются преимущества централизованной экологии (эффективность которой зависит от типа локального оборудования) и эффект масштаба, что может влиять на удельную стоимость энергии и требует самостоятельного обеспечения надежности.

Кроме того, критически важным является аспект управления и устойчивости систем. Централизованная модель подразумевает концентрацию ответственности, что, с одной стороны, упрощает контроль для городских властей, но с другой — создает риски монополизма и сложности с оперативным принятием решений. Децентрализованная система, напротив, распределяет ответственность среди множества собственников, стимулируя личную заинтересованность в эффективности, но усложняя проведение единой технической политики для всего города [6,10].

С точки зрения устойчивости, централизованная система уязвима к каскадным авариям, когда поломка на магистрали может оставить без тепла целые районы. В то же время, децентрализованный подход обладает свойством сетевой устойчивости: выход из строя одного котла является локальной проблемой. Однако это преимущество нивелируется рисками, связанными с неквалифицированным обслуживанием тысяч единиц оборудования и зависимостью от бесперебойных поставок топлива для множества независимых объектов.

Наконец, перспективы технологического развития и интеграции с другими инфраструктурами у этих моделей различны. Централизованное теплоснабжение — это, как правило, инерционная система, модернизация которой требует масштабных капиталовложений и координации. Децентрализованная технологически более гибка и адаптивна, позволяя быстрее внедрять энергосберегающие технологии на уровне отдельных зданий. Она также открывает больше возможностей для синергии, например, с системами рекуперации тепла вентиляции или локальной солнечной энергетикой [5].

Стоит отметить, что более 255 млн. тонн условного топлива тратится на использование первичной энергии. Тепло вырабатывается на 880 тепловых электростанциях, более 74 тысяч котельных единиц, а также на 12 млн. индивидуальных тепловых установок [6].

Основным преимуществом централизованной системы является поддержание стабильного гидравлического режима. Однако этому подходу присущ ряд существенных недостатков, таких как: низкая надежность пиковых источников тепла, необходимость в дорогостоящей водоподготовке подпиточной воды, значительная тепловая инерционность, приводящая к запаздыванию регулирования, а также колебания температуры в отапливаемых помещениях из-за влияния переменного расхода на систему отопления при работе горячего водоснабжения [3].

Анализ эксплуатации централизованных систем теплоснабжения в ряде городов свидетельствует о распространенной практике «недотопы» — систематической подачи сетевой воды с температурой ниже нормативной. В условиях высокого физического и морального износа тепловых сетей температура теплоносителя на выходе из теплоисточника даже в период сильных морозов часто не превышает 85–110 °С. Проблема «недоотпуска» тепловой энергии особенно обостряется зимой, когда критически важную роль должны играть пиковые источники. Длительное недофинансирование и недостаточное внимание к их содержанию привели к снижению как надежности, так и экономичности всей сис-

темы теплоснабжения. В некоторых случаях это перерастает в крупные аварии на магистральных теплопроводах, происходящие именно в пиковые периоды, когда в сетях поддерживаются максимальные температура и давление.

Низкая экономичность пиковых водогрейных котлов обусловлена значительными потерями тепла с уходящими газами, что снижает их коэффициент полезного действия. Согласно исследованиям, среднегодовой перерасход условного топлива по этой причине достигает 2,3 млн тонн, а дополнительный расход электроэнергии на преодоление гидравлического сопротивления из-за образования накипи в теплообменном оборудовании составляет около 64,6 млн кВт·ч в год. Кроме того, центральное качественное регулирование в сочетании с традиционной схемой работы пиковых котлов, предусматривающей высокие температуры теплоносителя, приводит в пиковые периоды к существенному росту потерь тепла через изоляцию теплосетей и повышает энергозатраты на перекачку теплоносителя.

Указанные проблемы стали одной из причин отказа от теплофикации новых жилых районов в пользу строительства локальных теплоисточников, таких как крышные и блочные котельные, или перехода на поквартирные системы отопления. Хотя децентрализованные системы и лишены термодинамических преимуществ комбинированной выработки тепла и электроэнергии, их экономическая эффективность в текущих условиях зачастую оказывается выше, чем у централизованных систем [3,10,11].

Ключевым преимуществом децентрализованных систем с точки зрения энергетической эффективности является возможность точного соответствия генерируемой тепловой мощности реальной нагрузке конкретного здания. В отличие от централизованных систем, работающих по заданному температурному графику без учета индивидуальных теплопотерь каждого дома, современные децентрализованные решения, такие как конденсационные котлы с модуляцией мощности и программируемые термостаты, динамически подстраиваются под фактические условия. Это исключает как недогрев, так и перетоп помещений, что приводит к прямому сокращению потребления энергоресурсов на 15-20% только за счет устранения избыточной генерации тепла [1].

Дополнительное преимущество в эффективности достигается за счет синергии с другими инженерными решениями здания. Децентрализованная система может быть оптимально интегрирована с приточно-вытяжной вентиляцией с рекуперацией тепла, используя утилизируемую энергию для предварительного подогрева воздуха или теплоносителя. Кроме того, такие системы открывают путь к использованию низкопотенциальной энергии, недоступной для крупных централизованных станций. Например, тепловые насосы, являющиеся децентрализованным источником, преобразуют рассеянное тепло грунта, воздуха или сточных вод, демонстрируя коэффициент эффективности 3-5, что означает получение 3-5 кВт·ч тепловой энергии на каждый 1 кВт·ч затраченной электрической [1, 5].

Выводы. На основании проведенного сравнительного анализа централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения для регионов с умеренным климатом можно сделать следующие основные выводы:

1. Не существует универсально оптимальной системы. Выбор между централизованной и децентрализованной моделью представляет собой компромисс, определяемый конкретными экономическими, техническими и градостроительными условиями.

2. Ключевым преимуществом централизованной системы является эффект масштаба, обеспечивающий низкую удельную стоимость тепловой энергии, и высокая надежность за счет резервирования. Она незаменима для плотной городской застройки и снабжения социально значимых объектов. Однако система страдает от значительных транспортных потерь, высокой тепловой инерционности и требует колоссальных капитальных вложений в модернизацию изношенных сетей и пиковых источников.

3. Основные преимущества децентрализованной системы — это гибкость, энергоэффективность и автономность. Полное исключение или минимизация потерь при транспортировке, возможность точного регулирования под нужды конкретного здания и легкая интеграция с современными технологиями делают данную систему высокоэффективным решением для малоэтажной, частной или удаленной застройки, а также для реконструируемых зданий.

В процессе анализа также было выявлено фундаментальные различия в управленческой парадигме этих систем. Централизованное теплоснабжение, характеризуясь единой ответственностью, обеспечивает системную управляемость, но создает риски монополизации и бюрократических барьеров для внедрения инноваций. Децентрализованная система, напротив, демонстрирует повышенную устойчивость к каскадным авариям и технологическую гибкость, позволяя быстрее адаптировать новые энергосберегающие решения, однако требует высокого уровня организации и контроля за множеством независимых объектов.

Таким образом, тенденция к отказу от новой теплофикации в пользу децентрализованных систем в современных условиях является экономически и энергетически обоснованной для многих сценариев. Перспективным направлением развития теплоснабжения представляется не противопоставление двух моделей, а формирование гибридных и гибких систем, где централизованная основа обеспечивает базовую нагрузку, а децентрализованные решения используются там, где они демонстрируют наибольшую эффективность, повышая общую устойчивость и надежность энергоснабжения регионов [11,12,13].

Список литературы

1. Бабина Н. А. Децентрализованное теплоснабжение -альтернатива централизованному // Вестник магистратуры. 2020. №2-1 (101). С. 128-135
2. Беспалов, В. И. Системы и источники энергоснабжения : учебное пособие / В. И. Беспалов ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 208 с.
3. Орлов М. Е. Исследование эффективности централизованных систем теплоснабжения [Электронный ресурс] // С.О.К. – Construction, Organization, Competence : [сайт]. – 2020. –

URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/issledovanie-effektivnosti-centralizovannyh-sistem-teplosnabzheniya> (дата обращения: 31.10.2025).

4. Стрелюхина, Т.А. Централизованное теплоснабжение. Контрольно-измерительные задания для самостоятельной работы студентов : учебно-методическое пособие / Т. А. Стрелюхина. – Пенза : ПГУАС, 2015. – 68 с.

5. Царьков С. А., Журавлева Н. В. Централизованные и децентрализованные схемы теплоснабжения // Вестник магистратуры. 2022. №1-1 (124). С. 24-25

6. Чачин А. В. Повышение энергетической эффективности теплоснабжения // Вестник магистратуры. 2021. №1-5 (112) С. 109-111.

7. Коровкина, А. И. Теплогенератор наружного размещения как решение для теплоснабжения зданий / А. И. Коровкина, А. И. Калинина, К. Р. Гнеушев // Молодежь и XXI век - 2025 : сборник научных статей 14-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 20–21 февраля 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 168-172. – EDN NKTGQC.

8. Колосова, Н. В. Анализ методов очистки поверхностей теплообменных аппаратов систем теплоснабжения / Н. В. Колосова, А. И. Коровкина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2025. – № 1(38). – С. 27-31. – EDN VGSOFB.

9. Гидравлический расчет тепловой сети с использованием гофрированной трубы Касафлекс / З. С. Гасанов, А. И. Коровкина, М. А. Долбилова, А. И. Калинина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2024. – № 2(35). – С. 22-26. – EDN CDACCK.

10. Методы борьбы с коррозией теплоэнергетического оборудования котельных и тепловых сетей в АПК / З. С. Гасанов, Н. В. Колосова, А. И. Коровкина [и др.] // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы (современный мир в условиях глобальной турбулентности) : Материалы VI Международной научно-практической конференции Новокузнецк, 08–09 декабря 2022 года / Отв. редактор Т.А. Евсина. редколлегия: Ю.А. Кузнецова [и др.]. – Кемерово-Новокузнецк: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2022. – С. 37-39. – EDN VOVQL.

11. Гудаев, И. В. Актуальные проблемы в сфере оказания услуг по теплоснабжению управляющими организациями и пути их решения / И. В. Гудаев, А. И. Коровкина // Строительство и недвижимость. – 2021. – № 1(8). – С. 95-99. – EDN EZJYAV.

12. Коровкина, А. И. Экологические проблемы, вызванные деятельностью предприятий нефтегазового сектора и действия компаний по снижению вреда экологии / А. И. Коровкина, З. П. Перминов, А. И. Калинина // Молодежь и системная модернизация страны : Сборник научных статей 9-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 15–16 мая 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 219-224. – EDN DQWRSQ.

13. Меры по предупреждению неблагоприятного воздействия строительства на экологическую обстановку в мире / С. Ю. Нерозина, Д. М. Тихонова, А. В. Вережкина, А. И. Коровкина // Строительство и недвижимость. – 2021. – № 2(9). – С. 131-135. – EDN SFKLRM.

Alina Igorevna Korovkina, PhD in Economics, Associate Professor

Loginova Yana Vladimirovna, Master's Student

Poryadin Pavel Andreevich, Master's Student

COMPARATIVE ANALYSIS OF CENTRALIZED AND DECENTRALIZED HEATING SYSTEMS FOR TEMPERATE CLIMATES

Abstract. This article examines economic and energy efficiency, heat loss levels, and compares environmental performance, assessing the reliability and manageability of both systems. A comparative analysis of centralized and decentralized heat supply systems for temperate climates allows for a decision on the effectiveness and feasibility of implementing such technologies within a given or-

ganization. It is concluded that the design and development of hybrid systems is a promising area of development in heat supply.

Keywords: heat supply systems, centralized heat supply, decentralized heat supply, energy efficiency, heat loss, temperate climate, comparative analysis, reliability, hybrid systems.

УДК 621. 785. 532

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ X12МФ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЕЙ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

Костин Николай Анатольевич, канд. техн. наук, доцент
(nikolay-kostin@yandex.ru)

Курский государственный университет, Россия,

Колмыков Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор
(mtio@kurskstu.ru)

Юго-Западный государственный университет, Россия

Костин Николай Николаевич, аспирант
(kostinnikolayn@yandex.ru)

Юго-Западный государственный университет, Россия

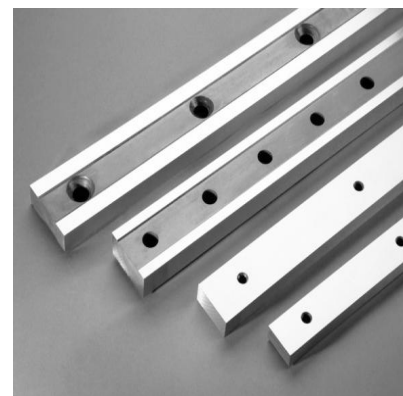
Исследованы особенности низкотемпературной нитроцементации стали X12МФ при 580 °С в высокоактивной соляной ванне на основе карбамида и карбоната натрия. Разработаны рекомендации по применению таких ванн для поверхностного упрочнения штамповой стали X12МФ, используемой для изготовления основных деталей (пуансон, матрица) штампового инструмента.

Проведенные исследования позволяют заключить, что нитроцементация стали X12МФ в жидкой среде при 580 °С приводит к образованию поверхностных слоев, насыщенных карбонитридами (преимущественно гексагональным ϵ -карбонитридом). Данные слои отличаются низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Применение предложенной ванны обеспечивает экологичность процесса за счет минимального расхода карбомида и повышает скорость нитроцементации, делая её сопоставимой с карбонитрированием в расплавленных цианистых солях.

Ключевые слова: низкотемпературная нитроцементация, структура диффузионного слоя, фазовый состав, износостойкость.

Введение

Инструменты для холодной штамповки-вырубki металлических заготовок обычно изготавливают из высокоуглеродистых сталей ($\geq 1\%$ С), таких как сталь X12, сталь X12МФ, и подвергают закалке с низким отпуском для достижения максимальной твердости [1].



а)



б)

Рисунок 1 – Инструмент для штамповых операций

Однако такая обработка снижает ударную вязкость, что может приводить к растрескиванию инструмента при ударных нагрузках [2]. Для повышения ударной вязкости высокоуглеродистых высокохромистых сталей (типа X12) после закалки применяют высокий, иногда двойной отпуск, увеличивающий ударную вязкость в 1,5–2 раза, но снижающий твердость и, как следствие, эксплуатационные характеристики инструмента [3; 4].

В качестве решения для повышения поверхностной твердости высокоотпущенной стали X12МФ вместо второго отпуска предложена нитроцементация при 550–580 °С («мягкое азотирование»). Она направлена на формирование на поверхности модифицированных слоев, насыщенных высокотвердыми карбонитридными фазами [5]. Это позволит решить практическую задачу повышения стойкости вырубных штампов, работающих в условиях повышенных динамических нагрузок [6; 7; 8].

Для низкотемпературной нитроцементации предложено использовать ванну на основе карбамида (мочевина) в качестве азотсодержащего компонента. Её основные преимущества – низкая токсичность и доступность, что перспективно для внедрения в инструментальное производство. Цель настоящей работы – исследование влияния режимов нитроцементации стали X12МФ в соляных ваннах на основе карбамида на структуру, твердость и износостойкость поверхностных слоев для совершенствования технологии упрочнения штампового инструмента холодного деформирования.

Таблица 1 – Химический состав образцов из стали X12МФ

Наименование элементов	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Ni	Прочие
Содержание элементов, % масс	1,42	0,30	0,26	12,06	0,82	0,06	0,32	P-0,02, S-0,02

Методика исследований

Образцы для исследований (диски Ø 50 мм, толщиной 10 мм) изготовили точением из проката стали X12MФ. Исходный химический состав определили на оптико-эмиссионном спектрометре OBLF QS 200 (табл. 1).

Образцы закаляли с температуры 1015 °С в масле и отпускали при 400 °С в течение 2 ч для повышения ударной вязкости.

Нитроцементацию проводили в лабораторной шахтной электропечи СШОЛ-12.МЗ.Ц4. Компоненты ванны расплавляли в стальном тигле (Ø 80×150 мм). Взвешенные соли тщательно перемешивали, засыпали в тигель и нагревали в печи со скоростью ~150 °С/ч для минимизации пенообразования. Перед взвешиванием компоненты просушивали при температуре 70° С в течении 2 ч. После расплавления и достижения рабочей температуры ванну стабилизировали в течение 1,5 - 2 ч, затем в неё помещали предварительно подогретые до температуры 200 °С (в муфельной печи ТП-2) образцы. Температуру контролировали электронным потенциометром с точностью ±2 °С [9; 10; 11].

На полученных образцах готовили поперечные микрошлифы механическим способом, протравливали их в 4% растворе азотной кислоты в этаноле и исследовали микроструктуру на растровом электронном микроскопе Quanta FEG-650 с системой микроанализа EBSD.

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3 в CuKα-излучении. Съемку выполняли с поверхности образцов после удаления (сошлифовки) хрупкой карбонитридной корки на глубину 0,05 мм.

Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3М по ГОСТ 9450, макротвердость — на твердомере Виккерса KBW-10V по ГОСТ 2999.

Твердость нитроцементованных образцов измеряли на твердомере ИТБРВ-187.5-М по Виккерсу (ГОСТ 2999), микротвердость — на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450) при нагрузке 0,981 Н.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате нитроцементации стали X12MФ в жидкой ванне представленного выше состава на поверхности образуются модифицированные слои со специфической структурой (рис. 2).

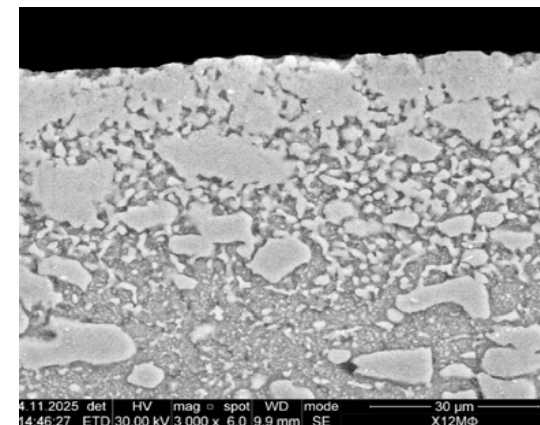


Рисунок 2 – Микроструктура поверхностного слоя стали X12MФ, нитроцементованной при температуре 580 °С в течение 3-х часов

На поверхности диффузионного слоя, полученного при низкой температуре, располагается слой толщиной 0,06...0,15 мм, содержащий многочисленные частицы светлой фазы в темной матрице. Рентгеноструктурный анализ показал, что этот слой представлен гексагональным карбонитридом ε и твердым раствором на основе α-железа (рис. 3).

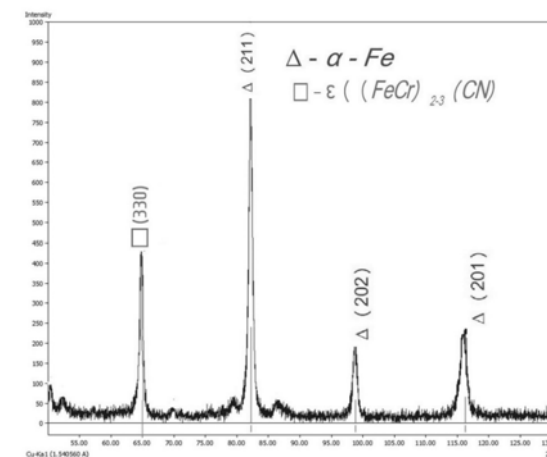


Рисунок 3 – Дифрактограмма, снятая с поверхности образца (на глубине 0,02 мм) стали X12MФ, нитроцементованной при температуре 580 °С (3 часа)

Следует отметить, что при низких температурах обработки, включая исследуемую температуру 580 °С, в нитроцементующей среде активно выделяется азот за счёт распада карбамида, что обуславливает протекание процесса преимущественно в режиме азотирования.

Карбонитрид ϵ ($\text{Fe,Cr})_{2-3}(\text{C,N})$ отличается широкой областью гомогенности по азоту, что обеспечивает относительно свободную диффузию этого элемента через карбонитридную корку вглубь металла. Таким образом, изменяя длительность нитроцементации, можно получать модифицированные слои на поверхности штампового инструмента заданной глубины.

На рис. 4 представлены результаты измерения глубины нитроцементованных слоёв при различной длительности обработки. Общая глубина нитроцементации измерялась до появления микроструктуры сердцевины (~50 % площади шлифа), а толщина карбонитридной корки — до четкой границы между карбонитридной и диффузионной зонами на протравленном микрошлифе.

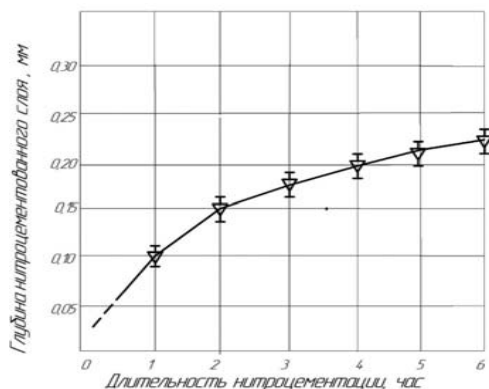


Рисунок 4 – Влияние длительности нитроцементации при 580 °C стали X12MF на глубину модифицированного слоя на поверхности

Износостойкость нитроцементованных слоёв в первую очередь определяется свойствами диффузионного слоя, который насыщен карбонитридными включениями и высокотвёрдым азотистым ферритом. Более того, твёрдость диффузионного слоя выше, чем у закалённой стали, что гарантирует сохранению высокой износостойкости режущего инструмента [12; 13; 14; 15].

Исследования стали X12MF показали, что её износостойкость после нитроцементации в режиме «мягкого азотирования» при 580 °C напрямую зависит от длительности процесса. На рисунке 5 представлена зависимость относительной износостойкости в условиях абразивного трения со смазкой, загрязнённой кварцевым песком.

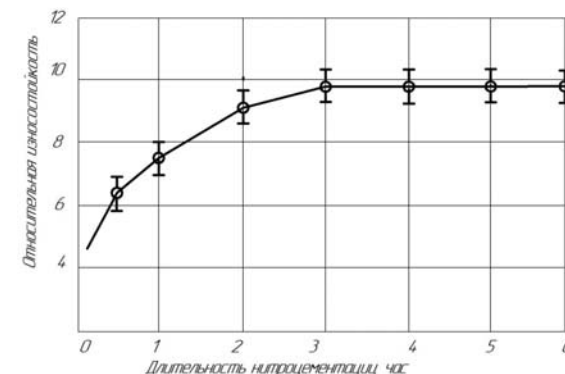


Рисунок 5 – Зависимость относительной износостойкости стали X12MF от длительности нитроцементации при температуре 580 °C

Проведенные испытания показали, что с увеличением времени нитроцементации от 2,5 до 3 часов приводит к быстрому росту износостойкости, тогда как дальнейшее увеличение продолжительности обработки не даёт прироста. Это свидетельствует о том, что наибольшее сопротивление абразивному изнашиванию достигается при толщине нитроцементованного слоя не менее 0,12 мм.

Заключение

Проведённые исследования показали, что нитроцементация штамповой стали X12MF в соляной ванне на основе карбамида и карбоната натрия (при 580 °C в режиме «мягкого азотирования») способствует формированию на поверхности модифицированных слоёв, насыщенных карбонитридами, преимущественно гексагональным карбонитридом ϵ ($\text{Fe,Cr})_{2-3}(\text{C,N})$. Карбонитрид ϵ характеризуется не только повышенной твёрдостью, но и низким коэффициентом трения, что обеспечивает высокую стойкость нитроцементованных слоёв против схватывания при сухом трении. Глубина модифицированных слоёв практически прямо пропорциональна длительности нитроцементации (скорость насыщения составляет около 0,1 мм/ч).

Модифицированные слои отличаются очень низким коэффициентом трения (в 2 раза ниже, чем у закалённой стали) и высокой износостойкостью. При этом износостойкость слоёв зависит от их толщины, определяемой временем обработки. В связи с этим длительность нитроцементации должна составлять не менее 2–3 часов.

Сталь X12MF, упрочнённая данным способом, может быть использована для изготовления гильотинных ножниц, а также основных деталей штампов (пуансонов, матриц) для холодной обработки металлов.

Список литературы

1. Адашкин, А.М. Инструментальные материалы в машиностроении: Учебник/ А.М. Адашкин. – Москва: НИЦ Инфра-М, 2024. –391 с.
2. Бегатов, Ж. Влияние режимов низкотемпературной нитроцементации на структуру и свойства стали 4ХМФС / Ж. Бегатов, М. Джалилова // Белорусско-узбекский научно-методический журнал. – 2022. – Vol. 1, No. 2. – Р. 45-48.

3. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2010. – 202 с.
4. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: монография / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. – Минск: БИТУ, 2006. – 198 с.
5. Герасимов, С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С. А. Герасимов, Л. И. Куксенова, В. Г. Лаптева. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 г. – 520 с.
6. Металлы и сплавы: Справочник/ Под ред. Заслуженного деятеля науки и техники РФ Ю.П. Солнцева.–С. Пб.: АНО НПО Профессионал, 2003.–1066 с.
7. Белашова, И.С. Регулирование фазового состава азотированного слоя в железе при химико-термической обработке в условиях термоциклирования / И.С. Белашова, Петрова Л.Г. // Вестник Московского авиационного института. – 2022. – №2. – С. 237–245.
8. Гадалов, В.Н. К вопросу о применении методов поверхностного упрочнения конструкционных и инструментальных материалов в современных условиях / В.Н. Гадалов, и др. // Материалы и упрочняющие технологии – 2004: сб. материалов XI юбилейной Росс. науч.-техн. конф. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2004. – С. 8–12.
9. Состав ванны для азотирования деталей из конструкционных и инструментальных сталей. Патент на изобретение, Российская Федерация, МПК C23C 8/66 RU 2714271 C1 опубл. 13.02.2020. Бюл. № 5. Авторы: Н.А. Костин, Е.В. Трусова, Н.Н. Костин и др.
10. Состав ванны для сульфидирования изделий из конструкционных и инструментальных сталей. Патент на изобретение, Российская Федерация, МПК C23C 8/52 RU 2764098 C1 опубл. 13.01.2022. Бюл. № 2. Авторы: Н.А. Костин, В.И. Колмыков, Н.Н. Костин и др.
11. Kostin N.A. Pack Cyaniding of Steel 6KH4M2FS in Order to Increase Heavily-Loaded Die Durability/N.A.Kostin//Metal Science and Heat Treatment. 2020.Vol. 62. Nos. 5 – 6. P 331-335.
12. Костин Н.А. Особенности закалки штамповых сталей 5ХГС и 5Х3ГС, науглероженных до заэвтектоидных концентраций/ Н.А. Костин// Черные металлы. 2020. №5. С. 31–36.
13. Костин Н.А. Повышение эксплуатационных свойств штамповой стали 5Х2ГФ путём создания карбонитридных слоёв химико-термической обработкой / Н.А. Костин, Металловедение и термическая обработка металлов №8 2016. С 19-22.
14. Mosecker L., Pierce D. T., Schwedt A., Beighmohamadi M., Mayer J., Bleck W., Wittig J. E. Temperature Effect on Deformation Mechanisms and Mechanical Properties of a High Manganese C+N Alloyed Austenitic Stainless Steel. Materials Science and Engineering: A. 2015.Vol. 642. pp. 71–83.
15. Тельдеков, В. А. Исследование технологии низкотемпературной нитроцементации для комплексного упрочнения деталей машин / В. А. Тельдеков, Л. М. Гуревич // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2021. – № 10(257). – С. 64-68.

*Nikolay Anatolyevich Kostin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kursk State University, 33, Radishchev Str., Kursk, 305000, Russia*

*Kolmykov Valery Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor
Southwest State University, 94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, 305040, Russia*

*Kostin Nikolay Nikolaevich, PhD student
(kostinnikolayn@yandex.ru)*

Southwest State University, 94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, 305040, Russia

MODIFICATION OF SURFACE LAYERS OF STAMPED STEEL X12MF BY NITROCEMENTING IN LIQUID MEDIUM

Abstract. The features of low-temperature nitro-cementation of steel X12MF at 580 °C in a highly active salt bath based on urea and sodium carbonate are investigated. Recommendations are developed for the use of such baths for surface hardening of die steel X12MF, used for the manufacture of the main parts (punch, die) of the stamping tool. The conducted research allows us to con-

clude that the nitro-cementation of X12MF steel in a liquid medium at 580 °C leads to the formation of surface layers saturated with carbonitrides (mainly hexagonal ϵ -carbonitride). These layers have a low coefficient of friction and high wear resistance. The use of the proposed bath ensures the environmental friendliness of the process due to the minimal consumption of carbamide and increases the rate of nitro-cementation, making it comparable to carbonitriding in molten cyanide salts.

Keywords: low-temperature nitrocarburization, diffusion layer structure, phase composition, and wear resistance.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Котенжи Екатерина Викторовна, студент

Лазутин Егор Викторович, студент

Гуляев Дмитрий Сергеевич, студент

Преображенский Юрий Петрович, профессор

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г.Воронеж, Россия

Статья посвящена анализу возможностей настроек характеристик различных электродинамических объектов.

Ключевые слова: автоматизация, электродинамический объект, характеристика.

В промышленности применяются разветвлённые системы обеспечения качества, охватывающие все этапы создания продукции – начиная от первоначального замысла и заканчивая выпуском готового изделия, при этом широко используются статистические подходы к контролю и специальные карты мониторинга [1]. Однако значительным ограничением таких систем является невысокая ценовая привлекательность выпускаемой продукции, обусловленная высокими затратами на её изготовление. Как правило, акцент делается на этапах проектирования и создании опытных экземпляров, а также при производстве единичных и малотиражных партий [2]. Согласно требованиям международных стандартов ISO, весь период существования продукта подразделяется на девять последовательных фаз [3]:

- исследование потребительского спроса (маркетинговые мероприятия);
- формирование технических заданий и выполнение работ по проектированию;
- обеспечение необходимыми ресурсами и материалами (логистика);
- разработка технических условий, технологических инструкций и создание рабочих процессов, включая изготовление опытных образцов продукции.
- выпуск продукции;
- обеспечение соответствия стандартам качества, включая проведение проверок, тестирование готовых товаров [4];
- упаковка, складирование и отправка готовой продукции потребителям;
- использование и техническое обслуживание;
- обработка отходов по окончании срока службы.

Анализ теорий обеспечения качества позволяет заключить, что поддержание высокого уровня качества требует непрерывного мониторинга, оценки и выработки обоснованных решений об улучшении системы контроля качества. Безошибочный надзор за каждым этапом гарантирует превосходное качество конечного продукта [5].

Рассмотрим упрощенно схему изготовления телекоммуникационного оборудования (ТО) с точки зрения системы управления.

Технологический процесс представляет собой этап производства, включающий последовательность целеустремленных шагов (стадий), направленных на изменение и/или установление характеристик готового продукта [6].

Преимущественно, основные свойства, влияющие на качество конечного изделия, создаются именно в процессе этого технологического цикла. Тем не менее, наличие погрешностей в нем приводит к расхождению между заданными параметрами изделия и фактически достигнутыми значениями.

Исследование факторов возникновения дефектов в конечном продукте демонстрирует, что под воздействием определенных условий [7] исходное сырьё может обладать переменной стабильностью своих показателей от одной поставки к другой. И даже при соблюдении всех норм качества материалов, эти изменения способны отражаться на результатах производства [8].

На процесс изготовления продукции оказывают воздействие факторы, сложно поддающиеся управлению. Предлагается рассматривать их как совокупность двух групп: стабильных, обусловленных несовершенством оборудования (включая износ), ошибками измерения и подобными дефектами, и переменных, вызванных факторами вроде загрязнения или отклонений от технологического процесса [9].

Следовательно, можно утверждать, что уровень качества продукции является ключевым показателем соответствия конечного результата заданным требованиям. Поэтому контроль необходим за всеми этапами обработки, непосредственно влияющими на качество, а также следует учитывать ошибки производственных операций и другие отрицательные воздействия [10].

Список литературы

1. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Исследование моделей для осуществления оценок характеристик рассеяния полых структур // Телекоммуникации. 2025. № 3. С. 33-48.
2. Преображенский Ю.П., Еременко И.А., Зяблов С.В. Анализ атак в информационных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
3. Преображенский Ю.П., Шапкин В.А., Уваров В.В. Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
4. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий // Антенны. 2007. № 8 (123). С. 59-61.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование и аппроксимация характеристик рассеяния элементарных отражателей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 3 (50).

6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Проектирование мобильных систем связи с учетом модельных характеристик электромагнитного рассеяния на почвенном покрове // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 2 (49).
7. Аветисян Т.В., Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. О проблемах автоматизации разработки электродинамических объектов на основе комбинированного подхода // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 1 (48).
8. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
9. Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Особенности информационного обеспечения службы качества компании // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 3 (38). С. 67-71.
10. Аветисян Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов восстановления радиолокационных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43).
11. Расчёт вероятности возникновения коллизий при использовании алгоритма контроля подлинности сообщений/ Таныгин М.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2-2. С. 179-182.
12. Определение погрешностей при использовании низкочастотной аппаратуры в электроразведке на постоянном токе/ Шкуратник В.Л., Таныгин О.Ф., Таныгин М.О.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 142-144.
13. Верификация данных, передаваемых между устройством и программным обеспечением/ Таныгин М.О.// Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2010. № 2. С. 49-52.
14. Об одном методе контроля целостности передаваемой блоково информации/ Таныгин М.О., Алшааи Х.Я., Алтухова В.А.// Телекоммуникации. 2019. № 3. С. 12-21.
15. Теоретические основы идентификации источников информации, передаваемой блоками ограниченного размера/ Таныгин М.О.// Курск, 2020.
16. Организация системы сетевого мониторинга и оценки состояния информационной безопасности объекта/ Марухленко А.Л., Селезнёв К.Д., Таныгин М.О., Марухленко Л.О.// Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23. № 1. С. 118-129.

Kotenzhi Ekaterina Viktorovna, student

Lazutin Egor Viktorovich, student

Gulyaev Dmitry Sergeevich, student

Preobrazhenskiy Yuriy Petrovich, professor

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, Russia

PROBLEMS OF TUNING THE CHARACTERISTICS OF VARIOUS ELECTRODYNAMIC OBJECTS

Annotation: The article is devoted to the analysis of the possibilities of setting the characteristics of various electrodynamic objects.

Key words: automation, electrodynamic object, characteristic.

О ПЕРСПЕКТИВАХ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПАНИЯМИ

Кривошусов Михаил Михайлович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,

г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов Павел Алексеевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова,

г. Санкт-Петербург, Россия

Макаров Дмитрий Михайлович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт

им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия

Платонов Дмитрий Павлович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники

им. Б.Е. Веденеева, г. Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена рассмотрению перспектив управления транспортными предприятиями.

Ключевые слова: автотранспортная организация, структура.

Разработка функциональной организационной структуры является главной задачей любого автотранспортного предприятия (АТП). Качество управления, его взаимосвязь и взаимодействие с производственными подразделениями в значительной степени определяет эффективность работы предприятия в целом [1]. Признаками оптимальной структуры управления являются: 1. Небольшое число департаментов с высококвалифицированным персоналом, 2. Небольшое число уровней управления, 3. Сосредоточение внимания на графике клиента, 4. Быстрое реагирование на изменения, 5. Высокая производительность и низкие затраты.

В стандартной организационной системе компании есть три отдельных блока управления: эксплуатационный, технический [2] и экономический, каждый из которых управляется соответствующим руководителем. Для типичного АТП характерна бесцеховая организационная структура, в которой все функции управления сосредоточены в менеджменте предприятия. Организация, состоящая из многих департаментов, должна соотносить свою деятельность с работой других отделов. Именно система координации является основой структуры организации, которую обычно определяют как совокупность устойчивых связей в компании. В основе работы организации лежат функциональные [3] обязанности подразделений. Для нормального функционирования необходимо, чтобы все отделы работали в правильном графике и в соответствии с потребностями

рынка, т.е. департаменты должны быть "гибкими", а также оперативными и должны полностью соответствовать их функциям.

Например, генеральный директор имеет право распоряжаться средствами и имуществом, заключать договоры, открывать банковские счета и распоряжаться ими, издавать приказы, нанимать и увольнять работников, применять меры по содействию и налагать штрафы. Тем не менее, генеральный директор несет ответственность за надлежащее и эффективное использование материальных [4] и человеческих ресурсов предприятия, улучшение состояния окружающей среды, здоровья и безопасности сотрудников. Если говорить в целом, он организует работу предприятия и несет полную ответственность за компанию и ее деятельности.

Управленческие подразделения АТП занимаются научной организацией транспортного процесса и эффективным использованием транспортных средств. Специалисты данного направления анализируют пути реализации наиболее эффективной транспортировки по самым низким ценам.

Техническое обслуживание [5] АТП фокусируется на поддержании транспортных средств в исправном состоянии и обеспечении развития производственной базы, а также составлению инструкций для логистических компаний.

Основными задачами технических служб компании являются:

- Организация надлежащего хранения подвижного состава.
 - Разработка и решение вопросов, связанных с укреплением производственной и технологической [6] базой завода.
 - Оперативное планирование всех видов технического обслуживания и ремонта автомобилей и автобусов.
 - Руководство совокупностью работ для обеспечения бесперебойного логистического процесса организации.
 - Разработка и внедрение организационно-технических мероприятий по совершенствованию производственных [7] процессов.
- Руководители всех уровней имеют не только административные, но и исполнительные функции. Поэтому менеджеры должны обладать высокими профессиональными навыками. Для сотрудников управления трудовой процесс представляет собой набор [8] функций, реализация основной из которых должна включать в себя планирование, организацию, координацию, контроль, учет, анализ и регулирование [9].

Но даже хорошо организованная система управления АТП не сможет осуществлять свою деятельность без ключевой профессии предприятия - водителя. Поэтому одной из важнейших задач АТП является правильная организация работы водителей, а их деятельность во многом зависит от плана перевозки и, следовательно, удовлетворения потребностей клиентов. В конечном счете это определяет эффективность [10] работы организации.

Список литературы

1. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.

2. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
3. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
4. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
5. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
8. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.
9. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.
10. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
11. Патент на полезную модель № 26142 U1 Российская Федерация, МПК G05B 19/18, G05B 17/02. Система автоматического управления следящими приводами оборудования с ЧПУ : № 2001106392/20 : заявл. 06.03.2001 : опубл. 10.11.2002 / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь ; заявитель Курский государственный технический университет. – EDN ZVGMAH.
12. Беседин, А. В. Система компьютерной поддержки технологического проектирования механической обработки с прогнозированием точности технологических процессов / А. В. Беседин, В. С. Титов // Медико-экологические информационные технологии - 2000 : Третья международная научно-техническая конференция, Курск, 23–24 мая 2000 года / Ответственный редактор: Н.А.Кореньевский. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2000. – С. 82-84. – EDN WUJJP.
13. Сеть абонентского доступа с использованием технологий Ethernet FTTH, PON / А. М. Белицкий, Р. Р. Иваненко, А. В. Беседин, А. Я. Клочков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2017. – № 1(70). – С. 8-15. – DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-8-15. – EDN YLZFTZ.
14. Титов, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом обработки деталей методами нечеткой логики / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике : Региональный сборник научных трудов. Том Выпуск 4. – Курск : Курский государственный технический университет, 2002. – С. 163-256. – EDN SIPXBT.
15. Титов, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом обработки деталей методами нечеткой логики / В. С. Титов, А. В. Беседин, М. В. Бобырь // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике : Региональный сборник научных трудов. Том Выпуск 4. – Курск : Курский государственный технический университет, 2002. – С. 163-256. – EDN SIPXBT.

Krivopuskov Mikhail Mikhailovich, specialist

Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia

Kulikov Pavel Alekseevich, specialist

S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Makarov Dmitriy Mikhailovich, specialist

A.P. Karpinsky All-Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia

Platonov Dmitry Pavlovich, specialist

All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedenev, St. Petersburg, Russia

ON THE PROSPECTS OF MANAGEMENT OF TRANSPORT COMPANIES

Annotation: The work is devoted to the consideration of the prospects for the management of transport enterprises.

Key words: motor transport organization, structure.

К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ БРОНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

Крюков Дмитрий Борисович, к.т.н., доцент

(e-mail: ddbbkk@yandex.ru)

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В данной статье анализируются перспективы и практические аспекты применения одного из наиболее эффективных методов создания композиционных броневых материалов – сварки взрывом.

Ключевые слова: сварка материалов взрывом, композиционный броневой материал, высокотехнологичный композит.

Современные вызовы в области безопасности требуют создания средств защиты, сочетающих максимальную стойкость с минимальной массой. Эпоха монолитной гомогенной брони уходит в прошлое, уступая место сложным композиционным системам. Эти системы представляют собой многослойные структуры, где каждый слой выполняет строго определенную функцию: керамика или интерметаллиды разрушают и дробят сердечник, а высокопрочная подложка (часто из алюминиевых или титановых сплавов) поглощает остаточную энергию и удерживает осколки.

Ключевой проблемой в создании такого рода материалов является соединение разнородных компонентов (например, стали и алюминия, титана и керамики), которые зачастую невозможно надежно сварить между собой традиционными способами сварки из-за разницы в температурах плавления, коэффициентах теплового расширения и образовании хрупких интерметаллических фаз. На этом фоне уникальные преимущества демонстрирует сварка взрывом.

Сварка взрывом – это процесс твердофазного соединения материалов, при котором кинетическая энергия, сообщаемая взрывчатым веществом, используется для соударения двух или более металлических пластин с чрезвычайно высокой скоростью (сотни м/с). Под колоссальным давлением в точке контакта

металлы ведут себя как идеальные жидкости, формируя зону соединения с интенсивным пластическим течением и взаимным проникновением друг в друга [1].

Как отмечают исследователи из Института проблем химической физики РАН: «Преимущество сварки взрывом заключается в том, что соединение происходит в твердой фазе без значительного нагрева материалов. Это позволяет избежать образования хрупких интерметаллидов в зоне соединения разнородных металлов, таких как сталь и алюминий, что критически важно для сохранения механической прочности композита» [2].

Этот метод позволяет создавать биметаллические и композиционные материалы больших площадей и толщин, недостижимых для других видов сварки.

Анализ литературных источников позволяет выделить несколько ключевых преимуществ сварки взрывом по сравнению с традиционными способами сварки:

- Соединение несвариваемых или трудносвариваемых металлов: Как уже упоминалось, сварка взрывом – едва ли не единственный промышленный способ неразъемно соединить, к примеру, высокопрочную сталь (для твердости) и легкий алюминиевый сплав (для массы) или титан (для стойкости и легкости).

- Высокая прочность и ударная вязкость: Волнообразная граница раздела, часто характерная для сварного шва, полученного взрывом, работает как механический замок и эффективно тормозит распространение трещин при динамическом нагружении композита [3].

- Отсутствие деградации свойств основного металла металлической матрицы композита: Поскольку процесс происходит без оплавления и существенного нагрева, исходные термообработанные состояния сплавов (закалка, старение) не нарушаются, сохраняя заданный комплекс эксплуатационных и физико-механических свойств готового композита.

- Масштабируемость: Технология сварки взрывом позволяет производить плакирующие листы крупных размеров, которые в дальнейшем могут быть подвергнуты механической обработке и штамповке для изготовления готовых изделий заданной геометрии.

Композиты, полученные с применением сварки взрывом нашли широкое применение в оборонной промышленности. Многие ведущие отечественные предприятия и научно-исследовательские институты (такие как Российский федеральный ядерный центр, АО «НПК «СПЛАВ», АО «ВНИИНМ», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и другие) обладают компетенциями и запатентованными решениями в этой области [4].

Броня для легкой техники: Классическим примером является использование биметаллических сталеалюминиевых плит, полученных сваркой взрывом, для корпусов боевых машин пехоты (БМП) и бронетранспортеров (БТР). Как отмечается в академических источниках, такая комбинация позволяет сочетать высокую твердость и стойкость наружного стального слоя с малым весом и энергопоглощением внутренней алюминиевой подложки, что критически важно для

создания защиты 5-6 класса по ГОСТ Р 50963-96 от бронебойных пуль калибра 12,7 мм и 14,5 мм [5].

Защита от кумулятивных средств поражения: Для борьбы с кумулятивными снарядами применяются композиты, включающие слои с разной плотностью и акустическим импедансом (например, сталь + медь или сталь + алюминий). В научных обзорах указывается, что сварка взрывом является ключевой технологией для создания таких многослойных "преград", эффективно разрушающих кумулятивную струю за счет создания ударно-волновых нагрузок и неравномерного сопротивления [6].

Индивидуальная защита и элементы усиления: Для изготовления бронежилетов и шлемов особой защиты применяются композиты на основе титана. Исследования, например, коллектива авторов из Пермского ПНИПУ, подробно изучили структуру и свойства "биметаллических композитов типа титановый сплав + высокопрочная сталь, полученных сваркой взрывом", подтвердив их высокую стойкость к импульсному нагружению, что актуально для защиты от осколков [7].

Авиационная техника: Защита критически важных узлов вертолетов и самолетов от осколков и стрелкового оружия. В работах специалистов Пензенского государственного университета описывается применение "композиционных броневых материалов на основе алюминия и титана с интерметаллическим упрочнением, полученных сваркой взрывом", для изготовления защитных экранов и панелей авиационной техники, что позволяет значительно снизить вес по сравнению со стальной броней [8-10].

Несмотря на преимущества, технология сварки взрывом имеет ряд ограничений:

Высокая стоимость и опасность процесса: Работы с взрывчатыми веществами требуют специальных лицензий, полигонов и строжайшего соблюдения мер безопасности.

Сложность контроля качества: Неразрушающий контроль соединения на больших площадях представляет собой сложную задачу. Часто применяется комбинация ультразвукового контроля и выборочных механических испытаний образцов. Исследования, ряда ученых, направлены на разработку надежных методов диагностики таких композитов [11].

Ограничения по геометрии: Классическая сварка материалов взрывом эффективна для соединения листовых заготовок. Сварка деталей сложной формы требует разработки специальных оснасток и методик.

Сварка взрывом доказала свою исключительную эффективность в создании высокотехнологичных композиционных броневых материалов, отвечающих парадигме «легче – прочнее – надежнее». Многочисленные примеры из патентной и научной литературы, от сталеалюминиевых композитов для бронетехники до титаностальных композитов для индивидуальной защиты, подтверждают ее широкое и успешное применение.

Несмотря на существующие ограничения, связанные со стоимостью и безопасностью технологий, её уникальность в соединении разнородных материалов обеспечивает ей прочные позиции в оборонной промышленности.

Перспективы развития лежат в области комбинирования сварки взрывом с другими технологиями (например, последующей прокаткой и штамповкой), а также в совершенствовании методов компьютерного моделирования процесса взрывного ударно-волнового нагружения, что позволяет оптимизировать параметры и минимизировать брак [12]. Дальнейшие исследования направлены на включение в композиты не только металлов, но и керамических слоев, а также на создание многослойных градиентных структур для противодействия новым видам угроз [13].

Список литературы

1. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом / А.А. Дерибас. - Новосибирск: Наука, 1980. - 176 с.
2. Лысак В.И., Кузьмин С.В. Сварка взрывом. Москва: Машиностроение, 2005. - 543 с.
3. Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом / И.Д. Захаренко. - Минск: Наука и техника, 1990. - 205 с.
4. Патент RU 2134396C1. Броневая конструкция для защиты от подкалиберных пуль стрелкового оружия / Г.И. Иванов и др.; патентообладатель Российский федеральный ядерный центр. - 1999. - Бюл. № 18.
5. Патент RU 93013021 А. Броневого материал / А.Ф. Алексеев и др.; патентообладатель ТОО "Полибрус". - 1995. - Бюл. № 16.
6. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В. Материалы и структуры легкой бронезащиты: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Машиностроение" / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 191 с.
7. Григорян В.А., Кобылкин И.Ф., Маринин В.М., Чистяков Е.Н. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования; под ред. В.А. Григоряна. М.: Изд. Радио Софт, 2008. 406 с.
8. Первухин Л.Б., Крюков Д.Б., Кривенков А.О., Чугунов С.Н. Разработка новых схем армирования композиционных материалов на основе интерметаллического упрочнения. Металлург. 2016. № 7. С. 85-87.
9. Крюков Д.Б. К вопросу о перспективах развития технологий бронирования военной техники на основе алюминиевых сплавов. Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2025. № 2 (28). С. 68-71.
10. Крюков Д.Б., Козлов Д.В. Перспективы применения металлических композиционных материалов для создания броней нового поколения. Вестник Пензенского государственного университета. 2016. № 2 (14). С. 103-108.
11. Розен А.Е., Крюков Д.Б., Соловьев В.А., Лось И.С. Метод неразрушающего контроля качества многослойных металлических материалов, полученных сваркой взрывом. Ползуновский альманах. 2007. № 1-2. С. 145-148.
12. Крюков Д.Б., Кривенков А.О., Чугунов С.Н., Гуськов Д.О. Аспекты моделирования новых композиционных армированных материалов с интерметаллическими упрочняющими элементами. Теория и практика современной науки. 2017. № 6 (24). С. 437-440.
13. Кривенков А.О., Крюков Д.Б., Гуськов М.С., Акимов А.А. Композиционный металлический материал с интерметаллическим упрочнением и регулируемым уровнем свойств. Транспортное машиностроение. 2025. № 7 (43). С. 27-34.

Kryukov Dmitry Borisovich, Ph.D., Associate Professor

Penza State University, Penza, Russia

TO THE QUESTION OF OBTAINING HIGH-TECH COMPOSITE ARMOR MATERIALS BY EXPLOSIVE WELDING

Abstract. This article analyzes the prospects and practical aspects of using one of the most effective methods for creating composite armor materials – explosion welding.

Keywords: explosion welding of materials, composite armor material, high-tech composite.

DOI 10.47581/2025.TM-14/Kularova-Vinokurova-01

ПОДХОДЫ МОДИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕЗА МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МОНОТОПЛИВА

Кулакова Екатерина Максимовна, студент

(e-mail: kulakova-katyusha@inbox.ru)

Петров Михаил Александрович, студент

(e-mail: mihawerber@gmail.com)

Винокурова Ирина Михайловна, к. т. н., доцент

(e-mail: vinokurovai@bk.ru)

Воронежский государственный технический университет,

г. Воронеж, Россия

В статье рассматриваются современные подходы к повышению энергоемкости однокомпонентных топлив методом оптимизационного синтеза и модификации их молекулярной структуры. Проведен анализ возможных вариантов составляющих компонентов и разработаны рекомендации по оптимизационным расчётам при выборе вида топлива, позволяющие повышать тепло-энергетические показатели топлив при сгорании.

Ключевые слова: унитарное топливо, модификация компонентного состава, энергоёмкость топлива.

Повышение энергоэффективности и снижение воздействия на окружающую среду являются ключевыми задачами современной энергетики [1-20]. Однокомпонентные топлива, характеризующиеся простотой использования и хранения, играют важную роль в различных областях, включая ракетную технику и авиацию. Одним из способов повышения эффективности таких топлив является увеличение их энергоемкости, то есть количества энергии, выделяемой при сгорании единицы массы или объема топлива (рис. 1) [21-30]. Достижение поставленной цели требует разработки новых подходов к синтезу и модификации молекулярной структуры топлив.



Результаты исследований и математические расчёты показали, что повышение энергоёмкости можно проводить с помощью следующих способов, представленных в таблице:

Способы повышения энергоёмкости		Ограничения/Преимущества в применении
1. Введение энергоемких функциональных групп	Нитрогруппы (-NO ₂), азидогруппы (-N ₃) и другие, содержащие связи с высокой энергией	Введение большого количества таких групп может привести к снижению стабильности топлива
2. Синтез полициклических углеводородов	Модификация структур путем введения заместителей	Полициклические структуры, такие как адамантан и кубан, характеризуются высокой плотностью и теплотой сгорания
3. Использование тяжелых атомов	Введение в молекулу топлива атомов с высокой атомной массой (например, галогенов)	Позволяет увеличить плотность. Однако, это может негативно сказаться на теплоте сгорания
4. Создание компактных молекулярных структур	Характеризуются малыми размерами, сложной внутренней организацией и способностью к плотной упаковке	Линейные молекулы имеют тенденцию к более низким плотностям по сравнению с циклическими или каркасными структурами
5. Введение каталитических добавок	Добавки, содержащие металлы переменной валентности (например, железо, медь)	Могут ускорять процесс горения и повышать полноту сгорания
6. Создание молекул с "внутренним окислителем"	Такие молекулы содержат как горючие, так и окислительные группы	Обеспечивает быстрое и полное сгорание

Одним из основных направлений повышения энергоёмкости является модификация молекулярной структуры. Наиболее перспективным подходом считается синтез соединений с высокой плотностью и наличием энергетически напряжённых фрагментов. Например, введение циклопропановых и норборнано-вых фрагментов повышает внутреннюю энергию за счёт напряжённых связей, что увеличивает теплоту сгорания.

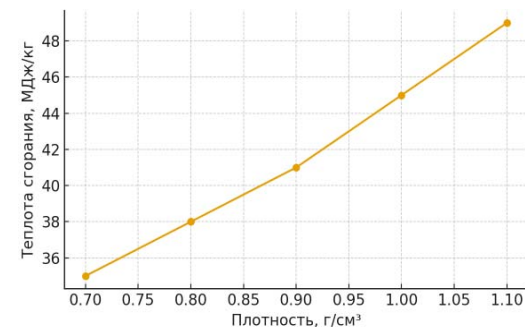


Рисунок 1 - Зависимость теплоты сгорания от плотности топлива

Такие соединения находят применение в разработке высокоэнергетических (рис. 2) жидких топлив для авиации и ракетных двигателей.

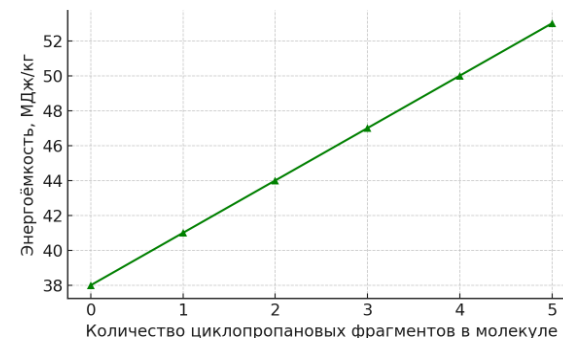


Рисунок 2 - Влияние содержания циклопропановых фрагментов на энергоёмкость топлива

Другим направлением является создание полициклических и каркасных структур. Компактная пространственная упаковка молекул способствует росту плотности и объёмной энергии. Примером служат производные кубана и синтина (JP-10), обладающие высокой плотностью и теплотой сгорания до 45–50 МДж/кг.

Современные подходы включают использование вычислительных методов и машинного обучения для прогнозирования свойств ещё до синтеза. Это позво-

ляет за короткое время оценить тысячи кандидатов по показателям плотности, теплоты сгорания и стабильности, выбирая наиболее перспективные молекулы для дальнейших экспериментов.

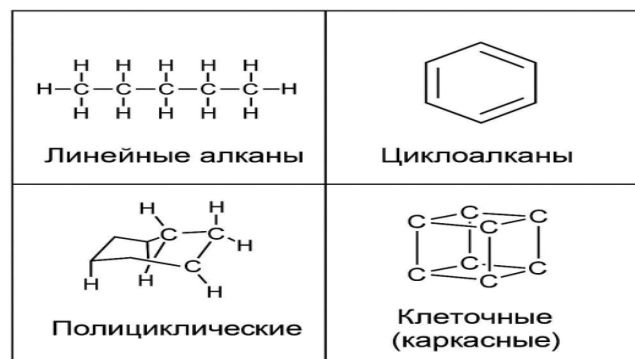


Рисунок 3 - Типы молекулярных структур топлива

В результате можно заключить, что повышение энергоёмкости однокомпонентных топлив достигается комплексным воздействием на молекулярную структуру (рис. 3). Наибольший эффект дают плотные каркасные и напряжённые структуры, сочетающие высокую теплоту сгорания [10-25] и устойчивость. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию синтетических путей и создание экологически безопасных высокоэнергетических соединений. Для современного ракетостроения в области однокомпонентных топлив, особенно важно повышение энергоэффективности [26-30], при условии наименьших затрат и воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Лапшин В.Ф., Синицын А.А. Высокоэнергетические углеводородные топлива. — М.: Химия, 2019. — 248 с.
2. Шрейдер Е.Я. Основы химической термодинамики топлив и горения. — Л.: Химия, 1987. — 312 с.
3. Zhukov V. P., Kolesnikov A. A. High-Energy Density Hydrocarbon Fuels for Aerospace Applications // Russian Journal of Physical Chemistry B. — 2020. — Vol. 14, No. 5. — P. 720–731.
4. Fischer T., Clark T. Molecular design of high-energy density fuels using computational chemistry // Energy & Fuels. — 2021. — Vol. 35(8). — P. 6763–6775.
5. Zhang C., et al. Synthetic Strategies for Cage Hydrocarbons: Toward High-Density Fuels // Chemical Reviews. — 2022. — Vol. 122, No. 3. — P. 2411–2435.
6. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчёт агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. Машиностроение, Москва 1986. С. 7-13.
7. Егорыч В.С., Кондрусев В.С. Топлива химических ракетных двигателей, Издательство СГ АУ 2007. С. 8-21.
8. Васильев А.П. Основы и теории жидкостных ракетных двигателей / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов, В.Д. Курпатенков, А.М. Обельницкий, В.М. Поляев, Б.Я. Полуян // Высшая школа, 1993. Москва. Ч.1 С. 6-24, С. 92-105.
9. Винокурова И.М. Оценка риска возможности аварий в промышленности при эксплуатации опасных производственных объектов / И.М. Винокурова, Е.Н. Кудинова // мат. II-й

междунар. науч.-практ. конф. Обеспечение экологической безопасности в чрезвычайных ситуациях. Воронеж. 2006. Ч. 2. С. 102-105.

10. Винокурова И.М. Устранение распространения аварийно-химически опасного вещества в условиях аварийных выбросов / И.М. Винокурова, Е.В. Скозубенко // мат. II-й междунар. науч.-практ. конф. Обеспечение экологической безопасности в чрезвычайных ситуациях. Воронеж. 2006. Ч. 2. С. 76-78.

11. Бородин В.С. Оценка эколого-химического состояния объектов авиакосмической промышленности по обеспечению безопасной работы / В.С. Бородин, И.М. Винокурова, А.А. Сидоренко, Л.Б. Сафонова // сб. науч. тр. Междунар. науч. технич. конф.: Технологии и техника: пути инновационного развития. Воронеж, 2023. С. 116-121.

12. Титаренко Л.А. Определение параметров выбора топливной пары для обеспечения безопасности окружающей среды / Л.А. Титаренко, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2022). Воронеж, 2022. С. 48-54.

13. Титаренко Л.А. Оптимизация затрат на обслуживание ракет за счет перехода на топливную пару кислород-метан / Л.А. Титаренко, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2022). Воронеж, 2022. С. 167-173.

14. Исламов Б.У. Исследование оптимального состава безазотистых видов топлива для ракетополетов / Б.У. Исламов, Н.А. Юров, И.М. Винокурова, Т.А. Башарина // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2022). Воронеж, 2022. С. 173-180.

15. Наумова Ю.С. Дифференцирование методов охлаждения агрегатов жидкостных ракетных двигателей / Ю.С. Наумова, Милютин А.М., Винокурова И.М. // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2022). Воронеж, 2022. С. 153-160.

16. Коломыцев М.В. Изучение преимуществ работы двигателя рд-0162 на метановом топливе / М.В. Коломыцев, А.М. Милютин, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 68-74.

17. Карачев Д.А. Перспективы использования ацетилен-содержащих составов в качестве компонентов ракетного топлива / Д.А. Карачев, Ю.Д. Брянь, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 11-19.

18. Титаренко Л.А. Перспективы перехода ЖРД на топливную пару кислород-метан / Л.А. Титаренко, Д.О. Кошелев, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 42-44.

19. Селезнев А.А. Процесс получения сжиженного водорода и его преимущества / А.А. Селезнев, Д.О. Кошелев, Д.А. Мостипанов, Л.А. Титаренко, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 38-40.

20. Кошелев Д.О. Измерение объемов баков в ракетостроении / Д.О. Кошелев, А.А. Селезнев, Л.А. Титаренко, Д.А. Мостипанов, Винокурова И.М. // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 35-37.

21. Юров Н.А. Выбор оптимального состава безазотного топлива для ЖРД / Н.А. Юров, Б.У. Исламов, И.М. Винокурова, Т.А. Башарина // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 33-35.

22. Тычинина А.А. Анализ требований по технике безопасности аэрокосмических комплексов в машиностроении / А.А. Тычинина, Е.Е. Хлоповских, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 323-328.

23. Хлоповских Е.Е. Анализ развития новейшей авиакосмической техники / Е.Е. Хлоповских, А.А. Тычинина, И.М. Винокурова, А.А. Болдырев // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 20-22.

24. Тычинина А.А. Систематизация основных требований для безопасности промышленных предприятий авиакосмического комплекса / А.А. Тычинина, Е.Е. Хлоповских, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2021). Воронеж, 2021. С. 123-124.

25. Карачев Д.А. Изучение возможностей улучшения свойств материалов для авиакосмических агрегатов и оборудования / Д.А. Карачев, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2020). Воронеж, 2020. С. 92-94.

26. Чаркин Д.В. Оценка и сравнение эффективности ракетного топлива «жидкий кислород + керосин» по параметрическим характеристикам / Д.В. Чаркин, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2020). Воронеж, 2020. С. 238-242.

27. Подакин Н.А. Влияние применения различных видов топливных компонентов на параметрические показатели мощности ракетных двигателей / Н.А. Подакин, М.А. Курбатов, В.С. Носова, И.М. Винокурова // сб. тр.: XXII Междунар. науч.-технич. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Авиакосмические технологии (АКТ-2018). Воронеж, 2018. С. 142-144.

28. Тарасов С.С. Основные аспекты выбора ракетного топлива / С.С. Тарасов, П.А. Кондратьев, И.В. Винокуров, И.М. Винокурова // межвуз. сб. науч. тр.: Химия, новые материалы, химические технологии. Воронеж, 2014. С. 116-120.

29. Яскевич О.Г. Экономические аспекты проектирования экологически чистых технологий / О.Г. Яскевич, С.М. Пасмурнов, И.М. Винокурова, Ю.Н. Шалимов // сб. тр. Междунар. конференции и Российской научной школы.: Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных, электронных и лазерных технологий. 2001. С. 131-133.

30. Винокурова И.М. Устранение распространения аварийно-химически опасного вещества в условиях аварийных выбросов / И.М. Винокурова, Е.В. Скозубенко // сб. тр. II-й Междунар. науч.-практич. конф.: Обеспечение экологической безопасности в чрезвычайных ситуациях. Воронеж, 2006. С. 76-78.

Kulakova Ekaterina Maksimovna, student

Petrov Mikhail Aleksandrovich, student

Vinokurova Irina Mikhailovna, Cand. Tech. Sci., associate professor

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

APPROACHES TO MODIFICATION OF THE SYNTHESIS OF THE MOLECULAR STRUCTURE OF COMPONENTS TO INCREASE THE ENERGY CAPACITY OF MONOFUEL

Abstract: *This article examines modern approaches to increasing the energy content of single-component fuels through optimized synthesis and modification of their molecular structure. An analysis of possible component combinations is conducted, and recommendations for optimization calculations when selecting a fuel type are developed, allowing for improved thermal energy performance of fuels during combustion.*

Keywords: *single-component fuel, component composition modification, fuel energy content.*

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ CAD-МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Куралесин Вячеслав Викторович, к.т.н., доцент

(e-mail: v.kuralesin@mail.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж, Россия

Статья содержит сравнительный анализ современных систем автоматизированного проектирования (САПР) различных классов, включая оценку их функциональности и экономической эффективности. Особое внимание уделяется интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ), в частности генеративного дизайна, в такие платформы, как Autodesk Fusion 360 и Siemens Solid Edge. Авторы отмечают, что развитие облачных САПР и внедрение ИИ-инструментов открывает новые возможности для автоматизации проектирования, однако выбор системы должен определяться конкретными задачами предприятия.

Ключевые слова: ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, искусственный интеллект, генеративный дизайн, сравнительный анализ, облачные САПР, CAD-системы.

Современное промышленное производство сталкивается с противоречием: необходимостью создавать все более сложные изделия в сжатые сроки. Традиционные методы и классические системы автоматизированного проектирования (САПР) приближаются к пределу своей эффективности, требуя принципиально новых подходов [1]. Таким качественным скачком становится интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ), в частности, генеративных моделей. Их применение для автоматизированного создания CAD-моделей представляет собой не инструмент ускорения, а новую парадигму проектирования. Эта парадигма предполагает делегирование машине поиска оптимальных решений в пространстве, заданном инженером через цели и ограничения, что особенно актуально для сложных деталей с многокритериальными требованиями. Актуальность подтверждается активными разработками ведущих вендоров и появлением специализированных облачных платформ. Целью работы является анализ возможностей и ограничений применения генеративных моделей ИИ для автоматизированного создания CAD-моделей сложных деталей на основе обзора существующих разработок.

Интеграция ИИ в САПР развивается по нескольким направлениям. Ключевое различие лежит между системами, основанными на правилах, которые автоматизируют известные операции, и системами генеративного проектирования. Именно последние позволяют создавать множество вариантов конструкции на основе заданных критериев, находя решения, которые могут быть упущены при традиционном подходе. Этот метод лежит в основе автоматизированного синтеза CAD-геометрии.

Современные системы уже используют ИИ для помощи в рутинных операциях. Например, платформы анализируют действия пользователя и геометрию, предлагая выбрать все схожие элементы для обработки или автоматически размещая массивы объектов по аналогии с созданным вручную. Это промежуточный этап. Более продвинутым применением является генеративный дизайн. Здесь инженер определяет параметры, условия (крепления, нагрузки, материалы, способы производства), а система генерирует и оптимизирует множество вариантов, обучаясь на каждом новом проекте. Примерами являются облачные платформы Autodesk и модули в коммерческих САПР, таких как Siemens Solid Edge или PTC Creo.

Эффективность генеративных систем неразрывно связана с этапом инженерного анализа (CAE). ИИ используется для оптимизации моделирования (например, построения сетки) и интеллектуального анализа результатов, выявления закономерностей и даже предложения путей изменения геометрии для снижения напряжений. Таким образом, генеративная модель может быть встроена в итеративный цикл «синтез-анализ», где результаты расчетов немедленно влияют на эволюцию формы.

Однако ключевой проблемой является организация данных для обучения и работы ИИ. Накопленные на предприятиях архивы CAD-моделей в системах управления данными (PDM/PLM) часто не содержат семантической информации о функции деталей. Для решения этой проблемы предлагается концепция, основанная на «аффордансе» – свойстве объекта, указывающем на возможные способы его использования и связывающем геометрию с функцией [2]. Наделение CAD-моделей атрибутами аффорданса позволяет создать семантическую связь между уровнем геометрии, уровнем данных об изделии (PDM) и уровнем требований (ECM). Это формирует структурированную базу знаний, на основе которой может работать интеллектуальный ассистент, способный не только генерировать новую геометрию, но и понимать ее назначение и контекст использования.

Выбор технологической платформы зависит от задач предприятия [3]. Генеративные инструменты развиваются как в рамках тяжелых САПР (NX, CATIA), так и в системах среднего уровня (SolidWorks, Inventor, Компас-3D) и облачных решений (Fusion 360, Onshape) [4]. Облачные платформы предлагают доступную вычислительную мощность для сложных алгоритмов, но создают риски для конфиденциальности данных, что может стимулировать развитие локальных корпоративных решений или использование отечественных программных комплексов с полным контролем над инфраструктурой [5].

Применение генеративных моделей ИИ для создания CAD-моделей знаменует переход к новой парадигме проектирования, где машина занимается синтезом оптимальных форм на основе заданных человеком целей. Это позволяет решать сложные многокритериальные задачи и находить нетривиальные конструктивные решения. Успешная реализация этого потенциала зависит не только от алгоритмов машинного обучения, но и от построения целостного информационного пространства предприятия, где семантически обогащенные данные

связывают геометрию с ее функцией и контекстом жизненного цикла. Несмотря на существующие вызовы, связанные с безопасностью данных, вычислительными ресурсами и кадровыми компетенциями, развитие данного направления способно обеспечить радикальный рост эффективности проектирования и укрепить конкурентоспособность промышленности в эпоху цифровой трансформации.

Список литературы

1. Попов, Ю. Г. Искусственный интеллект в системах автоматизированного проектирования: краткий обзор / Ю. Г. Попов // Вестник современных цифровых технологий. – 2023. – № 14. – С. 35-41. – EDN EBSST.
2. Кучеров, С. А. Стратегия внедрения CALS-технологий в АПК / С. А. Кучеров, В. В. Куралесин // Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса : Сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 05 июня 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 64-67. – EDN EDDUKO.
3. Гундрова, Ю. С. Применение CAE технологий в жизненном цикле промышленного изделия / Ю. С. Гундрова, В. В. Куралесин // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем АПК : Сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 30 мая 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 71-74. – EDN QSAUQQ.
4. Иванец, М. Э. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования / М. Э. Иванец, В. В. Сорочан // Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского : Материалы региональной университетской научно-практической конференции, Калуга, 17–18 апреля 2019 года. – Калуга: ФБГОУ ВПО "Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского", 2019. – С. 451-457. – EDN IPILUR.
5. Терехин, М. А. Концептуальный подход к интеграции искусственного интеллекта в инженерную деятельность / М. А. Терехин, А. В. Иващенко, Г. А. Кулаков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 2(49). – DOI 10.26102/2310-6018/2025.49.2.031. – EDN CNVPEF.

Vyacheslav Viktorovich Kuralesin, Cand.Tech.Sci.

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

APPLICATION OF GENERATIVE AI MODELS FOR AUTOMATED CREATION OF CAD MODELS OF COMPLEX PARTS

Abstract. This article provides a comparative analysis of modern computer-aided design (CAD) systems of various classes, including an assessment of their functionality and cost effectiveness. Particular attention is paid to the integration of artificial intelligence (AI), particularly generative design, into platforms such as Autodesk Fusion 360 and Siemens Solid Edge. The authors note that the development of cloud-based CAD systems and the introduction of AI tools open up new opportunities for design automation, but the choice of system should be determined by the specific needs of the enterprise.

Keywords: computer-aided design systems, artificial intelligence, generative design, comparative analysis, cloud-based CAD systems, CAD systems.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ CAD- МОДЕЛЕЙ

Куралесин Вячеслав Викторович, к.т.н., доцент
(e-mail: v.kuralesin@mail.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г.Воронеж, Россия

В статье представлен всесторонний обзор современных методов машинного обучения и их практического применения в задачах строительной инженерии. Автор систематизирует и критически анализирует основные подходы, включая контролируемое, неконтролируемое и обучение с подкреплением, с акцентом на прогнозирование свойств материалов, оценку структурной целостности и оптимизацию проектирования. Рассматриваются ключевые вызовы и будущие направления развития, что делает статью ценным источником для исследователей и практиков, стремящихся интегрировать технологии ИИ в свою работу.

Ключевые слова: машинное обучение, строительная инженерия, прогнозирование свойств материалов, структурный анализ, обзор, искусственный интеллект.

В условиях накопления огромных библиотек цифровых моделей и необходимости автоматизации инженерных процессов ручной поиск, классификация и извлечение информации из CAD-файлов становятся узким местом. Традиционные методы, основанные на текстовых метаданных или ручном назначении атрибутов, характеризуются высокой трудоемкостью, субъективностью и риском ошибок. Актуальность задачи связана с потребностями цифрового производства, где автоматизация поиска, классификации и извлечения данных из обширных библиотек моделей критически важна для повышения эффективности жизненного цикла изделий. Целью работы является анализ применения методов компьютерного зрения для автоматического распознавания и семантического анализа CAD-моделей.

Исторически одной из первых интеграций CAD и компьютерного зрения была система, использовавшая геометрические модели для распознавания объектов на двумерных изображениях [1]. Этот подход показал, что данных чистой геометрии недостаточно, и модели необходимо обогащать данными о внешнем виде и функциях. Позднее развились методы прямого анализа трехмерных CAD-данных. Так, метод итерационного анализа проскальзывания был направлен на надежную сегментацию моделей механических деталей на базовые примитивные поверхности [2]. Алгоритм решал сложные задачи точного вычисления нормалей и определения границ поверхностей в зашумленных данных, используя комбинацию тензорного голосования, регионарного наращивания и модифицированного алгоритма RANSAC.

Современные исследования концентрируются на распознавании функционально значимых компонентов, а не только примитивов. В одной из работ

предлагается двухэтапный алгоритм распознавания стандартных деталей, таких как винты и подшипники, на основе формы и контекста [3]. Это подтверждает ранний тезис о недостаточности одной лишь геометрии. После первичной формульной классификации контекстная проверка анализирует схемы монтажа и пространственные отношения детали, что позволяет уточнить ее функцию, вычислить параметры и отсеять ошибки.

Параллельно решается задача геометрического поиска в базах CAD-моделей. Один из методов предполагает преобразование файлов в частотное представление для генерации уникальных геометрических отпечатков, аналогичных аудиофingerprintам [4]. Такой подход обеспечивает без потерь поиск как точных совпадений, так и моделей с похожими признаками, что полезно для работы с множеством вариантов от топологической оптимизации.

Зарубежные исследования дополняются работами, посвященными системным аспектам. Эффективность анализа сборок может зависеть от методологии проектирования: нисходящий подход, начинающийся с общей компоновки, может облегчать контекстный анализ благодаря изначально заложенным связям между компонентами [5]. Кроме того, успешная обработка CAD-данных требует решения вопросов информационного и лингвистического обеспечения, включая надежные механизмы обмена данными между различными системами [6].

Ключевым наблюдением является устойчивый переход от использования CAD-данных для задач классического компьютерного зрения к их прямому семантическому анализу как самостоятельных объектов. Методы эволюционируют от распознавания примитивов к идентификации функциональных компонентов. Сохраняется проблема выбора исходного представления данных: работа с точным B-Rep позволяет извлекать параметры, но не всегда доступна, в то время как анализ полигональных сеток требует сложной обработки [1, 2, 4]. Большинство алгоритмов остаются специализированными, и создание универсального метода для поиска и сравнения моделей произвольного типа — актуальная задача. Внедрение технологий распознавания осложняется необходимостью их интеграции в существующие инженерные практики и информационные системы предприятия [5, 6].

Будущие исследования могут развиваться в нескольких направлениях. Перспективна глубокая интеграция машинного обучения, особенно нейронных сетей, для создания более универсальных классификаторов, способных обобщать инженерные знания о функциях деталей. Второе направление — разработка стандартизированных форматов для семантического обогащения CAD-моделей, описывающих не только геометрию, но и функциональные роли, материалы и условия сопряжения. Это сделало бы модели интероперабельными для систем автоматизированного планирования. Третья область — создание комплексных систем, объединяющих в одном конвейере точный геометрический поиск, функциональную классификацию и проверку совместимости компонентов. Наконец, важно исследовать человеко-машинное взаимодействие, разрабатывая

интерфейсы, которые предоставляют инженеру понятное обоснование решений алгоритма.

Проведенный анализ показывает, что методы компьютерного зрения для анализа CAD-моделей сформировали самостоятельное научное направление. Устойчивым принципом является необходимость сочетания геометрического и контекстного анализа. Несмотря на прогресс в сегментации, распознавании и поиске, сохраняются вызовы, связанные с универсальностью алгоритмов и их интеграцией. Дальнейшее развитие, связанное с машинным обучением, семантическими стандартами и сложными поисковыми системами, будет способствовать трансформации архивов CAD-моделей в активные базы знаний для цифрового производства.

Список литературы

1. Bonino B., Giannini F., Monti M., Raffaelli R. Shape and Context-Based Recognition of Standard Mechanical Parts in CAD Models // Computer-Aided Design. 2023. Vol. 155. Art. 103438. DOI: 10.1016/j.cad.2022.103438.
2. Yi B., Liu Z., Tan J., Cheng F., Duan G., Liu L. Shape recognition of CAD models via iterative slippage analysis // Computer-Aided Design. 2014. Vol. 55. P. 13-25. DOI: 10.1016/j.cad.2014.04.008.
3. Byne J.H.M., Anderson J.A.D.W. A CAD-based computer vision system // Image and Vision Computing. 1998. Vol. 16, no. 8. P. 533-539. DOI: 10.1016/S0262-8856(98)00100-0.
4. Li W., Mac G., Tsoutsos N.G., Gupta N., Karri R. Computer aided design (CAD) model search and retrieval using frequency domain file conversion // Additive Manufacturing. 2020. Vol. 36. Art. 101554. DOI: 10.1016/j.addma.2020.101554.
5. Куралесин, В. В. Системы обработки данных в САПР / В. В. Куралесин, А. С. Пугальцова // Вызовы глобализации и развитие цифрового общества в условиях новой реальности (шифр -МКВГ) : Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, Москва, 22 мая 2024 года. – Москва: Центр развития образования и науки, 2024. – С. 143-149. – EDN UFLECL.
6. Куралесин, В. В. Особенности 3D-моделирования сложных сборочных изделий в САПР / В. В. Куралесин, Д. А. Власов // Вызовы глобализации и развитие цифрового общества в условиях новой реальности (шифр -МКВГ) : Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, Москва, 22 мая 2024 года. – Москва: Центр развития образования и науки, 2024. – С. 159-167. – EDN UWJYZN.

Vyacheslav Viktorovich Kuralesin, Cand.Tech.Sci.

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

USING COMPUTER VISION METHODS TO RECOGNIZE AND ANALYZE EXISTING CAD MODELS

Abstract. This article provides a comprehensive review of modern machine learning methods and their practical application in structural engineering. The author systematizes and critically analyzes key approaches, including supervised, unsupervised, and reinforcement learning, with a focus on material property prediction, structural integrity assessment, and design optimization. Key challenges and future directions are discussed, making the article a valuable resource for researchers and practitioners seeking to integrate AI technologies into their work.

Keywords: machine learning, structural engineering, material property prediction, structural analysis, review, artificial intelligence.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В САЕ

Куралесин Вячеслав Викторович, к.т.н., доцент

(e-mail: v.kuralesin@mail.ru)

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж, Россия

Статья содержит анализ современных подходов к интеграции методов машинного обучения для решения многопараметрических задач оптимизации в системах компьютерного инженерного моделирования (САЕ). В работе рассматриваются ключевые тенденции, включая применение суррогатного моделирования, развитие механика-информированных нейронных сетей и стратегий активного обучения, а также выявляются основные вызовы, связанные с надежностью и интерпретируемостью моделей. По результатам анализа сформулированы перспективные направления будущих исследований, направленные на создание гибридных интеллектуальных систем проектирования.

Ключевые слова: машинное обучение, компьютерное инженерное моделирование (САЕ), оптимизация, суррогатное моделирование, механика-информированные нейронные сети.

Современное компьютерное инженерное моделирование (САЕ) сталкивается с растущей сложностью многопараметрических задач, характеризующихся нелинейностью и необходимостью учета вероятностных факторов. Традиционные численные методы требуют значительных вычислительных ресурсов, что делает полный перебор вариантов оптимизации неосуществимым. Параллельное развитие методов машинного обучения (МО), эффективных в аппроксимации сложных зависимостей, открывает новые перспективы для преодоления этих барьеров. Актуальность исследования заключается в необходимости разработки методов, сокращающих время и затраты на проектирование при высокой точности прогнозирования. Целью работы является анализ современных подходов к применению методов машинного обучения для оптимизации многопараметрических задач в САЕ-моделировании на основе обзора научной литературы.

За последние годы наблюдается экспоненциальный рост применения МО в структурной инженерии благодаря прогрессу в алгоритмах, вычислительной мощности и появлению обширных баз данных. Основные приложения охватывают структурный анализ, мониторинг состояния конструкций, оценку огнестойкости и прогнозирование свойств материалов. Широко используются как классические алгоритмы, так и современные методы градиентного бустинга, например, XGBoost [1].

Одной из ресурсоемких задач в САЕ является прогнозирование прогрессирующего обрушения конструкций. Исследования показывают, что МО предлагает жизнеспособную альтернативу для быстрого прогнозирования сопротивления обрушению и оценки вероятности коллапса. Однако эффективность алгоритмов неодинакова. В конкретном исследовании модель XGBoost показала наилучшую обобщающую способность в задаче прогноза обрушения стальных

каркасов, даже после тонкой настройки гиперпараметров, в то время как другие модели, такие как LightGBM, продемонстрировали лучшие результаты [2]. Это подчеркивает важность валидации алгоритма, адекватного специфике задачи.

Важным ограничением традиционных суррогатных моделей МО является их характер «черного ящика» и отсутствие учета фундаментальных физических законов. В ответ развивается направление *mechanics-informed machine learning*. В одном из исследований предложен подход с использованием графовых нейронных сетей для структурного анализа. Архитектура GNN естественным образом отражает топологию конструкции, что позволяет «встроить» знания о механике системы непосредственно в модель данных. Авторы утверждают, что такая механика-информированная суррогатная модель превосходит по точности стандартные модели, не учитывающие физику [3].

Параллельно эволюционируют традиционные САЕ-платформы, такие как модуль «ЛОГОС-Прочность» для задач механики деформируемого твердого тела [4] и система FlowVision для моделирования гидрогазодинамики и теплообмена [5]. Эти системы, реализующие современные физико-математические модели, формируют среду для генерации точных данных для обучения моделей МО и являются целевой платформой для интеграции интеллектуальных алгоритмов оптимизации.

Анализ позволяет выявить несколько тенденций. Во-первых, МО переходит к выполнению ключевых инженерных функций, таких как прямое прогнозирование отклика конструкции, через использование суррогатных моделей [1, 2]. Во-вторых, наблюдается тренд от моделей «черный ящик» к интерпретируемым и *physics-informed* моделям. Для повышения прозрачности применяются методы вроде SHAP, количественно оценивающие вклад каждого параметра в прогноз. Более глубокий уровень интеграции демонстрирует подход с использованием GNN, где знания о системе закодированы в структуре данных [3].

Существуют и заметные вызовы. Одним из них является неодинаковая эффективность алгоритмов в разных задачах, что иллюстрируется примером с XGBoost. Другим фундаментальным вызовом остается обеспечение надежности и точности моделей МО в областях, связанных с безопасностью. Развитие специализированных САЕ-платформ создает технологический фундамент для синергии, позволяя интегрировать интеллектуальные модули в среду проектирования [4].

Перспективным направлением является развитие гибридных моделей, сочетающих физические принципы и гибкость МО. Механика-информированные нейронные сети требуют дальнейшей адаптации к более широкому классу нелинейных и динамических задач. Вторым важным направлением является разработка стратегий активного обучения для интеллектуального отбора наиболее информативных точек в пространстве параметров для проведения дорогостоящих расчетов, что позволит повысить точность суррогатных моделей при минимальных затратах.

Третье направление связано с созданием комплексных мультифизических суррогатных моделей, способных прогнозировать отклик всей системы, напри-

мер, при совместном моделировании прочности и теплообмена [5]. Четвертое направление фокусируется на вопросах доверия и валидации, включая разработку стандартизированных протоколов для оценки надежности и областей применимости моделей МО в инженерной практике.

Применение методов машинного обучения для оптимизации многопараметрических задач в САЕ является высокоперспективной областью. МО предлагает инструмент для преодоления вычислительных ограничений традиционных методов. Наблюдается переход к механика-информированным подходам, повышающим физическую обоснованность результатов. Однако успешное внедрение сталкивается с вызовами, включая необходимость тщательного выбора алгоритмов и обеспечение надежности прогнозов. Будущие исследования должны быть сосредоточены на разработке гибридных моделей, стратегиях активного обучения для мультифизических задач и создании фреймворков для верификации этих технологий. Синергия передовых вычислительных методов и искусственного интеллекта открывает путь к созданию нового поколения систем автоматизированного проектирования.

Список литературы

1. Thai H.-T. Machine learning for structural engineering: A state-of-the-art review // Structures. 2022. Vol. 38. P. 448-491. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.02.003.
2. Guo Y., Yang B., Alqawzai S., Chen K., Kong D. Machine learning-based and interpretable models for predicting the resistance and probability of progressive collapse of steel frame-composite floor structures // Engineering Structures. 2025. Vol. 332. Art. 120089. DOI: 10.1016/j.engstruct.2025.120089.
3. Parisi F., Ruggieri S., Lovreglio R., Fanti M.P., Uva G. On the use of mechanics-informed models to structural engineering systems: Application of graph neural networks for structural analysis // Structures. 2024. Vol. 59. Art. 105712. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105712.
4. Красиков, М. И. Анализ функциональных возможностей САЕ-системы ЛОГОС Прочность / М. И. Красиков, В. В. Куралесин // Современные машиностроительные системы, технологии и инновации : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 06 марта 2025 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 161-164. – EDN GMEFRM.
5. Звонкович, Н. В. Анализ функциональных возможностей САЕ-системы FLOWVISION / Н. В. Звонкович, В. В. Куралесин // Современные машиностроительные системы, технологии и инновации : Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 06 марта 2025 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 119-122. – EDN EDTOAJ.

Vyacheslav Viktorovich Kuralesin, Cand.Tech.Sci.

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO OPTIMIZATION OF MULTIPARAMETRIC PROBLEMS IN CAE

Abstract. This article analyzes modern approaches to integrating machine learning methods to solve multiparameter optimization problems in computer-aided engineering (CAE) systems. It examines key trends, including the use of surrogate modeling, the development of mechanics-informed neural networks, and active learning strategies. It also identifies key challenges related to the reliability and interpretability of models. Based on the analysis, promising areas for future research aimed at creating hybrid intelligent design systems are identified.

Keywords: machine learning, computer-aided engineering (CAE), optimization, surrogate modeling, mechanics-informed neural networks.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Курочкина Ирина Николаевна, студент,

(e-mail: irakurochkina342@gmail.com)

Научный руководитель -

Агалакова Анна Владимировна, канд. экон. наук, доцент

(email: agalanna@yandex.ru)

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

В статье рассматриваются современные подходы к повышению точности и качества изготовления деталей машин посредством внедрения адаптивных систем управления станками с числовым программным управлением (ЧПУ). Анализируются основные источники погрешностей обработки и методы их компенсации, включая мониторинг состояния оборудования и коррекцию режимов резания в реальном времени.

Ключевые слова: адаптивное управление, ЧПУ-станок, точность обработки, качество производимых деталей, коррекция отклонений, оптимизация технологического процесса.

Современное машиностроение характеризуется высокой степенью автоматизации и активным внедрением цифровых технологий в производственные процессы, что предъявляет повышенные требования к точности и качеству изготовления деталей машин. Эффективным инструментом для обеспечения этих требований являются адаптивные системы управления станками с числовым программным управлением (ЧПУ). Эти системы представляют собой интеллектуальные комплексы, способные автоматически корректировать параметры технологического процесса на основе актуальных данных о состоянии оборудования, инструмента и обрабатываемой заготовки.

Классификация адаптивных систем управления традиционно включает следующие группы:

1. Регуляторы положения, скорости – обеспечивают корректировку траектории движения инструментальной системы в реальном времени для компенсации погрешностей, вызванных упругими деформациями, износом инструмента или колебаниями станка.

2. Системы контроля резания – анализируют динамику резания и механические нагрузки, позволяя оптимизировать режимы обработки для повышения точности и предотвращения возникновения дефектов на поверхности детали.

3. Прогнозирующие и самонастраивающиеся системы – используют алгоритмы адаптивного управления на основе моделей технологического процесса

и анализа исторических данных для предсказания возможных отклонений и автоматической коррекции режимов обработки [1].

Применение адаптивных систем управления позволяет реализовать концепцию интеллектуального производства, в котором технологические процессы становятся саморегулируемыми и устойчивыми к внешним и внутренним воздействиям. Важным аспектом является их интеграция с системами мониторинга состояния станка, датчиками контроля геометрии и вибраций, а также с современными CAD/CAM/CAE платформами, что обеспечивает непрерывный обмен информацией между проектной и производственной стадиями.

Точность обработки деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) определяется совокупностью факторов, включающих конструктивные особенности оборудования, характеристики режущего инструмента, режимы резания и состояние технологической среды. Для обеспечения высокой точности и стабильного качества обработки необходимо систематически анализировать источники погрешностей и разрабатывать методы их компенсации.

К основным источникам погрешностей на станках с ЧПУ относятся: механические погрешности станка; погрешности, вызванные износом инструмента; тепловые деформации; погрешности программного обеспечения и числового управления.

Для контроля и компенсации этих факторов применяются методы мониторинга состояния технологической системы. К ним относятся датчики вибраций, датчики силы резания, системы лазерного измерения и оптического контроля геометрии, а также средства измерения температуры и деформации компонентов станка. Получаемая информация позволяет выявлять отклонения в реальном времени и передавать их в адаптивную систему управления, обеспечивая корректировку траектории инструмента, скорости подачи и других параметров обработки [2].

Кроме того, значительное влияние на точность обработки оказывает оптимизация режимов резания с учётом механики процесса, свойств материала заготовки и динамических характеристик станка. Расчёт рациональных режимов обработки и их автоматическая корректировка в ходе работы позволяет минимизировать деформации, снизить износ инструмента и улучшить качество поверхности детали.

Реализация адаптивного управления на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) представляет собой системный подход, включающий сбор информации о состоянии технологической системы, её обработку и корректировку режимов обработки в реальном времени. Основная цель адаптивного управления – обеспечение высокой точности и качества деталей при минимизации брака и оптимизации производственных затрат.

Применяемые алгоритмы адаптивного управления могут быть как правилами, основанными на заранее заданных коррекциях при выявлении отклонений, так и прогнозирующими, использующими модели процесса обработки и методы машинного обучения для предсказания погрешностей и автоматической оптимизации режимов резания [3]. Важным направлением является интеграция

адаптивного управления с системами мониторинга износа инструмента и диагностикой оборудования, что позволяет заранее корректировать процесс и предотвращать появление дефектов на поверхности детали.

Реализация адаптивного управления обеспечивает динамическую компенсацию влияния внешних и внутренних факторов, включая упругие и тепловые деформации, изменение геометрии заготовки, износ инструмента и нестабильность рабочих режимов. В результате достигается устойчивое поддержание заданной точности и качества обработки на протяжении всего технологического цикла, что особенно важно при серийном и крупносерийном производстве высокоточных деталей.

Оценка эффективности применения адаптивных систем управления на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) является ключевым этапом при внедрении технологий интеллектуального управления в машиностроительное производство. Она позволяет количественно определить влияние адаптивных алгоритмов на точность обработки, качество поверхности деталей, производительность и экономические показатели технологического процесса [4].

Результаты исследований показывают, что применение адаптивных систем управления приводит к существенному снижению отклонений размеров деталей, уменьшению шероховатости поверхности, повышению ресурса инструмента и сокращению времени обработки. Сравнительный анализ с традиционными системами управления демонстрирует, что внедрение адаптивных алгоритмов повышает стабильность технологического процесса, снижает количество брака и обеспечивает экономическую эффективность производства [5]. Оценка эффективности адаптивного управления подтверждает его практическую значимость и обоснованность внедрения на предприятиях машиностроения, направленных на повышение точности, качества и производительности изготовления деталей машин.

В ходе проведенного исследования показано, что внедрение адаптивных систем управления обеспечивает динамическую корректировку параметров обработки в реальном времени, позволяя компенсировать механические, тепловые и инструментальные погрешности, а также минимизировать влияние внешних возмущений на процесс обработки. Использование сенсорных систем, алгоритмов прогнозирования и автоматической коррекции режимов резания способствует существенному повышению точности геометрических размеров, улучшению качества поверхности деталей и снижению брака.

Сравнительный анализ с традиционными методами управления подтвердил значительное улучшение производственных показателей, включая сокращение времени цикла, увеличение ресурса инструмента и снижение себестоимости изготовления деталей. Практическая значимость работы заключается в том, что адаптивные системы управления создают условия для стабильного, высокоточного и экономически эффективного производства на современных машиностроительных предприятиях.

Список литературы

1. Ингеманссон А. Р. *Повышение эффективности обработки резанием за счёт адаптивного управления в цифровых производственных системах*. 2020. С. 39 – 48.
2. Козлов Г. В., Иванова Т. Н., Муйземнек А. Ю. *Повышение энергоэффективности шлифовальных станков с числовым программным управлением*. 2022. С.172 – 181
3. Пащенко М.М., Онискив В.Д., Столбов В.Ю. *Об одном алгоритме адаптивного управления процессом токарной обработки с использованием методов искусственного интеллекта*. 2025. С. 43 – 52.
4. Ингеманссон, А.Р., Бондарев, А.А. *Расчетная методика определения теплопроводности современных твердосплавных инструментов с многослойными*. 2019. С. 28 – 35.
5. Межевов П. Н. *Анализ факторов, влияющих на точность работы станков с ЧПУ: роль адаптивного управления*. 2022. 10 с.

Kurochkina Irina N., student,

Scientific Supervisor – Agalakova Anna V. candidate of economical sciences, associate professor (email: agalanna@yandex.ru)

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

IMPROVING THE ACCURACY OF PARTS ON CNC MACHINES WITH ADAPTIVE CONTROL

Abstract. *The article discusses modern approaches to improving the accuracy and quality of machine parts manufacturing through the implementation of adaptive numerical control machine (NCM) control systems. The main sources of processing errors and methods of their compensation are analyzed, including monitoring the equipment status and real-time correction of cutting modes.*

Keywords: *adaptive control systems, CNC machine tools, processing accuracy, part quality, error compensation, and process optimization.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Курочкина Ирина Николаевна, студент,

(e-mail: irakurochkina342@gmail.com)

Научный руководитель -

Агалакова Анна Владимировна, канд. экон. наук, доцент

(email: agalanna@yandex.ru)

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

В статье рассматриваются возможности применения цифровых двойников для оптимизации технологических процессов изготовления деталей машин. Приведены основные принципы построения цифрового двойника технологического процесса и его интеграции с современными CAD/CAM/CAE-системами.

Ключевые слова: цифровой двойник, технологический процесс, изготовление деталей машин, повышение эффективности, машиностроение.

Цифровой двойник технологического процесса в машиностроении предоставляет возможность моделировать реальные условия изготовления деталей машин с учётом геометрических характеристик, кинематических особенностей,

физико-механических свойств, а также эксплуатационных параметров. В отличие от классических методов компьютерного моделирования, цифровой двойник поддерживает постоянную связь с реальным объектом, что позволяет актуализировать модель на основе данных производственного мониторинга, включая режимы обработки, состояние оборудования и степень износа режущего инструмента.

На этапе технологической подготовки производства цифровой двойник обеспечивает возможность проведения виртуальных экспериментов по выбору рациональных режимов обработки, оптимизации компоновки технологических операций, а также последовательности переходов без необходимости выполнения экспериментальных производственных тестов. В процессе серийного производства применение цифровых двойников позволяет прогнозировать отклонения технологических параметров, выявлять потенциальные дефекты и оперативно корректировать режимы обработки на основе данных производственного мониторинга в реальном времени [1].

Важным аспектом внедрения цифровых двойников является их интеграция с существующими цифровыми платформами машиностроительных предприятий, такими как CAD/CAM/CAE и PLM-системы, а также с оборудованием с числовым программным управлением и системами промышленного интернета вещей. Такая интеграция формирует единое информационное пространство, в рамках которого обеспечивается согласованность проектных, технологических и производственных данных.

Разработка цифрового двойника технологического процесса изготовления детали представляет собой комплексную задачу, включающую формирование виртуальной модели, адекватно отражающей реальные условия производства и обеспечивающей возможность анализа и оптимизации технологических параметров. На начальном этапе осуществляется выбор объекта исследования – конкретной детали машины – и определение её функционального назначения, условий эксплуатации и требований к точности и качеству поверхностей. Указанные характеристики служат исходными данными для построения технологического маршрута и выбора методов обработки [2].

Ключевым элементом цифрового двойника является многоуровневая модель технологического процесса, включающая геометрическое описание детали, модель заготовки, кинематическую модель оборудования и физические модели процессов резания. Геометрическая модель формируется на основе CAD-данных и отражает конструктивные особенности детали, тогда как технологическая модель учитывает последовательность операций, переходов и используемый режущий инструмент. Особое внимание уделяется описанию режимов обработки, включая скорость резания, подачу и глубину резания, которые существенно влияют на производительность и качество обработки.

В модель вводятся данные о состоянии оборудования и инструмента, включая параметры жёсткости технологической системы, тепловые деформации и закономерности износа режущего инструмента [3]. Сбор и обработка этих данных осуществляется с использованием систем мониторинга, датчиков и средств

промышленного интернета вещей. На основе полученной информации цифровой двойник постоянно уточняется и адаптируется, что позволяет учитывать вариабельность производственных условий.

Важным этапом разработки цифрового двойника является его интеграция с САМ- и САЕ-системами, обеспечивающими генерацию управляющих программ для станков с числовым программным управлением и проведение численных экспериментов. Это позволяет проводить виртуальную отработку технологического процесса, выявлять потенциальные ошибки и оценивать влияние изменения параметров на выходные характеристики процесса ещё до запуска в производство.

Оптимизация технологического процесса изготовления деталей машин с использованием цифрового двойника основывается на возможности проведения виртуальных экспериментов и многовариантного анализа параметров обработки в условиях, максимально приближённых к реальному производству. В рамках данного подхода цифровой двойник выступает инструментом для оценки влияния технологических факторов на ключевые показатели эффективности процесса без вмешательства в действующую производственную систему [4].

На первом этапе оптимизации формируются критерии оценки эффективности технологического процесса. В качестве основных критериев, как правило, рассматриваются производительность, точность обработки, качество поверхностного слоя, стойкость режущего инструмента, энергозатраты и себестоимость изготовления детали. В зависимости от назначения детали и условий её эксплуатации данные критерии могут применяться как по отдельности, так и в составе многокритериальной функции оптимизации.

Используя цифровой двойник, проведение виртуальных экспериментов позволяет выявить рациональные сочетания параметров, обеспечивающие достижение заданных показателей качества при минимальных затратах ресурсов. При этом исключается необходимость проведения большого числа натурных испытаний, что существенно сокращает время технологической подготовки производства.

Особое значение имеет возможность адаптивной оптимизации технологического процесса в режиме реального времени. На основе данных, поступающих от систем мониторинга оборудования и состояния инструмента, цифровой двойник позволяет прогнозировать отклонения параметров процесса и заблаговременно корректировать режимы обработки. Такой подход способствует снижению вероятности брака, увеличению стабильности процесса и продлению ресурса технологического оборудования [5].

Результаты оптимизации, полученные с использованием цифрового двойника, сопоставляются с показателями традиционного технологического процесса, что позволяет количественно оценить эффект от внедрения цифровых технологий. Практика применения цифровых двойников показывает, что их использование способствует повышению эффективности изготовления деталей машин и формированию интеллектуальных систем управления производством, ориентированных на устойчивое развитие машиностроительных предприятий.

В результате анализа можно сделать вывод, что разработка цифрового двойника позволяет повысить обоснованность технологических решений на этапах технологической подготовки и серийного производства. Использование виртуальных экспериментов и многокритериальной оптимизации обеспечивает выбор рациональных режимов обработки, направленных на повышение производительности, точности и стабильности технологического процесса при одновременном снижении материальных и энергетических затрат.

Показано, что интеграция цифрового двойника с современными CAD/CAM/CAE-системами, оборудованием с числовым программным управлением и средствами производственного мониторинга создаёт условия для адаптивного управления технологическими процессами в режиме реального времени. Это позволяет своевременно реагировать на изменения состояния оборудования и режущего инструмента, снижать уровень брака и повышать качество изготавливаемых деталей.

Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения цифровых двойников в практику машиностроительных предприятий и свидетельствуют о высоком потенциале данной технологии для дальнейшего развития интеллектуальных производственных систем. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются расширение функциональных возможностей цифровых двойников за счёт применения методов машинного обучения и искусственного интеллекта, а также разработка унифицированных подходов к их внедрению в различные типы технологических процессов.

Список литературы

1. Энрикес Д. Факторы эффективного управления в сфере информационных технологий. 2020. С. 48 – 59.
2. Болдырев, А. И. Организационно-технологическая подготовка производства в машиностроении. 2024. 144 с.
3. Мартынец Е.Р., Левенцов В.А. Эффективность применения технологии разработки цифровых двойников в промышленности. 2024. С. 281 – 287.
4. Янов Е. Создание цифрового двойника производственного процесса на основе информационно-измерительной системы. 2024. С. 168 – 172.
5. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса. 2019. С. 101 – 104.

Kurochkina Irina N., student,

Scientific Supervisor – **Agalakova Anna V.** candidate of economical sciences, associate professor (email: agalanna@yandex.ru)

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (e-mail: irakurochkina342@gmail.com) USING DIGITAL DOUBLET TO OPTIMIZE

THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MANUFACTURING MACHINE PARTS

Abstract. The article discusses the possibilities of using digital twins to optimize the technological processes of manufacturing machine parts. It presents the basic principles of building a digital twin of a technological process and its integration with modern CAD/CAM/CAE systems.

Keywords: digital twin, technological process, manufacturing of machine parts, optimization, mechanical engineering.

ПРОВЕДЕНИЕ ИТ-АУДИТА И ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ИТ-ПРОЦЕССОВ ВУЗА НА ПРИМЕРЕ ФГБОУ ВО «МГТУ ИМ. Г.И. НОСОВА»

Лаврёнова Дарья Олеговна, студент

(e-mail: lavrenova23102002@yandex.ru)

Шариков Александр Вячеславович, студент

(e-mail: sharikov_sasha02@mail.ru)

Зиновьев Илья Евгеньевич, студент

(e-mail: izinov01@mail.ru)

Назарова Ольга Борисовна, к.п.н., доцент, научный руководитель

(e-mail: onazarova_21@mail.ru)

Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

В статье рассмотрено проведение ИТ-аудита в образовательной организации и выполнена оценка уровня зрелости ИТ-процессов вуза. В качестве объекта анализа выбран ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Основное внимание уделено анализу информационных систем, ИТ-процессов и их соответствию требованиям COBIT, а также определению текущего уровня ИТ-зрелости. Показано, какие сильные стороны уже сформированы в ИТ-среде университета и какие направления требуют дальнейшего развития.

Ключевые слова: ИТ-аудит, цифровая трансформация, МГТУ им. Г.И. Носова, COBIT, ИТ-стратегия, информационные системы, бизнес-процессы университета, зрелость ИТ-процессов, стратегическое планирование, высшее образование.

Цифровая среда современного вуза давно перестала быть вспомогательным элементом и фактически стала основой образовательных и управленческих процессов. Электронные сервисы, автоматизация документооборота, дистанционные форматы обучения и аналитика данных напрямую влияют на устойчивость университета и качество принимаемых управленческих решений. Для МГТУ им. Г.И. Носова этот вопрос имеет особое значение, поскольку вуз участвует в федеральном проекте «Приоритет-2030», ориентированном на стратегическое развитие и повышение конкурентоспособности российских университетов.

В рамках участия в данном проекте в 2021 году в университете была сформирована стратегия цифровой трансформации, задающая общее направление развития ИТ и цифровых сервисов. Однако любая стратегия со временем теряет актуальность, если не опирается на объективную оценку текущего состояния. Именно поэтому возрастает роль ИТ-аудита как инструмента, позволяющего понять реальный уровень зрелости ИТ-процессов, выявить сильные стороны и проблемные зоны цифровой среды. В рамках данной статьи была поставлена задача проанализировать текущее состояние ИТ в МГТУ им. Г.И. Носова и

оценить уровень зрелости ИТ-процессов как основу для дальнейшего развития цифровой стратегии университета.

ИТ-аудит МГТУ им. Г.И. Носова проводился с опорой на методологию COBIT, которая широко применяется для оценки управляемости и зрелости ИТ-процессов в организациях различного профиля [9]. В ходе анализа было установлено, что университет использует обширный набор информационных систем, поддерживающих основные этапы образовательного процесса – от приёма абитуриентов до сопровождения обучения и итоговой аттестации [5].

Для систематизации полученных данных был сформирован перечень ключевых информационных систем вуза, обеспечивающих образовательную и административную деятельность [2]. Перечень информационных систем вуза представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Информационные системы поддержки сервисов

Наименование ИС	Разработчик	Задачи, решаемые ИС
Абитуриент ВО и СПО	Собственная разработка	Учет абитуриентов, зачисление, выгрузка в ФИС ГИА
Студент	Собственная разработка	Учет контингента, учебный процесс, отчеты
Расчет учебной нагрузки НПП	Собственная разработка	Распределение нагрузки НПП
Индивидуальный план преподавателя	Собственная разработка	Планирование работы ППС
Расписание «Автор»	ММИС Лаб г. Шахты	Формирование расписания
Рейтинг ППС	Собственная разработка	Расчет рейтинга преподавателей
Образовательный портал (LMS Moodle)	Martin Dougiamas, собственная разработка	Электронные курсы, тесты, вебинары
Сбор заявок на приобретение ТМЦ	Собственная разработка	Заявки на приобретение ТМЦ
ИС: Документооборот государственного учреждения	Фирма «1С»	Автоматизация процессов отдела делопроизводства

Представленные системы демонстрируют высокий уровень охвата ключевых бизнес-процессов и активное использование цифровых сервисов всеми категориями пользователей. Это позволяет снизить объём ручного труда и повысить прозрачность учебного процесса [8]. Вместе с тем было выявлено, что интеграция между отдельными системами реализована не в полном объёме, а управление изменениями и централизованный мониторинг пока недостаточно формализованы.

Далее был проведён анализ инфраструктуры, который показал высокий уровень материально-технической базы, соответствующий стандартам современных университетов [6], однако необходима модернизация: обновление ПК/ноутбуков и мультимедиа, расширение инфраструктуры, в том числе облачной, для устойчивости и масштабируемости, увеличение покрытия Wi-Fi.

Следующим этапом стала оценка зрелости ИТ-процессов. Для этого были выбраны процессы, связанные с ИТ-стратегией, управлением рисками, информационной безопасностью и поддержкой пользователей. Такой выбор обусловлен тем, что именно данные процессы напрямую влияют на устойчивость и надёжность цифровой среды образовательной организации [1].

Перед выполнением расчётов была сформирована матрица зрелости, отражающая текущее состояние ключевых процессов. Матрица зрелости представлена на рисунке 1.

Где уровни зрелости по COBIT:

- 0 – Не существует (отсутствует);
- 1 – Начальный (ad hoc);
- 2 – Повторяемый/интуитивный (repeatable);
- 3 – Определённый (defined, документирован);
- 4 – Управляемый и измеряемый (managed);
- 5 – Оптимальный (optimized).

Анализ матрицы показывает, что большинство ИТ-процессов находятся на начальном или повторяемом уровне зрелости. Формальные регламенты и политики присутствуют не по всем направлениям, а контроль выполнения процессов носит эпизодический характер. Вследствие этого ИТ-служба вуза в целом справляется с текущими задачами, однако сталкивается с трудностями при долгосрочном планировании и масштабировании ИТ-решений [4].

Наконец, был выполнен этап, который во многом связывает весь ИТ-аудит в единую картину, – оценка уровня зрелости ИТ с точки зрения соответствия их состояния бизнес-целям и информационным потребностям университета. Для этого использовалась «матрица согласия», позволяющая сопоставить уровень автоматизации ИТ-процессов с целями и потребностями вуза. Заполнение матрицы дало возможность перейти от описательных выводов к количественной оценке и рассчитать показатель «мера автоматизации». Такой подход позволяет не просто зафиксировать наличие цифровых решений, а понять, насколько они реально поддерживают цели вуза и обеспечивают необходимую гибкость и управляемость ИТ-среды [7].

Процесс	Описание	Текущий уровень зрелости	Ключевые проблемы / GAPS	Рекомендации для роста
АРО01 – Стратегия	Формирование и реализация стратегии	2 (Повторяемый)	Нет формальных КРІ, не закреплены процедуры	Ввести КРІ, утвердить политику
АРО07 – Персонал	Управление ИТ-персоналом	2	Нет обучения по стандартам, нет ротации	Разработать обучение и мотивацию
АРО12 – Риски	Управление ИТ-рисками	2	Не проводится системный анализ	Ввести регламент оценки, контроль
АРО13 – Безопасность	Управление инфобезопасностью	1 (Начальный)	Отсутствует аудит доступа и мониторинг	Ввести аудит, СОП по инцидентам
БАИ03 – Изменения	Управление изменениями	2	Журналы изменений ведутся частично	Централизовать регистрацию
DSS01 – Обслуживание	Поддержка пользователей (Service Desk)	1	Отсутствует SLA, не фиксируются все заявки	Ввод SLA и регулярный анализ
DSS02 – Инциденты	Управление инцидентами и запросами	2	Нет автоматизации, учет не полный	Внедрить Help Desk систему
DSS04 – Непрерывность	Резервное копирование, DRP	1	Нет DRP, бэкап вручную	Регламентировать, автоматизировать
DSS05 – Безопасность	Управление безопасностью сервисов	2	Нет анти-спам, нет инструкций реагирования	Обновить политики, писать SOP
МЕА01 – Мониторинг	Аудит/оценка процессов	2	Нет КРІ для ИТ, редкая отчетность	Внедрить метрики, регулярный аудит

Рисунок 1 – Матрица зрелости ИТ-процессов для МГТУ им. Г.И. Носова

Расчёт интегрального показателя ИТ-зрелости позволил получить значение около 0,61. Данный результат свидетельствует о том, что ИТ вуза в целом соответствуют образовательным и управленческим потребностям, но требуют дальнейшего развития и систематизации [3].

Проведённый ИТ-аудит показал, что МГТУ им. Г.И. Носова располагает развитой ИТ-инфраструктурой и широким набором цифровых сервисов, поддерживающих ключевые процессы университета. При этом уровень зрелости ИТ-процессов остаётся средним, что ограничивает эффективность управления и повышает риски. Оценка ИТ-зрелости позволяет чётко определить точки роста и использовать результаты статьи как основу для дальнейшего развития ИТ-стратегии вуза и повышения качества цифровых сервисов.

Список литературы

1. Иващенко, Н.С. Направления цифровой трансформации текстильных предприятий и методы измерения цифровой зрелости / Н. С. Иващенко, N. S. Ivashchenko // Известия выс-

ших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 3 (411). – С. 77-82. – ISSN 0021-3497. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/365162> (дата обращения: 19.12.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Малайкина, Л.И. ИТ-аудит в системе стратегического управления развитием ИТ-инфраструктуры предприятия / Л.И. Малайкина, А.Г. Савина // Экономическая среда. – 2017. – № 1. – С. 11-14. – ISSN 2306-1758. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/303573> (дата обращения: 19.12.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации : официальный сайт. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru> (дата обращения: 15.12.2025).

4. Одинцова, М.А. Тенденции в управлении информационными технологиями / М. А. Одинцова, И. С. Клименко // Вестник Российского нового университета. Серия Сложные системы модели, анализ и управление. – 2021. – № 1. – С. 61-69. – ISSN 2414-9187. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/326537> (дата обращения: 19.12.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Официальный сайт ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». – URL: <https://magtu.ru> (дата обращения: 15.12.2025).

6. Стандарт инновационной образовательной среды (кампусов) (утв. Министерством науки и высшего образования Российской Федерации 8 мая 2024 г.) [Электронный ресурс]. — Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». — URL: <https://base.garant.ru/409562631/> (дата обращения: 15.12.2025).

7. Стратегическое управление информационными системами: учебник / под ред. Калянова Г.Н. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 510 с.

8. Цифровая трансформация управления бизнес-процессами организации / А. В. Половян, А. Polovyan, К. И. Синецкая, К. Sinitsyna // Вестник Донецкого национального университета. Серия В. Экономика и право. – 2023. – № 4. – С. 197-203. – ISSN 2524-0668. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/355574> (дата обращения: 19.12.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. COBIT 2019 Framework : Governance and Management Objectives : официальный сайт ISACA [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.isaca.org> (дата обращения: 15.12.2025).

Lavrenova Daria Olegovna, student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk Russia

Sharikov Alexander Vyacheslavovich, student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk Russia

Zinoviev Ilya Evgenievich, student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk Russia

Nazarova Olga Borisovna, Cand.Ped.Sci., associate professor, scientific supervisor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk Russia

CONDUCTING AN IT AUDIT AND ASSESSING THE MATURITY OF THE UNIVERSITY'S IT PROCESSES USING THE EXAMPLE OF THE NOSOV MAGNITOGORSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Abstract. The article examines the conduct of an IT audit in an educational organization and evaluates the maturity of the university's IT processes. The Nosov Magnitogorsk State Technical University was chosen as the object of analysis. The main focus is on analyzing information systems, IT processes and their compliance with COBIT requirements, as well as determining the current level

of IT maturity. It shows which strengths have already been formed in the IT environment of the university and which areas require further development.

Keywords: IT audit, digital transformation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, COBIT, IT strategy, information systems, university business processes, IT process maturity, strategic planning, higher education.

ЛАЗЕРНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ 30ХГСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Лазарев Никита Сергеевич, магистрант

(e-mail: kspnikita2@gmail.com)

Научный руководитель –

Куц Любовь Евгеньевна, к.т.н., доцент

(e-mail: kuts70@yandex.ru)

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

В данной работе рассматривается формирование модифицированного поверхностного слоя на образцах марки стали 30ХГСА методом импульсной лазерной наплавки порошка карбида вольфрама. Выполнен анализ сформированной модифицированной структуры и установлена корреляция между параметрами лазерного воздействия и механическими характеристиками образцов. В рамках работы проведены металлографические исследования поверхности и измерения микротвердости модифицированного слоя.

Ключевые слова: лазерное модифицирование поверхности, повышение износостойкости, сталь 30ХГСА, поверхностное упрочнение, лазерная импульсная наплавка, микроструктура, микротвердость, карбид вольфрама.

Проходческий комбайн является ключевым элементом горнопроходческого комплекса. Даже незначительное нарушение геометрии, износ или повреждение рабочего инструмента (резцов, коронок, шнеков) комбайна приводит к сбоям в процессе выемки и разрушения горной массы, требуя остановки для замены. Восстановление подобного оборудования, особенно в условиях глубоких шахт, сопряжено с высокими трудозатратами и длительными простоями, поэтому необходимость в разработке технологического процесса упрочнения изнашиваемых узлов комбайна, направленного на повышение их стойкости и ресурса, представляет высокую практическую значимость.

Перспективный метод импульсной лазерной наплавки базируется на создании функционального покрытия на поверхности стали марки 30ХГСА посредством подачи присадочного материала в виде порошка высокотвердого соединения - карбида вольфрама. Данная технология поверхностного упрочнения обеспечивает локальное термическое воздействие, что позволяет минимизировать остаточные деформации, коробление и риск образования микротрещин, поскольку термический цикл не затрагивает фазовый состав и механические характеристики основного материала [1-4].

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы путем нарезки механическим путем металлических дисков из круглого металлопроката.

Размеры образцов следующие: диаметр - 25мм, толщина - 5мм (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальный образец из стали 30ХГСА до предварительной обработки поверхности

Для проведения импульсного лазерного модифицирования была разработана методика проведения эксперимента, которая включает несколько этапов.

Подготовка поверхности проводилась шлифованием наждачной бумагой с разной степенью зернистости (Р40, Р80, Р120) и изменением направления шлифования.

Дальнейшая очистка поверхности от загрязнений проводилась согласно методике, описанной в работах [5-8], в ультразвуковой ванне типа «Кристалл 2.5», заполненной 87% спиртовым раствором. Обработку проводили в течение 20 минут при температуре 60°C, частоте колебаний $f=44$ кГц и интенсивности $W=1,2$ Вт/см². Данная обработка необходима для удаления механических и жировых загрязнений [5-8]. После ультразвуковой обработки образцы промывали в проточной дистиллированной воде. Сушка образцов проводилась в муфельной печи СНОЛ 6/11 при температуре 45-60°C в течение 15 минут до полного удаления влаги (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальные образцы из стали 30ХГСА после проведения подготовки поверхности

Для улучшения условий предварительного закрепления порошка карбида вольфрама была изготовлена экспериментальная обмазка из карбида вольфрама чистотой (99,8%) и размером частиц 10–40 мкм и связующим веществом, в роли которого выступает глицерин, в соотношении 3:1. Обмазку тщательно перемешивали до получения однородной вязкой массы, после чего вручную нано-

сили на образец капельным путём на поверхность образцов. Толщина обмазочного слоя на поверхности составляет около 300 ± 50 мкм (рис. 3).

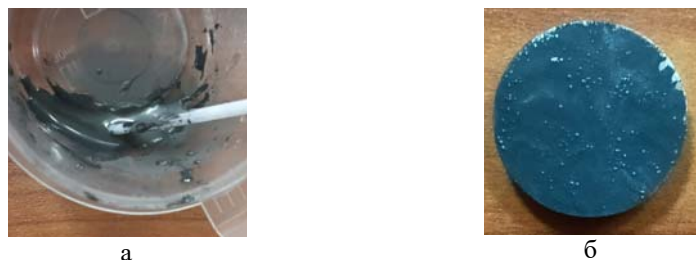


Рис. 3. Экспериментальная порошковая обмазка для наплавки (а) и экспериментальная обмазка, нанесенная на образец (б)

Эксперимент проводился на лазерной установке LRS-50, которая позволяет проводить лазерную импульсно-периодическую обработку образцов. Параметры режимов лазерной обработки определялись эмпирическим путём по анализу и оценке поверхности оплавленной поверхности образца из условия полного расплавления присадки. В табл. 1 указаны режимы лазерной импульсной обработки, используемые при наплавке порошка карбида вольфрама на сталь 30ХГСА.

Для оценки эффективности разработанной технологии был проведён анализ физико-механических показателей.

Таблица 1 – Режимы лазерной импульсной наплавки порошка WC на образцы из стали 30ХГСА

№	Напряженье лампы накачки U, В	Энергия импульса E, Дж	Мощность P, Вт	Длительность импульса t, мс	Диаметр пятна фокусировки d, мкм	Частота следования импульсов v, Гц	Фокусное расстояние f, мм
1	380	0.603	12.1	0.6	0.55	20	70
2	400	0.764	13.8	0.6	0.55	20	70
3	420	0.836	15.1	0.6	0.55	20	70
4	380	0.635	12.3	0.6	0.55	20	70
5	380	0.561	11.7	0.5	0.55	20	70
6	380	0.583	10.5	0.4	0.55	20	70

Разработана модель формирования на поверхности образцов модифицированного упрочнённого покрытия лазерной наплавкой (рис. 4).

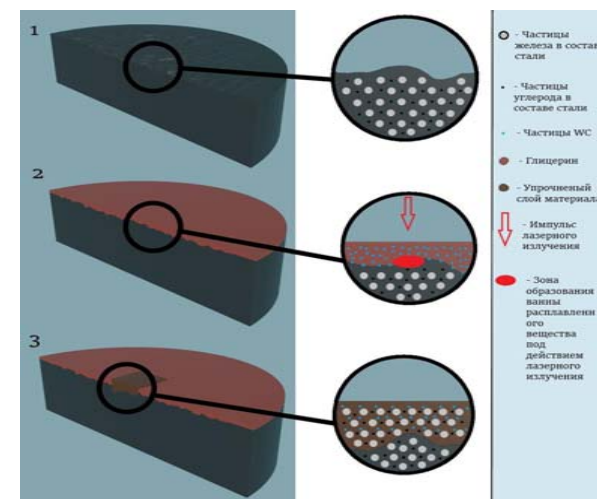


Рис. 4. Модель формирования модифицированного упрочнённого покрытия на поверхности образцов из стали 30ХГСА в процессе лазерной импульсной наплавки: 1 – образец из стали 30ХГСА с подготовленной поверхностью; 2 – образец из стали 30ХГСА с нанесенной экспериментальной обмазкой, содержащей частицы порошка WC; 3 – сформированное упрочнённое покрытие

Наблюдения проводилось на микроскопе МБС-10 с линейным увеличением $\times 1$, $\times 4$ и $\times 7$ крат для анализа структуры поверхностного слоя. В ходе металлографического анализа отбирались наиболее перспективные для дальнейшего изучения образцы.

При наплавке на образец №2 и по результатам микроструктурного анализа наплавленного образца отмечена однородная структура, в местах перекрытий пятен фокусировки обнаружены цвета побежалости, что свидетельствует о структурно-фазовых превращениях в обрабатываемом слое (рис. 5).

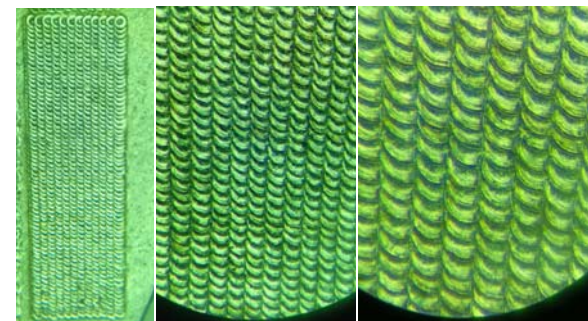


Рис. 5. Экспериментальный образец №2 при увеличении $\times 1$, $\times 4$, $\times 7$ (слева направо)

В ходе микроструктурного анализа образца №5 отмечена однородная структура без микродефектов в отличие от образца №2. (рис. 6).

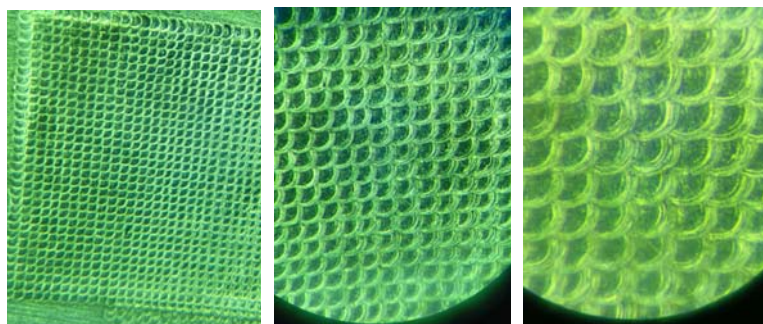


Рис. 6. Экспериментальный образец №5 при увеличении x1, x4, x7 (слева направо)

После анализа структуры поверхностного слоя были проведены измерения микротвердости. Измерения проводили методом Виккерса на микротвердомере ПМТ- 3М при следующих параметрах: нагрузка - 0,2 Н, время воздействия - 10 с. Для обеспечения статистической достоверности на каждом образце выполняли 5 испытаний, на основании которых определяли среднеарифметическое значение микротвердости. Исходная микротвердость стали 30ХГСА составляет 2,5–3,2 ГПа. В таблице 2 приведены результаты измерения величины микротвердости поверхности образцов из стали 30ХГСА по шкале Виккерса.

Таблица 2 – Результаты измерения микротвердости образцов из стали

№ образца	Параметры лазерной наплавки						Микротвердость, ГПа	Увеличение микротвердости, раз
	U, В	E, Дж	P, Вт	τ, мс	d, мм	f, мм		
Контрольный образец	-	-	-	-	-	-	3,2	-
2	380	0,561	11,7	0,5	0,55	70	8,9	2,78
5	400	0,764	13,8	0,6	0,6	70	7,45	2,33

По результатам исследования физико-химических свойств подтверждено, что предложенный метод импульсной лазерной наплавки характеризуется высокой эффективностью и способствует увеличению микротвердости поверхностного слоя. Исходя из измерений микротвердости, можно сказать, что по сравнению с контрольным образцом микротвердость экспериментальных образцов увеличилась в 2-3 раза, а также было установлено, что при снижении мощности излучения и локализации воздействия лазерного пучка происходит повышение микротвердости поверхности. Рациональный технологический режим лазерной на-

плавки порошка карбида вольфрама на сталь 30ХГСА характеризуется следующими параметрами: U=380–400 В, d=0.5-0.55 мм с длительностью импульсов 0.5-0.6 мс. Разработанный процесс может быть использован для повышения износостойкости ответственных деталей горно-шахтного оборудования.

Список литературы

1. Влияние режимов лазерной наплавки порошка карбида вольфрама на характеристики поверхности стали 12Х18Н10Т / И. В. Родионов, П. Н. Устинов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – № 2(285). – С. 41- 46.
2. Лазерная наплавка порошка титанового сплава ВТ6 на нержавеющую сталь 08Х18Н10Т при импульсном воздействии излучения / И. В. Родионов, П. Н. Устинов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц // Вопросы электротехнологии. – 2023. – № 4(41). – С. 40-50.
3. Получение ультрамелкодисперсных структур на титановом сплаве ВТ6 лазерным диспергированием тонких оксидных пленок / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов, Е. В. Ситников, С. А. Бородина // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 14-20.
4. Формирование пористого порошкового Al₂O₃ покрытия способом лазерного импульсного спекания / И. В. Родионов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц, П. Н. Устинов // Вопросы электротехнологии. – 2024. – № 1(42). – С. 14-23.
5. Родіонов, І. В. Корозійне поведіння оксидних біопокриттів костних титанових імплантатів, получаемих паротермічним оксидуванням / І. В. Родіонов, К. Г. Бутовський // Технології живих систем. – 2006. – Т. 3, № 5. – С. 74-78.
6. Modified osteocatches as a compensatory factor in animal locomotion / V. V. Annikov, I. V. Rodionov, V. V. Derevjanchenko [et al.] // Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger. – 2014. – Vol. 196, No. 1. – P. 270.
7. Патент РФ на изобретение № 2332239. Способ получения биосовместимого покрытия на остеофиксаторах из титана / Родионов И.В., Бутовский К.Г., Бейдик О.В., Ткачева А.В. Оpubл. 27.08.2008.
8. Родионов, И. В. Физико-химические и механические свойства функциональных термооксидных покрытий на медицинских имплантатах из нержавеющей стали / И. В. Родионов // Физика и химия обработки материалов. 2012. №4. С. 45-52.

Lazarev Nikita Sergeevich, student

Scientific supervisor

Kutz Lyubov Evgenievna, Cand.Tech.Sci., associate professor

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

LASER PULSE SURFACE HARDENING OF 30KHGSA STEEL TO INCREASE WEAR RESISTANCE

Abstract. In this paper, the formation of a modified surface layer on 30KHGSA steel samples is considered by pulsed laser surfacing of a mixture of tungsten carbide powder and a binder component. The aim is to analyze the formed modified structure and establish a correlation between the parameters of laser exposure and the mechanical characteristics of the samples. As part of the work, metallographic studies of the surface and measurements of the microhardness of the modified zone were carried out.

Keywords: laser surface modification, increased wear resistance, 30KHGSA steel, surface hardening, laser pulse surfacing, microstructure, microhardness, tungsten carbide.

О РАССМОТРЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Лейкин Роман Игоревич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

ЗАО "Вокорд Телеком", г.Москва, Россия

Налетов Григорий Андреевич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия технологических наук РФ, г.Москва, Россия

Ярнык Андрей Игоревич, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Академия управления и производства, г.Москва, Россия

В статье рассматриваются проблемы, связанные с организационной структурой управления в транспортной отрасли.

Ключевые слова: транспортная отрасль, управление, структура.

Отрасли выделяются в результате разделения труда и по признакам и назначению продукта и расчленяются на комплексные отрасли. Комплексными называются такие отрасли, в состав которых входит несколько отраслей, однородных, но специализированных внутри этих отраслей по производственно-технологической общности и по более узкому назначению продукта [1].

К комплексным отраслям относятся машиностроительная, металлургическая, химическая, транспортная и другие отрасли. Транспортная отрасль сосредоточивает свою деятельность на оказании услуг по перевозке пассажиров, грузов, обслуживании и ремонте транспортных средств и других видах услуг [2].

Отрасль представляет собой систему, состоящую из автомобильного транспорта, воздушного, железнодорожного трубопроводного и др. Например, отрасль автомобильного транспорта состоит из предприятий, различающихся по видам перевозок, специализации, мощности [3].

Типовая структура аппарата управления автотранспортных предприятий включает:

1. Общее руководство.
2. Техничко-экономическое планирование.
3. Организацию труда и заработной платы.
4. Бухгалтерский учет и финансовую деятельность.
5. Материально-техническое снабжение [4].
6. Комплектование и подготовку кадров.
7. Общее делопроизводство и хозяйственное обслуживание.
8. Эксплуатационную службу.
9. Техническую службу.
10. Службу безопасности движения.
11. Контроль пассажирского автотранспорта.
12. Медицинское обслуживание и профилактический осмотр работников.

Содержание общего руководства состоит в следующем:

Руководство всеми видами деятельности предприятия [5].

Обеспечение соблюдения законности в деятельности предприятия, выполнения перевозок с соблюдением требований безопасности дорожного движения.

Проведение работ по обеспечению предприятия [6] квалификационными кадрами, укреплению трудовой и производственной дисциплины.

Обеспечение технической подготовки подвижного состава, сокращения материальных, финансовых и трудовых затрат на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (Р) подвижного состава.

Осуществление организации и совершенствования экономической деятельности предприятия, направленной на повышение производительности труда, снижение стоимости перевозок [7].

Контроль за соблюдением договорной дисциплины и законности в деятельности предприятия, решение социальных вопросов и защита правовых интересов работников и предприятия [8].

Материально-техническое снабжение направлено на решение соответствующих задач. Отметим их.

Обеспечение предприятий необходимыми топливом, запасными частями, материалами, спецодеждой, хозяйственным инвентарем, бланками первичного учета работы автотранспорта [9].

Разработка перспективных и годовых планов материально-технического обеспечения предприятия.

Заключение договоров поставок по материально-техническому обеспечению предприятия и подготовка претензий к поставщикам при нарушении ими договорных обязательств.

Контроль за состоянием запасов топлива, запасных частей, соблюдением лимитов на отпуск запасных частей.

Ведение учета снабженческих операций, составление отчетности о выполнении плана материально-технического обеспечения предприятия.

Эксплуатационная служба направлена на решение соответствующих задач [10]. Отметим их.

Организация эксплуатации автомобилей на перевозках пассажиров и грузов, обеспечение рационального использования подвижного состава на линии.

Изучение спроса в автоперевозках.

Участие в разработке перспективных и текущих планов перевозок и обеспечение их выполнения, выдача и прием путевых листов.

Организация работы водителей на линии и контроль за выполнением плана перевозок и договорных обязательств водителями.

Обеспечение содержания в надлежащем виде подвижного состава и оказания необходимой технической помощи автомобилям на линии.

Организация учета наличия и движения горючесмазочных материалов.

Анализ эксплуатационных показателей работы подвижного состава, расхода горючесмазочных материалов.

Изучение и внедрение передовых методов транспортного процесса.

Осуществление контроля за состоянием технологических автодорог, мостов, подъездных путей в зоне работы автотранспорта, выполнением механизации погрузочно-разгрузочных работ.

Ведение учета и составление отчетности о работе подвижного состава.

Список литературы

1. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
2. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
3. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
4. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
5. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.
6. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
7. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.
8. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
9. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
10. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).

Leikin Roman Igorevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

CJSC Vocord Telecom, Moscow, Russia

Naletov Grigory Andreevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Academy of Technological Sciences of the Russian Federation, Moscow, Russia

Yarnyk Andrey Igorevich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Academy of Management and Production, Moscow, Russia

ON CONSIDERATION OF ELEMENTS OF TRANSMITTING DEVICES AT THE ENTERPRISE

The article discusses the problems related to the organizational structure of management in the transport industry.

Keywords: transport industry, management, structure.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 750 кВ

Лесняк Ольга Николаевна, магистр

(O.Lesnyak@yandex.ru)

Филатов Евгений Алексеевич, к.т.н.

(filatov_e@gmail.com)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Статья посвящена анализу современных методов повышения энергоэффективности в высоковольтных линиях электропередачи класса напряжения 750 кВ. Рассматриваются как технологические решения, связанные с модернизацией самих линий (повышение пропускной способности, снижение потерь на корону и реактивной мощности), так и системные подходы, включающие оптимальное управление режимами и компенсацию. Особое внимание уделяется влиянию таких мер на стабильность энергосистемы и общую экономическую эффективность магистральных сетей.

Ключевые слова: линия 750 кВ, энергоэффективность, высоковольтные линии электропередачи, потери на корону, пропускная способность, реактивная мощность, компенсирующие устройства (шунтирующие реакторы, СТАТКОМ), управляемые серийные компенсаторы, оптимальные режимы, экологически чистые технологии.

Исследование методов повышения энергоэффективности в высоковольтных линиях напряжением 750 кВ

Высоковольтные линии электропередачи класса 750 кВ являются артериями энергосистемы, предназначенными для транспорта огромных мощностей на сверхдальние расстояния, часто в тысячи километров. В таких условиях даже незначительное процентное улучшение их энергоэффективности дает колоссальный экономический эффект в масштабах страны, снижая потери на десятки и сотни мегаватт. Исследование методов повышения эффективности для линий 750 кВ носит комплексный характер, затрагивая физику процессов, электротехнику и системное управление.

Повышение энергоэффективности начинается с понимания структуры потерь, которые для таких линий имеют свою специфику:

1. Потери на коронный разряд (корону): Это основной вид потерь, который при напряжении 750 кВ становится определяющим. Коронные потери возникают из-за ионизации воздуха вокруг проводов при высокой напряженности электрического поля. Они зависят от диаметра провода, его поверхности (использование расщепленных проводов), погодных условий (дождь, изморось, снег резко увеличивают потери) и высоты над уровнем моря.

2. Потери активной мощности в проводах (нагрузочные потери): Зависят от квадрата тока и активного сопротивления линии. При сверхбольших протяженности и передаваемой мощности эти потери также велики.

3. Генерация и потребление реактивной мощности: Длинная линия 750 кВ обладает значительной зарядной мощностью (емкостной проводимостью), что при малых нагрузках приводит к генерации избыточной реактивной мощности и росту напряжения в средней части линии. При больших нагрузках, наоборот, линия потребляет реактивную мощность за счет индуктивного сопротивления, что вызывает просадки напряжения. Это нарушает баланс реактивной мощности в системе и может снижать пропускную способность.

4. Ограниченная натуральная пропускная способность: Для устойчивости энергосистемы передаваемая мощность по длинной линии не должна превышать определенный предел.

Современные методы повышения энергоэффективности

1. Технологические решения по модернизации самих линий:

· Применение проводов увеличенного сечения и оптимальной конструкции: Замена старых проводов на современные с повышенным допустимым током (например, провода из алюминиевого сплава, сталеалюминевые провода с термостойким сердечником). Это напрямую снижает нагрузочные потери. Также критически важен выбор оптимального расщепления фазы (количества и диаметра подпроводников) для снижения напряженности поля на поверхности и, как следствие, коронирования. Использование проводов с гладким покрытием также уменьшает корону.

· Эффективное с точки зрения короны расположение проводов на опорах: Исследование и внедрение оптимальных горизонтальных и вертикальных расстояний между фазами для минимизации неоднородности электрического поля.

2. Внедрение современных компенсирующих и управляющих устройств:

· Управляемые шунтирующие реакторы (УШР): Традиционные шунтирующие реакторы компенсируют зарядную мощность линии в режимах малых нагрузок.

УШР, позволяющие плавно регулировать индуктивность, дают возможность оптимально управлять балансом реактивной мощности и уровнем напряжения в линии в любом режиме, снижая потери и повышая устойчивость.

· Управляемые серийные компенсаторы (УПСК): Устанавливаются последовательно в линию для компенсации ее индуктивного сопротивления. Это самый действенный способ повышения пропускной способности и статической устойчивости линии. УПСК позволяют увеличить передаваемую мощность на 20-50%, что значительно снижает удельные потери на единицу переданной энергии.

· Статические компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ): Устанавливаются на концах или промежуточных подстанциях для быстрого и точного регулирования напряжения, балансировки реактивной мощности и подавления колебаний, что также способствует повышению эффективной пропускной способности.

3. Системные и режимные методы:

· Оптимальное управление перетоками: Использование систем FACTS (гибкие системы передачи переменного тока) и цифровых моделей энергосистемы

для перераспределения потоков мощности между параллельными линиями (включая линии 750 кВ и нижележащих классов напряжения) с целью минимизации суммарных потерь в сети.

· Точное поддержание номинального напряжения: Работа линии при номинальном или близком к нему напряжении минимизирует как потери на корону (пропорциональны квадрату напряжения), так и нагрузочные потери.

Повышение энергоэффективности линий 750 кВ — это многоуровневая задача, требующая сочетания капитальных вложений в модернизацию линейной части с внедрением высокотехнологичных устройств компенсации и интеллектуальных систем управления режимами. Наибольший эффект достигается при системном подходе, когда каждое решение (например, установка УПСК) оценивается не только с точки зрения снижения потерь в конкретной линии, но и с позиции повышения надежности, устойчивости и общей оптимальности работы всей объединенной энергосистемы. Инвестиции в такие технологии окупаются за счет колоссальной экономии генерируемой мощности, которую не нужно тратить на покрытие потерь, и повышения коммерческой привлекательности магистральных транзитов.

Список литературы

1. Бутузов В.А. Накопители энергии: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2021.

2. Olabi A.G. Battery energy storage systems and main applications. — Energy, Vol. 235, 2021.

3. IEEE Std 2030.2. Guide for the Interoperability of Energy Storage Systems Integrated with the Electric Power Infrastructure.

4. Дьяков А.Ф. Системный подход к внедрению накопителей электроэнергии в ЕЭС России. — Энергетик, №5, 2019.

5. Mongird K. et al. Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment. — Pacific Northwest National Laboratory, 2020.

6. Изучение проблем энергосбережения и повышения энергетической эффективности в бюджетных учреждениях Курской области и способы их решения / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина, В. А. Чаплыгин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 7. — С. 558-562. — DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-558-559. — EDN GUMBJZ.

7. Бирюлин, В. И. Использование современных релейных защит на крупных подстанциях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 7. — С. 535-539. — DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-535-536. — EDN FZBSQC.

8. Бирюлин, В. И. Использование нейронных сетей для исследования энергопотребления в образовательных учреждениях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — № 9. — С. 257-260. — DOI 10.24412/2071-6168-2023-9-257-258. — EDN VJAAPW.

9. Способы снижения потерь в электрических сетях / В. Н. Алябьев, А. С. Чернышев, И. В. Ворначева, М. С. Кимлик // Молодежь и XXI век - 2020 : материалы X Международной молодежной научной конференции, Курск, 19–20 февраля 2020 года. Том 4. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. — С. 265-267. — EDN CKBIGS.

Lesnyak Olga Nikolaevna, Master

Filatov Evgeny Alekseevich, Candidate of Technical Sciences
Southwest State University, Kursk, Russia

RESEARCH OF METHODS OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY IN HIGH-VOLTAGE LINES WITH A VOLTAGE OF 750 kV

Abstract: The article is devoted to the analysis of modern methods of increasing energy efficiency in high-voltage transmission lines of 750 kV class. Both technological solutions related to the modernization of the lines themselves (increasing the capacity, reducing the losses on the crown and reactive power) and systemic approaches, including optimal control of modes and compensation, are considered. Special attention is paid to the impact of such measures on the stability of the power system and the overall economic efficiency of the main networks.

Keywords: 750 kV line, energy efficiency, high-voltage power transmission lines, corona losses, capacity, reactive power, compensating devices (shunt devices)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОИНЖЕНЕРИИ

Литвинов Владислав Сергеевич, магистр

litvinovvlad374@gmail.com

Гуреев Юрий Анатольевич, кандидат технических наук

yuriy.gureev@mail.ru

*Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова,
г.Курск, Россия*

В статье рассматриваются перспективы внедрения энергоэффективных технологий в агроинженерию. Анализируются современные электроприводы, гибридные и электрические тракторы, системы точного земледелия и цифровые двойники. Оцениваются возможности оптимизации режимов работы, мониторинга энергопотребления и применения ERP/MES систем. Выявлены барьеры инфраструктуры, энергоаудита и подготовки персонала, а также пути повышения эффективности и устойчивости АПК.

Ключевые слова: энергоэффективность, агроинженерия, цифровое проектирование, гибридные тракторы, ERP/MES, инфраструктура АПК, российские технологии.

В последние годы в агроинженерии наблюдается устойчивый рост энергопотребления, что напрямую влияет на себестоимость сельскохозяйственной продукции [1]. Большая часть затрат связана с работой машинно-тракторного парка, систем орошения, вентиляции и хранения урожая. Например, современный зерноочистительный комплекс потребляет до 120–150 кВт·ч на тонну продукции, что требует перехода к энергоэффективным решениям. Мировая тенденция направлена на снижение углеродного следа и использование технологий с низким уровнем выбросов. В европейских странах уже действуют стандарты ISO 50001 по системам энергоменеджмента, а в России аналогичные подходы применяются при модернизации предприятий АПК. Традиционные технологические решения, основанные на эксплуатации устаревшей техники, остаются энергоёмкими. Большинство дизельных тракторов имеет КПД не выше 35%, при этом до 25% энергии теряется при передаче мощности. Низкая эффективность двигателей внутреннего сгорания и систем привода вызывает значитель-

ные потери топлива. В транспортировке и хранении продукции также наблюдаются утечки энергии — например, неутеплённые зернохранилища теряют до 20% тепла. Кроме того, высокая зависимость от ископаемых источников энергии делает сельское хозяйство уязвимым к росту цен на топливо. Современные хозяйства начинают переходить на электрифицированную и гибридную технику — тракторы New Holland T4 Electric Power, системы солнечного электрообеспечения для теплиц, энергоэффективные вентиляторы EBM-Papst в зернохранилищах. Внедрение таких решений становится ключевым направлением инженерной модернизации, направленной на снижение энергетических затрат при сохранении производительности.

При проектировании энергоэффективных технологических систем ключевые принципы — минимизация потерь, оптимизация режимов, поиск баланса между производительностью и энергозатратами, а также использование инженерного моделирования [2]. Минимизация потерь достигается выбором компонентов с низкими потерями: насосы с регуляторами давления и характеристикой на оптимальную точку (например, современные центробежные насосы с энергоэффективной гидравликой и частотным приводом), конвейерные линии с роликами низкого трения и редукторами с КПД $\geq 96\%$. На стадиях переработки важна рекуперация энергии — применение регенеративных приводов и торможения в приводах с инверторами Siemens Sinamics/ABB ACS-серии позволяет возвращать энергию в сеть до 20–30% при циклических нагрузках. Оптимизация режимов — внедрение ЧПП (частотные преобразователи), ПИД-регулирование микроклимата в теплицах и управляемые профили работы сушилок; это снижает удельное потребление на единицу продукции за счёт работы в энергооптимальных режимах. Баланс производительность/энергоёмкость устанавливают через технико-экономическое моделирование: например, сравнение дизельного и электрического привода в тракторных агрегатах по суммарным затратам энергии и времени. Роль инженерного проектирования и математического моделирования — привязать физические модели (теплообмен, гидродинамика, электрические потоки) к цифровым двойникам оборудования для прогноза энергопотребления, подбора параметров (диаметры труб, сечение кабелей, КПД редукторов) и верификации сценариев в реальных режимах до закупки оборудования.

Электроприводы с частотным регулированием используют частотные преобразователи (ЧП) серии Siemens Sinamics S120 или ABB ACS880 для точного управления скоростью насосов, вентиляторов и гидронасосов — переход от ступенчатых режимов к плавному снижает энергопотребление на 15–40% и обеспечивает рекуперацию при торможении до 20–30% в циклических операциях. Интеллектуальные системы управления объединяют ЧП с PLC (Siemens S7/TIA) и SCADA для оптимизации профилей работы по заданным алгоритмам PID/Model-Predictive Control. В России появились электрические решения — коммунальный электроприводный трактор «КМ Универсал» (Актив Техно, ходовые испытания 2022, скорость до 30 км/ч, полезная нагрузка >1 т) с распределением мощности на навесное оборудование до 90%. Для точного земледелия

отечественная платформа «PCM Агротроник» поддерживает GNSS/RTK-автопилот с точностью до 2,5 см, картирование урожайности и VRA (variable rate application) для секционного включения и дозирования, что снижает перекрытия и экономит ГСМ и материалы.

В проектировании энергоэффективных систем CAD/CAM-инструменты типа Autodesk Inventor или Solid Edge применяют для трёхмерного моделирования узлов приводов, трубопроводов и конвейерных линий с последующим экспортом в CAE для расчёта тепломассообмена и прочности. Цифровые двойники создают на базе CAE/PLM-платформ (ANSYS, Siemens Tecnomatix/Teamcenter) для верификации режимов работы компрессоров, электродвигателей и сушильных камер в реальном времени и для построения сценариев рекуперации энергии. Для мониторинга энергопотребления ставят IoT-шлюзы и сенсоры (сбор тока, мощности, температуры), данные передают по MQTT/OPC UA в облачные хранилища и SCADA; это позволяет получить телеметрию частоты вращения, коэффициента мощности и профиля потребления по секциям. Интеграция в ERP/MES (отраслевые решения «1С:ERP Агропромышленный комплекс» или 1С:УСП) связывает учёт энергозатрат с плановыми операциями — расчёт удельного потребления по бригаде, учёт ГСМ и анализ «энергия/тонна» для оптимизации сменных графиков и загрузки оборудования [3].

В России внедрение энергоэффективных технологий в агроинженерии сталкивается с несколькими системными барьерами [4]. Во-первых, инфраструктура для интеграции возобновляемых источников энергии недостаточно развита: солнечные панели Suntech STP330–20/Wd, ветровые турбины Enercon E-33 и биогазовые установки мощностью 50–100 кВт устанавливаются локально, без единой сети управления и накопления энергии, что ограничивает их эффективность и масштабируемость. Во-вторых, отсутствует единая система энергоаудита и мониторинга АПК: учёт потребления электричества и топлива проводится фрагментарно, нет стандартизированных показателей для оценки КПД приводов и тепловых систем, что мешает внедрять регламенты ISO 50001 и ГОСТ Р 56252-2014 на всей территории. В-третьих, недостаточная квалификация инженерно-технического персонала ограничивает применение современных решений: многие специалисты не умеют работать с цифровыми двойниками техники, программными комплексами типа «PCM Агротроник» или системами SCADA для управления энергопотреблением теплиц и зернохранилищ. Ограничения знаний проявляются при выборе режимов работы электроприводов, оптимизации секционного орошения и планировании загрузки гибридных тракторов «КМ Универсал», что снижает эффективность потенциальных энергосберегающих проектов.

Внедрение энергоэффективных технологий в агроинженерии позволяет существенно снижать энергозатраты на всех стадиях производства, от обработки и транспортировки до переработки сельхозпродукции. Современные решения, такие как электроприводы с частотным регулированием, гибридные и электрические тракторы отечественного производства, системы точного земледелия и цифровые двойники оборудования, обеспечивают оптимизацию режимов рабо-

ты и контроль энергопотребления в реальном времени [5]. Применение ERP и MES-систем в сочетании с IoT-сенсорами позволяет анализировать удельное потребление энергии и повышать эффективность производственных процессов. В то же время, ограничения инфраструктуры, отсутствие единого энергоаудита и недостаточная квалификация персонала остаются ключевыми барьерами. Для повышения результативности внедрения энергоэффективных технологий необходим комплексный подход, включающий модернизацию оборудования, цифровизацию процессов и подготовку инженерно-технических кадров, что создаёт условия для устойчивого и экономически эффективного развития агропромышленного комплекса России.

Список литературы

1. Семёнов А. В. Эффективность использования энергетических ресурсов в сельскохозяйственном производстве // Экономика и бизнес. – 2013. – № 3. – С. 34–41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-ispolzovaniya-energeticheskikh-resursov-v-selskohozyaystvennom-proizvodstve> (дата обращения: 14.11.2025).
2. Белов В. И., Олонин И. Ю. Повышение энергетической эффективности сельского хозяйства // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – 2020. – С. 59–63. – URL: <https://spajournal.ru/index.php/spa/article/view/1689> (дата обращения: 14.11.2025).
3. ГОСТ Р 56252–2014. Энергоэффективность. Метод определения энергетических характеристик систем и оборудования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.
4. Распоряжение Правительства РФ от 27.12.2010 № 2446-р. О государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».
5. Холодов Д. С., Лепшеев А. Н., Гуреев Ю. А. Повышение эффективности технологий производства в агроинженерии // В кн.: Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК: сб. науч. стат. III Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, аспирантов, магистров и бакалавров. – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 184–187. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80508146> (дата обращения: 14.11.2025).

Vladislav Sergeyevich Litvinov, Master's Degree

Yuri Anatolyevich Gureev, Candidate of Technical Sciences

I.I. Ivanov Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL ENGINEERING

Abstract. The article discusses the prospects for the implementation of energy-efficient technologies in agricultural engineering. It analyses modern electric drives, hybrid and electric tractors, precision farming systems and digital twins. It assesses the possibilities for optimising operating modes, monitoring energy consumption and applying ERP/MES systems. It identifies barriers related to infrastructure, energy audits, and staff training, as well as ways to improve the efficiency and sustainability of the agro-industrial complex.

Keywords: energy efficiency, agricultural engineering, digital design, hybrid tractors, ERP/MES, agro-industrial complex infrastructure, Russian technologies.

УДК 612.76

ВНЕДРЕНИЕ ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА C2 В ШЕЙНЫЙ ОТДЕЛ

Логутов Петр Денисович, аспирант

(e-mail: logutovp@yandex.ru)

Научный руководитель —

Пичхидзе Сергей Яковлевич, д.т.н.

(e-mail: serg5761@yandex.ru)

Саратовский государственный технический университет, Саратов, Россия

Статья содержит исследование рентгеновского изображения с последующим моделированием изделия имплантата шейного отдела позвоночника с изучением механических свойств применяемого материала.

Ключевые слова: имплантат, кость, нагрузка, остеоинтеграция.

Введение. Шейный отдел позвоночника является одним из главных отделов организма человека. Опишем основные факторы изучаемого отдела: подвижность (обеспечивает подвижность головы), кровообращение мозга (через шейные позвонки проходят позвоночные артерии, которые питают задние отделы мозга), соединение спинного и головного мозга.

Чтобы грамотно и своевременно изготовить имплантат для определенного пациента, в современном мире применяется 3Д моделирование, которое позволяет на основании вводных данных разработать имплантат. Разработка имплантата является сложным процессом, так как инженеру, который занимается разработкой, необходимо учесть множество факторов, такие как: подбор материала (выбранный материал должен быть близок к механическим свойствам кости), биосовместимость (реакция организма на непривычный для него материал).

Цель работы: внедрение имплантата позвонка в шейный отдел с использованием рентгеновского снимка.

Для начала разработки имплантата необходимо выполнить рентгеновский снимок и произвести тщательный анализ изучаемой области. Для проведения исследований рентгеновскими снимками использовалось программное обеспечение RadiAnt DICOM Viewer. Программа позволяет выполнить необходимые замеры в реальном масштабе и более детально изучить выбранную область, рис. 1. На основании рентгеновского снимка, был разработан имплантат позвонка шейного отдела сегмента C2, в программе SolidWorks 2024, рис. 3. В качестве материала был выбран титан марки Ti-5Al-2.5Sn, так как по своим свойствам он биосовместим с организмом человека. Применяемый материал имеет следующие технические характеристики, табл. 1.



Рис. 1. Измерение позвонков шейного отдела (вид сбоку): 1 – позвонок C1; 2 – позвонок C2; 3 – позвонок C3; 4 – позвонок C4; 5 – позвонок C5; 6 – позвонок C6; 7 – позвонок C7



Рис. 2. Позвонок шейного отдела сегмента C2, а - вид сбоку, б - вид сверху, в - вид снизу

Таблица 1. Технические характеристики материала титан марки Ti-5Al-2.5Sn

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	1.103e+11	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.31	Не применимо
Модуль сдвига	4.8e+10	Н/м ²
Массовая плотность	4480	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	861000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии	830000000	Н/м ²
Предел текучести	827000000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	9.4e-06	/К
Теплопроводность	7.8	W/(m·K)
Удельная теплоемкость	530	J/(kg·K)
Коэффициент демпфирования материала		Не применимо

На основании модели и технических характеристик были выполнены расчеты нагрузок, рис. 3.

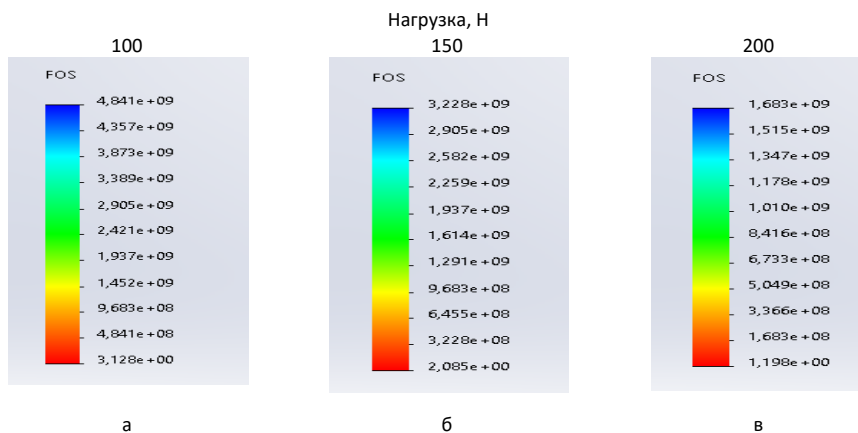


Рис. 3. Эпюры запаса прочности для исследуемых нагрузок, где: а – 100 Н, б – 150 Н, в – 200 Н

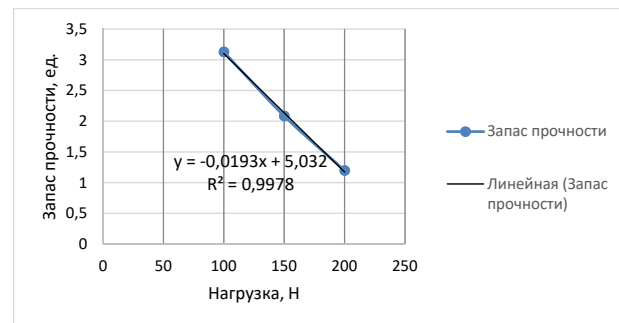


Рис. 4. Зависимость запаса прочности от нагрузки

В основу работы так же легла печать на 3Д - принтере шейного отдела позвоночника сегмента C2 из пластика PLA.



Рис. 5. 3Д модель позвонка шейного отдела сегмента C2

Закключение: 1) минимальные значения напряжений для нагрузок 100 ... 200 Н остаются незначительными; 2) можно отметить, что имплантат способствует снижению напряжений; 3) показано, что с ростом нагрузки материал испытывает более высокие уровни напряжений; 4) перемещения по осям X, Y и Z остаются допустимыми для всех уровней нагрузки, что указывает на стабильность модели; 5) минимальные значения запаса прочности при приложенной нагрузке 100 ... 200 Н составляют 3,128 ... 1,198 ед., что показывает надежность конструкции.

Выводы: 1) проведено внедрение имплантата позвонка в шейный отдел с использованием рентгеновского снимка; 2) показано, что разработанная модель может быть использована при дальнейшем внедрении позвонков шейного отдела сегмента C2.

Список литературы

1. Иванов И.И., Петров П.П. Современные материалы и методы моделирования для разработки костных имплантатов // Медицинская техника и биомедицинские материалы. — 2021. — № 3. — С. 45–52.
2. Смирнова А.А., Кузнецов В.В. Методы моделирования и оптимизации ортопедических имплантатов // Инженерные системы и технологии. — 2020. — № 2. — С. 78–85.
3. Колесникова Т.С., Лебедев М.Б. Биосовместимые материалы: свойства и применения в остеосинтезе // Журнал материаловедения и биомедицинских технологий. — 2019. — Т. 15. — № 4. — С. 112–119.
4. Петухов Ю.К., Григорьев П.А. Современные методы 3D моделирования для разработки имплантатов // Доклады Российского научного центра. — 2022. — № 7. — С. 33–39.
5. Титова Н.Р., Иванов В.Л. Рентгенологический анализ и визуализация позвоночника для хирургического планирования // Журнал рентгенологических исследований. — 2018. — Т. 36. — № 2. — С. 125–132.
6. Lee S., Kim Y., Park J. Design and Mechanical Analysis of C2 Vertebral Implants // International Journal of Biomedical Engineering. — 2020. — Т. 22. — № 1. — С. 45–53.
7. Johnson T., Müller R. Finite Element Analysis of Cervical Vertebrae Implants // Journal of Orthopedic Research. — 2019. — Т. 37. — № 3. — С. 785–792.

Logutov Peter Denisovich, postgraduate student

*Pichkhidse Sergey Yakovlevich, Scientific supervisor, Dr. of Engineering Sciences
Saratov State Technical University, Saratov, Russia*

IMPLANTATION OF THE C2 VERTEBRA IN THE CERVICAL REGION

Abstract. The article contains a study of an X-ray image, followed by modeling of a cervical spine implant, and the study of the mechanical properties of the material used.

Keywords: implant, bone, load, osteointegration.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Лукьянчиков Денис Юрьевич, магистр

(spetlfors@mail.ru)

Мясоедова Марина Анатольевна, к.т.н., доцент

(myasoedova_ma@mail.ru)

Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Россия

Статья посвящена концепции, методам исследования и практической разработке системы оптимального управления режимами электрической сети. Рассматриваются основные цели, функциональные модули такой системы, а также ключевые технологии, которые позволяют перейти от ручного оперативного управления к автоматизированному, экономически эффективному и надежному. Статья охватывает как технические аспекты, так и организационные выгоды внедрения.

Ключевые слова: оптимальное управление режимами, электрическая сеть, система управления, цифровой двойник, потокоораспределение, снижение потерь, качество электроэнергии, предиктивная аналитика, безопасность сети.

Современная электрическая сеть — это динамичная, сложная и высоконагруженная система, где ежесекундно происходят изменения: колеблется потребление, включаются и отключаются генераторы, происходят плановые переключения и аварии. Ручное или реактивное управление таким организмом становится неэффективным и рискованным. На смену ему приходит концепция системы оптимального управления режимами — интеллектуального программно-аппаратного комплекса, который в реальном времени анализирует состояние сети и автоматически выбирает наилучшие управляющие воздействия.

Главная цель СОУРЭС — обеспечить надежное, экономичное и качественное электроснабжение потребителей при соблюдении всех технических ограничений. Это достигается через решение нескольких задач:

1. Минимизация технических потерь активной мощности: Оптимальное перераспределение потоков энергии между параллельными линиями и трансформаторами, управление компенсирующими устройствами [1-3].

2. Поддержание качества электроэнергии: Автоматическое регулирование напряжения на ключевых узлах сети в допустимых пределах путем управления трансформаторами с РПН, синхронными компенсаторами или статическими компенсаторами реактивной мощности (СТАТКОМ).

3. Предотвращение перегрузок оборудования: Прогнозная оценка нагрузок и автоматическое переключение для выравнивания загрузки линий, трансформаторов, что продлевает их ресурс.

4. Повышение надежности и живучести сети: Моделирование аварийных ситуаций и формирование рекомендаций или автоматическое выполнение переключений для ликвидации или локализации аварии с минимальным ущербом.

5. Экономическая оптимизация: Учет стоимости генерации, тарифов, потерь для выбора наиболее выгодного с точки зрения эксплуатационных расходов сетевого конфигурации.

Разработка системы строится на основе иерархической архитектуры, интегрированной с существующей АСУ ТП

1. Слой сбора данных: Источник первичной информации. Датчики, интеллектуальные счетчики устройства РЗА передают данные в реальном времени: токи, напряжения, мощности, положения выключателей, состояние оборудования.

2. Слой анализа и моделирования : Это ядро СОУРЭС. Здесь функционируют ключевые модули:

- Модуль Оценки состояния: «Очищает» первичные данные от погрешностей, выявляет некорректные показания и формирует непротиворечивую, точную картину текущего режима сети.

- Модуль Цифрового двойника: Детальная математическая модель всей сети, постоянно синхронизируемая с данными . На этой модели проводятся все расчеты и прогнозы.

- Оптимизационный модуль: Решает целевую функцию (например, «минимизация потерь») с учетом множества ограничений (допустимые токи, напряжения, диапазоны регулирования). Использует методы нелинейного программирования и машинного обучения.

- Модуль безопасности и анализа устойчивости: Проводит онлайн-анализ статической и динамической устойчивости для предлагаемых изменений режима.

Слой управления и интерфейса: Передает диспетчеру рекомендации в понятной форме, а в автоматическом режиме — напрямую исполнительным устройствам: приводам выключателей, регуляторам РПН, управлению СТАТКОМ и УКРМ.

Разработка СОУРЭС — масштабный проект, включающий:

1. Детальное исследование и аудит сети: Создание и верификация точной цифровой модели .

2. Выбор и настройка алгоритмов оптимизации. Современные подходы используют гибридные методы, включая машинное обучение для быстрого прогнозирования последствий управляющих воздействий.

3. Интеграцию с существующей АСУ ТП и системами коммерческого учета. Это самый сложный организационно-технический этап.

4. Внедрение предиктивной аналитики: Использование прогнозов потребления и генерации (особенно ВИЭ) для упреждающего перестроения режима [4-6].

5. Обеспечение кибербезопасности: Защита каналов связи и управляющих команд от несанкционированного доступа критически важна.

Внедрение СОУРЭС дает измеримый экономический эффект: снижение потерь на 5-15%, уменьшение аварийности, отсрочка инвестиций в новое строительство сетей за счет оптимального использования существующих активов.

Организационно система повышает культуру оперативной работы, переводя диспетчера из роли «реагирующего» в роль «контролирующего стратега».

Таким образом, система оптимального управления режимами — это не будущее, а насущная необходимость для цифровой энергетики. Она трансформирует сеть из пассивной инфраструктуры передачи в активный, саморегулируемый и интеллектуальный организм, способный надежно работать в условиях неопределенности и постоянных изменений.

Список литературы

1. Бутузов В.А. Накопители энергии: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2021.
2. Olabi A.G. Battery energy storage systems and main applications. — Energy, Vol. 235, 2021.
3. Ткачев, А. В. К вопросу автоматизации и цифрового управления в свиарниках - маточниках / А. В. Ткачев, А. В. Ароян, М. А. Мясоедова // Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса : Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 03 июня 2025 года. — Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. — С. 214-217. — EDN ILTFNY.3. IEEE Std 2030.2. Guide for the Interoperability of Energy Storage Systems Integrated with the Electric Power Infrastructure.
4. Хализева, А. И. Разработка высокоэффективных систем управления качеством электрической энергии на основе современных информационных технологий / А. И. Хализева, М. А. Мясоедова // Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса : Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 03 июня 2025 года. — Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. — С. 230-233. — EDN YELDBD.
5. Дьяков А.Ф. Системный подход к внедрению накопителей электроэнергии в ЕЭС России. — Энергетик, №5, 2019.
6. Mongird K. et al. Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment. — Pacific Northwest National Laboratory, 2020.
7. Изучение проблем энергосбережения и повышения энергетической эффективности в бюджетных учреждениях Курской области и способы их решения / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина, В. А. Чаплыгин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 7. — С. 558-562. — DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-558-559. — EDN GUMBIZ.
8. Бирюлин, В. И. Использование современных релейных защит на крупных подстанциях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 7. — С. 535-539. — DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-535-536. — EDN FZBSQC.
9. Бирюлин, В. И. Использование нейронных сетей для исследования энергопотребления в образовательных учреждениях / В. И. Бирюлин, И. В. Ворначева, Д. В. Куделина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — № 9. — С. 257-260. — DOI 10.24412/2071-6168-2023-9-257-258. — EDN VJAAPW.
10. Способы снижения потерь в электрических сетях / В. Н. Алябьев, А. С. Чернышев, И. В. Ворначева, М. С. Кимлик // Молодежь и XXI век - 2020 : материалы X Международной молодежной научной конференции, Курск, 19–20 февраля 2020 года. Том 4. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. — С. 265-267. — EDN SKBIGS.

Lukyanchikov D., Master

Southwestern State University, Kursk, Russia

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC NETWORK MODES

Abstract: The article is devoted to the concept, research methods and practical development of an optimal control system for electric network modes. The article discusses the main goals, functional

modules, and key technologies of such a system, as well as the transition from manual operational control to automated, cost-effective, and reliable control. The article covers both technical aspects and organizational benefits of implementation.

Keywords: optimal mode control, electrical network, control system, digital twin, flow distribution, loss reduction, electricity quality, predictive analytics, and network security.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА D16–10%TiC

Луц Вячеслав Михайлович, школьник

(e-mail: slava_luts09@mail.ru)

Соколова Ольга Алексеевна, учитель

(e-mail: kysr@yandex.ru)

Закамов Дмитрий Васильевич, к.т.н., доцент

(e-mail: zeus65@mail.ru)

Школа №10 «Успех»

Самарский государственный технический университет

г. Самара, Россия

В работе приводятся термодинамических расчетов состава композиционного сплава D16 – 10%TiC, полученного СВС в расплаве с добавлением флюса Na₂TiF₆.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, флюс, карбид титана, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, свойства

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) – современный высокоэффективный способ получения различных тугоплавких соединений в волне горения исходных смесей – СВС-шихт. Существует несколько разновидностей технологий с применением СВС, одной из которых является СВС в расплавах [1]. Эта технология позволяет получать металломатричные композиционные материалы (КМ), в которых армирующий дисперсный наполнитель образуется непосредственно в расплаве, в ходе СВС [2]. Одним из перспективных видов металломатричных КМ являются армированные алюминиевые сплавы.

Даже введение в алюминий частиц карбида титана, синтезированного внутри расплава алюминия, позволяет существенно повысить твердость и прочность КМ, по сравнению с чистым алюминием [3]. Еще больших показателей можно достичь если матрицей будет не алюминий, а термически упрочняемый алюминиевый сплав [4,5].

Существенной проблемой обеспечения прочности КМ содержащих алюминиевые сплавы и карбид титана является невысокая адгезия между ними, которую снижает кислород, образуя окислы титана и алюминия на границах фаз. Кислород вносится в расплав в порах порошков титана и углерода, а также на поверхности частиц титана. Эффективным способом удаления окислов металлов является их взаимодействие с фтористыми соединениями. При СВС туго-

плавких соединений титана используются гексафтортитанаты аммония и натрия. При взаимодействии Na_2TiF_6 с оксидами титана и алюминия происходит сложный многостадийный процесс, в результате которого образуется легкоудаляемый газообразный оксид натрия.

В данной статье приведены термодинамические расчеты СВС карбида титана в расплаве Д16 – сплава, содержащего кроме алюминия медь, магний и марганец. Для расчетов использовалась программа “Thermo”[6]. Изменяемыми параметрами являлись температура расплава и процентное содержание Na_2TiF_6 . Химический состав сплава показан на рисунках 1-4.

На графиках не приведено содержание карбида титана, т.к. оно было постоянным (0,33 моля) при любых исходных данных.

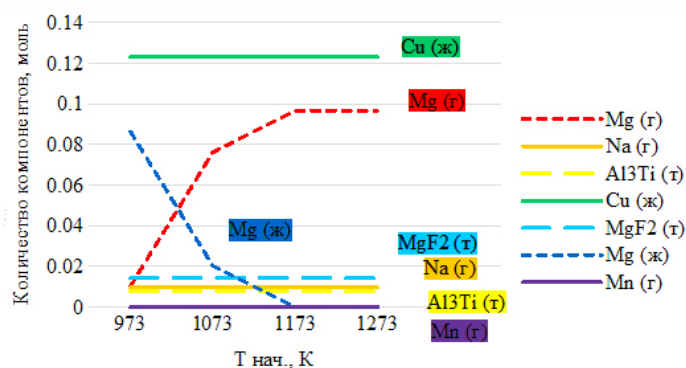


Рисунок 1 – КМ Д16-10%TiC без применения флюса Na_2TiF_6

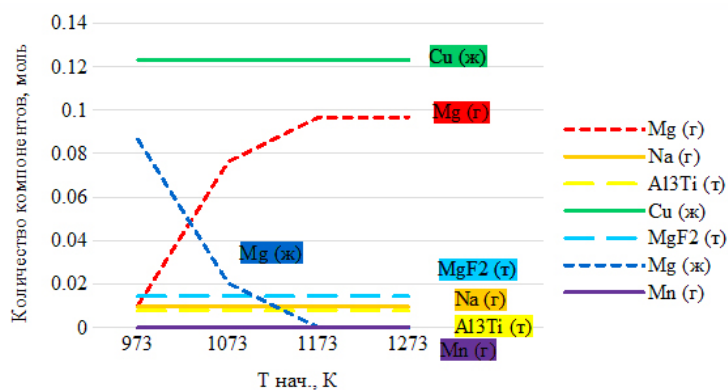


Рисунок 2 – КМ Д16-10%TiC с применением 1% флюса Na_2TiF_6

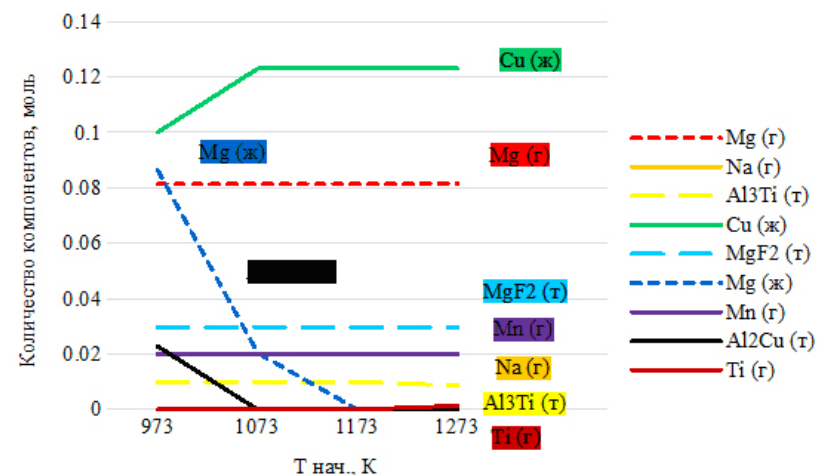


Рисунок 3 - КМ Д16-10%TiC с применением 5% флюса Na_2TiF_6

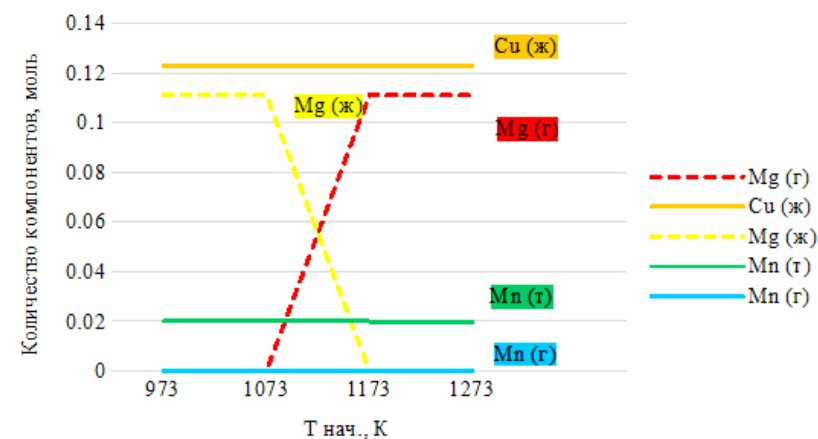


Рисунок 4 - КМ Д16-10%TiC с применением 10% флюса Na_2TiF_6

Из графиков следует, что металлы сплава в основном сохраняются в жидкой фазе. Небольшая их часть газифицируется. В реальных, неадиабатических условиях этот процесс еще менее значителен.

Повышение содержания флюса снижает энергетику системы. Это видно по переходу жидкого магния в газообразный при более высокой начальной температуре, и отсутствии натрия при 10% Na_2TiF_6 . Кроме этого при 5% образуется

упрочняющая фаза CuAl_2 и присутствует самое высокое содержание натрия, что указывает на максимальный эффект по очистке от кислорода.

Список литературы

1. Амосов, А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учеб. пособ. / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов: Под научной редакцией В.Н. Анциферова // М.: Машиностроение-1, 2007. – 567 с.
2. Амосов, А.П., Луц, А.Р., Латухин, Е.И., Ермошкин, А.А. Применение процессов СВС для получения in-situ алюмоматричных композиционных материалов, дискретно армированных наноразмерными керамическими частицами: обзор // Изв. Вузов. Цветная металлургия, 2016. - №1.- С. 39-49.
3. Луц, А.Р. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез алюминиевых сплавов / А.Р. Луц, А.Г. Макаренко // Самара: СамГТУ, 2008. – 175 с.
4. Прусов, Е.С., Панфилов, А.А., Кечин, В.А. Перспективы применения алюмоматричных композиционных сплавов в машиностроении // Литейщик России. – 2012. – №9. – С.16 – 19.
5. Амосов, А.П. Научно-технические основы применения процессов СВС для создания литых алюмоматричных композиционных сплавов, дискретно армированных наноразмерными керамическими частицами. А.П. Амосов, В.И. Никитин, К.В. Никитин, С.А. Рязанов, А.А. Ермошкин / Научные технологии в машиностроении. – 2013. – №8 (26). – С. 3–9.
6. Ширяев, А.В. Инструкция по программе —THERMOI / инструкция по применению/ А.В.Ширяев, Е.А. Петрова// М.: ИСМРАН, 1995. – 36 с.

Luts Vyacheslav Mikhailovich, a schoolboy

Sokolova Olga Alekseevna, teacher

Zkmov Dmitriy Vasilyevich, Cand.Tech.Sci, assistant professor

School № 10 "Success", Samara, Russia

Samara State Technical University, Samara, Russia

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIAL D16–10%TiC

Abstract. The paper presents thermodynamic calculations of the composition of the composite alloy D16 – 10%TiC, obtained by SHS in a melt with the addition of flux Na_2TiF_6 .

Key words: aluminum alloy, flux, titanium carbide, self-propagating high-temperature synthesis, properties

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОДДЕРЖКИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Манжури Никита Романович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

АОЗТ "ЦАТИ", г.Москва, Россия

Полещук Руслан Рашидович, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Военный университет им. князя Александра Невского МО РФ,

г.Москва, Россия

Рязанова Алина Альбертовна, специалист

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Всероссийский научно-исследовательский институт МВД РФ,

г.Москва, Россия

В работе проводится рассмотрение вопросов, относящихся к организации транспортных потоков.

Ключевые слова: транспортные потоки, организация.

В современных городских транспортных грузовых операциях наибольший объем занимают развозные маршруты товаров повседневного спроса по множеству торговых точек. В условиях внедрения систем автоматизации управления предприятиями [1], использования различного программного обеспечения для решения задач логистики применение программ имитационного моделирования позволяет решать широкий класс задач гибкого планирования, диспетчерирования [2] и анализа развозных маршрутов на городских грузоперевозках.

Целью данной работы является анализ возможностей разработанного программного комплекса автоматизированного проектирования маршрутов перевозок для интеграции различных систем автоматизированного управления и контроля городских транспортных [3] средств в единую систему, способную оптимизировать загруженность городских магистралей.

Основу отечественного рынка программных решений в области транспортной логистики представляют ряд компаний, программные комплексы обладают схожими возможностями [4] и разрабатывались для решений одного рода задач.

Основная задача программного комплекса - выбор оптимального маршрута развозки продукции на основании информации о клиентах, их ежедневных заявок на доставку продукции [5], информации о доступных на сегодня транспортных средствах для развозки, водителях, экспедиторах, дорожных условиях, возможностях склада, ramпы, погрузчиков. Модель развозки строится с использованием карты территории, которая обслуживается компанией, осуществляющей доставку, привязкой клиентов к этой карте и к транспортной схеме территории [6].

Программный комплекс включает масштабируемые карты региона и транспортные схемы, справочники, редакторы, средства импорта-экспорта данных из других баз данных, вмонтированные средства формирования отчетов и глубоко-

кого анализа перевозного процесса, средства организации работы по сети, а также многосерверные решения [7] для сложных задач.

Используя подобные программные продукты на многих предприятиях городской дистрибьюторной сети, получим оптимальные маршруты для большей части грузовых внутригородских транспортных средств [8].

Но какие бы методы проектирования маршрутов не использовались перевозчиками - от планирования маршрута водителем до автоматизированного проектирования маршрутов с применением систем контроля перемещения транспорта - не учитываются действия других перевозчиков, которые могут приводить к срыву графиков, увеличению организационных простоев, перегруженности отдельных дорог или участков [9].

Предлагается проект технико-программного согласования оперативных планов перевозчиков на уровне административного управления города - «единый транспортный город».

На сегодня в городах практически отсутствует единая система управления перевозками [10], что и приводит к указанным проблемам.

Известны в использовании три модели управления системой перевозок - децентрализованная, централизованная и смешанная. Централизованная система будет работать следующим образом. После формирования у производителей и дистрибьюторов всех заявок на доставку продукции торговым предприятиям данные передают на центральный сервер городского координационного центра перевозок, куда также поступает информация о режимах работы складов и предприятий торговли города, данные об имеющихся в наличии транспортных средствах с их характеристикой у перевозчиков и дистрибьюторов, данные об изменении в городской транспортной сети. Далее сервер генерирует по имеющимся данным маршруты развозки с учетом дислокации транспорта перевозчиков и передает их в диспетчерские пункты перевозчиков для выполнения.

Преимущество такой схемы - моделирование маршрутов с учетом всех влияющих факторов и получение наиболее оптимальной схемы загрузки транспортных магистралей, наибольшего сервиса всем участникам системы. Недостатком такой системы является зависимость от уровня организации работы всех членов системы - разработка маршрутов не начинается до получения всех заявок и данных. Необходима определенная синхронизация режимов работы всех складов, предприятий.

При децентрализованной системе управления городскими перевозками каждое из предприятий-перевозчиков, получив заявки на доставку товаров, синхронизируется с сервером, где получает «квоты» на посещение точек и использование дорог. Получив «квоты», перевозчик выполняет планирование в рамках заявок. Преимущество такой организации системы - в независимости работы перевозчиков или складов дистрибьюторов, высокая устойчивость работы системы при сбоях в организационной работе отдельных подсистем, недостаток - в понижении уровня оптимизации, т. к. сервер перевозчика «не видит» полной картины состояния транспортных магистралей и разгрузочных площадок. Поэтому в современных условиях наиболее приемлемое решение - смешанная

система управления перевозками. Ее особенность состоит в формировании из нескольких ключевых производителей, дистрибьюторов и супер- и гипермаркетов стратегического костяка, на который приходится большая часть городских перевозок.

Список литературы

1. Львович И.Я., Преображенский А.П., Львович Я.Е. Оптимизация принятия структурно-компонентных проектных решений в САПР киберфизических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45).
2. Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Проблемы принятия решения в различных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 2 (49).
3. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов // International Journal of Advanced Studies. 2025. Т. 15. № 2. С. 86-102.
4. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмизация управления некоторыми ресурсами в системе перевозок // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 2. С. 29-37.
5. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.P., Preobrazhenskiy Yu.P., Choporov O.N. Modeling of control process of industrial organizations based on rating approach // Modeling, Optimization and Information Technology. 2020. Т. 8. № 3 (30).
6. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Оптимизация распределения ресурсов в транспортной системе // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 3. С. 244-267.
7. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
8. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Аветисян Т.В. Моделирование и оптимизация процессов управления информационно-телекоммуникационными системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-48.
9. Преображенский Ю.П., Токарева Н.М. Некоторые особенности 3d моделирования объектов в производственных процессах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 4 (27). С. 33-35.
10. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 2 (41). С. 12-13.

Manzhurin Nikita Romanovich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

CJSC "TSATI", Moscow, Russia

Poleshchuk Ruslan Rashidovich, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

Prince Alexander Nevsky Military University of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

Ryazanova Alina Albertovna, specialist

(e-mail: AlexStepanch@yandex.ru)

All-Russian Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Moscow, Russia

ON SOME POSSIBILITIES OF SUPPORTING THE ORGANIZATION OF TRAFFIC FLOWS

Annotation: The work considers issues related to the organization of traffic flows.

Key words: traffic flows, organization.

О ВЫБОРЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЙ УПРУГОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА

Маркова Галина Викторовна, д.т.н., профессор

(e-mail: galv.mark@rambler.ru)

Бучков Анатолий Евгеньевич, студент

(e-mail: zhmatoly@yandex.ru)

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

В данной обзорной статье рассматривается вопрос применимости различных математических моделей, традиционно используемых для прогнозирования упругих свойств пористых материалов.

Ключевые слова: модуль упругости, пористость, построение моделей.

В большом количестве исследовательских статей, посвященных исследованию пористых материалов (в том числе порошковых) и в частности анализу взаимосвязи между пористостью и упругими константами, в попытке установления функциональной зависимости между этими свойствами авторы прибегают к различным моделям. Этих моделей за долгие годы работы в этом направлении накопилось достаточно большое количество, однако довольно часто возникает проблема применимости этих уравнений на экстремальных (граничных) значениях пористости.

В своей работе [1] показано, что зачастую это связано с тем, что предлагаемые модели никак нельзя считать адекватными и применять для прогнозирования упругих свойств, так как они нарушают важные граничные условия.

Модули упругости многофазных материалов сильно зависят от микроструктуры, в частности, от объемных долей составляющих фаз. Эти свойства обычно ограничены сверху и снизу верхними и нижними пределами. В простейшем случае эти пределы называют односточечными границами.

Было показано, что усредненный по Фойгту тензор Гука представляет собой верхнюю, а усредненный по Реуссу — нижнюю границу среднего по объему тензора Гука [2].

Когда различия в фазах между свойствами составляющих фаз не слишком велики, этих границ вполне достаточно для оценки эффективных свойств (например, модулей упругости или теплопроводности) многофазных материалов. Однако, когда отличия в свойствах фаз выше, границы модели становятся шире, и, следовательно, оценки эффективных свойств становятся очень неточными.

Для изотропных пористых материалов в случае, когда свойство одной из фаз имеет нулевое или пренебрежимо малое значение, верхняя односточечная граница описывается уравнением

$$P_r \equiv \frac{P}{P_0} \leq 1 - \varphi \quad (1)$$

где, φ - пористость (объемная доля пор), P - значение свойства при заданной пористости φ , P_0 - значение свойства при $\varphi = 0$, P_r - определяется как безразмерный относительный параметр. Это уравнение справедливо для определения всех типов упругих констант.

В случае изотропной микроструктуры верхняя двухточечная граница для модуля упругости имеет следующий вид:

$$E_r \leq \frac{1-\varphi}{1+\varphi}, \quad (2)$$

При высоком фазовом контрасте (например, когда одна фаза – поры с нулевой жесткостью) нижние границы обращаются в ноль, а верхние становятся определяющими. В таких случаях простое усреднение границ недопустимо.

Для пористых материалов с изолированными порами (приближение отсутствия взаимодействия) справедливо линейное соотношение:

$$P_r = 1 - \chi\varphi, \quad (3)$$

где χ - расчетный коэффициент, зависящий от формы пор и коэффициента Пуассона твердого тела (в случае модулей упругости).

Уравнение (3) можно рассматривать как точное решение задачи одиночного включения, то есть одиночной поры в бесконечно протяженной твердой матрице. Применительно к свойствам реальных материалов это точное решение называется «приближением отсутствия взаимодействия», поскольку пора предполагается изолированной и бесконечно удаленной от других пор. Хотя можно ожидать, что это линейное модельное соотношение будет справедливым только для материалов с очень низкими значениями пористости и предсказывает ложную точку, в которой материал теряет «связность» для более высокой пористости. Уравнение служит эталонным соотношением, в которое все другие (нелинейные) допустимые соотношения должны вырождаться в случае низкой пористости.

Исходя из вышеописанных соображений, авторы [1, 3] в своей после анализа огромного пласта тематических исследований заключают, что в литературе существует всего 4 типа нелинейных соотношений вида «Свойство - Пористость», которые не нарушают заданных ограничений и при этом работают на всем интервале возможной пористости от 0 до 1:

1) соотношение Хассельмана

$$P_r = \frac{1-\varphi}{1+(\chi-1)\varphi^2}, \quad (4)$$

2) соотношение Кобла - Кинджери

$$P_r = 1 - \chi\varphi + (\chi - 1)\varphi^2 \quad (5)$$

3) степенное соотношение (включая модель Гибсона - Ашби для структур с пористостью открытого типа)

$$P_r = (1 - \varphi)^\chi \quad (6)$$

4) экспоненциальное соотношение (соотношение Пабста - Грегоровой)

$$P_r = e^{\left(\frac{-\chi\varphi}{1-\varphi}\right)} \quad (7)$$

Набор нелинейных модельных соотношений, приведенных выше для изотропных пористых материалов (уравнения (4)–(7)) является исчерпывающим в

том смысле, что эти соотношения являются единственными модельными соотношениями без эмпирических параметров, которые сводятся к точному решению, уравнению (3), для пренебрежительно малой пористости и при этом не нарушают верхних границ.

Список литературы

1. Pabst, Willi & Gregorová, E... Critical Assessment 18: Elastic and thermal properties of porous materials -rigorous bounds and cross-property relations. // Materials Science and Technology. (2015) 31. 1801-1808. 10.1080/02670836.2015.1114697.

2. Перегудов, Д. В. О вычислении верхней (нижней) границы усредненных упругих модулей поликристаллической анизотропной среды и априорных оценках на верхние (нижние) граничные модули / Д. В. Перегудов // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61, № 1. – С. 135-148. – DOI 10.15372/GiG2019096. – EDN IKOODF.

3. Pabst, Willi & Gregorová, Eva & Tichá, Gabriela. Elasticity of Porous Ceramics-A Critical Study of Modulus–Porosity Relations. // Journal of the European Ceramic Society. (2006) 26. 1085-1097. 10.1016/j.jeurceramsoc.2005.01.041.

Markova Galina Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor

Buchkov Anatoly Evgenievich, student

Tula State University, Tula, Russia

ON THE CHOICE OF A MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE MODULUS OF NORMAL ELASTICITY DEPENDING ON THE POROSITY OF THE MATERIAL

This review article discusses the applicability of various mathematical models traditionally used to predict the elastic properties of porous materials.

Keywords: modulus of elasticity, porosity, model construction.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ

Медников Александр Сергеевич, студент

(e-mail: asmednikov@gmail.com)

Илларионова Ксения Викторовна, к.т.н., доцент

(e-mail: elkv@mail.ru)

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются требования, предъявляемые к безопасности легковых автомобилей в рамках программы RuNCAP, и исследуются возможности внедрения данной программы для оценки безопасности легковых автомобилей в РФ.

Ключевые слова: Российская Федерация, безопасность, легковые автомобили, сертификация, краш-тест, RuNCAP.

По данным МВД РФ, около 60% жертв ДТП приходятся на лобовые столкновения [1]. Таким образом, в 2025 году в лобовых столкновениях погибло около 9 тысяч человек [2], что свидетельствует о социальной значимости исследуемой

проблемы и необходимости ужесточения мер контроля безопасности легковых автомобилей в РФ.

Исследование аварийных испытаний легковых автомобилей в России актуально, так как в 2025 году для подтверждения безопасности легковых автомобилей используются устаревшие методики, опирающиеся на данные о ДТП на дорогах со значительно меньшими скоростными ограничениями. За последние три года автомобильный рынок России радикально изменился, потребитель больше не может полагаться на результаты независимых зарубежных исследований безопасности легковых автомобилей, так как многие модели не встречаются на иностранных рынках. В этих условиях независимая система оценки безопасности легковых автомобилей способствует открытости и прозрачности, и стимулирует конкуренцию производителей по уровню безопасности помимо прочих факторов. Развитие отечественной программы аварийных испытаний – это одновременно вопрос потребительской защиты, промышленной политики и снижения социально-экономического ущерба от ДТП.

Целью исследования служит анализ доступных данных о методиках проведения аварийных испытаний в рамках RuNCAP и составление теоретических рекомендаций для наиболее эффективной реализации данной программы в РФ.

Для реализации на территории Российской Федерации, каждый новый серийный легковой автомобиль обязан иметь действующий сертификат ОТТС (Одобрение типа транспортного средства), оценка соответствия проводится в форме обязательной сертификации в соответствии с ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», который регламентируют защиту водителя и пассажиров легкового автомобиля при фронтальном и боковом столкновениях в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 94 и 95 от 1995 года. Фронтальный удар производится в деформируемое неподвижное препятствие с перекрытием 40% $\pm$ 20 мм на скорости 56 $\pm$ 1 км/ч, а боковой – с помощью подвижной тележки массой 950 $\pm$ 20 кг, развивающей скорость 35 $\pm$ 0,5 км/ч [3], что свидетельствует о низкой степени актуальности обязательных требований, предъявляемых к аварийной безопасности легковых автомобилей в России.

В течение 21 века безопасность легковых автомобилей продемонстрировала серьезный рост, а средняя масса автомобиля выросла и это подтверждают результаты краш-тестов наиболее востребованных в России новых легковых автомобилей. В независимом тесте журнала «АвтоРевю» ВАЗ-2107 набрал 0 баллов из 16 возможных, а Лада Веста – 15,1 баллов [4]. Столь высокая оценка автомобиля, оборудованного лишь двумя фронтальными подушками безопасности, показывает на необходимость дальнейшего совершенствования требований, предъявляемых к безопасности легковых автомобилей.

В рамках совместной инициативы Росстандарта, НАМИ, МАДИ и вышеупомянутого журнала ведется разработка российского национального рейтинга безопасности новых легковых автомобилей RuNCAP (Russian New Car Assessment Program). Работы над перезапуском активизированы после перерыва, вызванного эпидемией COVID-19 и изменений состава российского авторынка в 2022-2024 годах в 2025 году. Рейтинг RuNCAP призван снизить коли-

чество дорожно-транспортных происшествий и уменьшить тяжесть их последствий на дорогах РФ, с учетом того, что обязательные сертификационные требования к автомобилям гарантируют лишь минимальный уровень безопасности [5].

Необходимость введения собственной российской программы аварийных испытаний обусловлена двумя факторами: уникальность ассортимента российского автомобильного рынка и повышенные (в сравнении с ЕС) скоростные ограничения. В большинстве городов ЕС максимальная разрешенная скорость составляет 50 км/ч. В России это 60 км/ч, к которым добавляются 20 км/ч «нештрафуемого порога». Разница в кинетической энергии автомобилей, движущихся со скоростями 50 и 80 км/ч соответственно составляет 156%. Хотя стандартная скорость проведения краш-теста равна 64 км/ч, необходимо пересмотреть этот параметр ради отражения наиболее типичного сценария ДТП на российских дорогах.

Предполагаются более строгие условия проведения краш-тестов, в сравнении с требованиями, необходимыми для получения ОТТС: удары на скорости 65-70 км/ч с перекрытием 20-25% и 55-60 км/ч – с перекрытием 35%-40%. Кроме этого, объектами испытаний должны послужить прочность крыши при опрокидывании, системы автоматического торможения перед пешеходами и автомобилями, а также системы предупреждения о фронтальном ударе, удержания в полосе, которые могут быть покрыты льдом и снегом и плохо освещены [6].

Правовой статус RuNCAP остается объектом домыслов и спекуляций за отсутствием оповещения общественности. Внедрение данной программы в качестве дополнения к актуальным требованиям безопасности легковых автомобилей по ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» с большой вероятностью серьезно повлияет на автомобильный рынок России. К примеру, самый востребованный новый легковой автомобиль 2024 года Lada Granta практически наверняка не выполнит норматив для испытаний с малым перекрытием [4]. Такой вывод можно сделать, по результатам краш-теста, проведенного «АвтоРевю»: 10,7 баллов из 16 при ударе в статичное деформируемое препятствие с перекрытием 40% на скорости 64 км/ч [7].

Удары с малым перекрытием, как правило, приводят к более тяжелым последствиям – как следствие контакта с препятствием меньшей площади переда автомобиля, рассеивание кинетической энергии происходит менее эффективно. Удар приходится мимо лонжерона, крыло и колесо практически не способствуют замедлению, из-за чего основная часть нагрузки оказывается на стык моторного щита и передней стойки – границу пассажирского отсека. Для обеспечения достаточного уровня безопасности, удар должен быть перенаправлен, а не погашен полностью, то есть автомобиль должен продолжить движение по инерции под углом к изначальному вектору скорости. Колесо должно иметь возможность поворачиваться, а не уходить назад; передняя силовая часть кузова должна расширяться к началу пассажирского отсека ради соскакивания автомобиля с препятствия. Для передних пассажиров также обязательно наличие боковых подушек безопасности.

Кроме, безопасности пассажиров и водителя рассматриваемого автомобиля, стоит также обратить внимание на сохранность потребителей внутри второго автомобиля, участвующего в лобовом столкновении. Европейский комитет по проведению независимых краш-тестов Euro NCAP с 2020 года проводит испытание «MPDB 50»: автомобиль, движущийся со скоростью 50 км/ч сталкивается с тележкой массой 1400 кг, движущейся со скоростью 50 км/ч; перекрытие удара составляет 50%. Тележка оснащена сминаемой зоной и датчиками ускорения. После проведения испытания помимо безопасности автомобиля оценивается уровень перегрузок для второго участника ДТП. При получении высоких значений, общая оценка безопасности снижается [8]. Такое испытание необходимо добавить в программу RuNCAP, так как на дорогах России до сих пор достаточно много сравнительно старых автомобилей, опасность которых лишь усугубляется коррозией и усталостью металла. Кроме прочего, новые легковые автомобили стали тяжелее. В соответствии с законом сохранения импульса, это приведет к большим перегрузкам автомобиля с меньшей массой.

Программа RuNCAP может быть актуальна как процедура добровольной сертификации при умеренном подходе к выдвижению окончательных требований к безопасности легковых автомобилей. В случае заявления слишком строгих требований, автопроизводители практически наверняка будут игнорировать данную программу, что сделает ее бесполезной. Возможно, RuNCAP стоит повторить путь Euro NCAP: получать финансирование от государств-членов ЕАЭС и проводить независимые исследования новых легковых автомобилей, распространенных на территории всего Экономического Союза. Это позволит сосредоточить усилия на создании наилучшего испытательного комплекса на основе существующего полигона НАМИ вместо нескольких разрозненных несвязанных структур.

Методики подтверждения безопасности легковых автомобилей в России устарели и не соответствуют фактическим условиям ДТП. Это подтверждает низкая репрезентативность независимых краш-тестов с более строгими требованиями. Для повышения безопасности легковых автомобилей, государство в лице Росстандарта, НАМИ и МАДИ в сотрудничестве с редакцией журнала «АвтоРевю» создает систему аварийных испытаний легковых автомобилей. RuNCAP потенциально способен благоприятно повлиять на уровень безопасности автомобилей. Эффективность этой программы будет зависеть от корректного набора испытаний, точно отражающих условия возникновения ДТП на российских дорогах и параметров, включая сценарии с малым перекрытием, оценку совместимости автомобилей при столкновениях, а также проверку современных систем активной безопасности с учётом российских условий эксплуатации – прочность крыши, ADAS в условиях снега, льда или плохой разметки, а также от понятного правового статуса, устойчивого финансирования и публичного доступа к результатам. При сбалансированном подходе к требованиям RuNCAP может стать значимым элементом системы дорожной безопасности, а при чрезмерной жёсткости критериев существует риск низкой вовлечённости производителей и снижения практической полезности программы.

Список литературы

1. В МВД рассказали, от чего гибнут 60% жертв ДТП. URL: <https://tass.ru/obschestvo/23315639> (дата обращения: 16.12.2025)
2. Показатели состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 16.12.2025)
3. Технический регламент Таможенного союза 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=510661&dst=100034#gRaEI5V86FMbKVfs> (дата обращения: 17.12.2025)
4. Рейтинг безопасности легковых автомобилей по данным ARCAP. URL: <https://autoreview.ru/arcar/all> (дата обращения: 17.12.2025)
5. Российский национальный рейтинг безопасности автомобилей RuNCAP: новый этап. URL: <https://www.autoengineer.org/novosti/runcap-novyy-etap.html> (дата обращения: 17.12.2025)
6. Зачем России своя система краш-тестов. URL: https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news?portal:isSecure=true&navigationalstate=JB_PNS_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmllldwACaWQAAAABAAQ1NTIxAAdfX0VPR19f&portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16 (дата обращения: 17.12.2025)
7. Продажи новых легковых автомобилей в России в 2024 году. URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/59224/> (дата обращения: 17.12.2025)
8. Euro NCAP. URL: <https://www.euroncap.com/en/car-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/frontal-impact/mobile-progressive-deformable-barrier/> (accessed 17.12.2025)

Mednikov Aleksandr Sergeevich, student

St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Illarionova Kseniia Viktorovna, Cand.Tech.Sci., associate professor

St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

PROSPECTS FOR APPLYING ACCIDENT TESTS OF CARS IN THE RUSSIAN FEDERATION FOR SAFETY ASSESSING

Abstract. *The article discusses the requirements for the safety of passenger cars under the RuNCAP program and explores the possibilities of implementing this program for assessing the safety of passenger cars in the Russian Federation.*

Keywords: *Russian Federation, safety, passenger cars, certification, crash-test, RuNCAP.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Минеева Наталья Сергеевна, младший научный сотрудник

(e-mail: kalutsky1990@mail.ru)

ФГБУ НИИПХ Росрезерва, г. Москва

В настоящей работе проведено исследование особенностей образования внутренних напряжений в гальванических покрытиях. Показаны условия получения покрытий с низкими внутренними напряжениями. Рассмотрены параметры электролиза, влияющие на значения внутренних напряжений электроосажденных металлических покрытий.

Ключевые слова: гальванические металлические покрытия, параметры электролиза, внутренние напряжения.

Внутренние напряжения в гальванических покрытиях образуются в результате различных структурных искажений, выражающихся в сжатости или растянутости осадков, по сравнению с их нормальным состоянием [1,2,3].

При сжатии осадок будет стремиться расшириться и таким образом увеличиться в объеме. Этот вид напряжения отличается отрицательным знаком. При растяжении осадок стремится уменьшить свой объем и этому виду напряжений приписывается положительный знак. Возникающие в электролитических покрытиях внутренние напряжения могут достигать больших значений. Так, в случае электроосаждения никеля они равняются 265 – 295 МПа, а при осаждении хрома почти в два раза больше.

Наличие в электроосажденных металлических покрытиях очень больших внутренних напряжений может вызвать резкое снижение их антикоррозионных свойств в результате растрескивания слоя металла и увеличения пор, а также привести к отслаиванию покрытия от поверхности металла, снижению усталостной прочности и ухудшению других свойств изделий.

Внутренние напряжения в электроосажденных металлах, характеризующие состояние сжатия при растяжении, возникают почти во всех случаях и, как отмечалось, играют очень большую роль. Учитывая очень важное значение, которое имеют внутренние напряжения в гальванических покрытиях, проведение ежедневного контроля внутренних напряжений в гальваническом цехе. Поэтому особый интерес представляет разработка надежных, несложных методов определения внутренних напряжений.

В настоящее время существует ряд методов для измерения внутренних напряжений: метод изгиба катода, спиральный контактометр Бренера, метод дискового катода с омическим датчиком и рентгенографические методы.

Если первые три метода позволяют определить суммарные внутренние напряжения, то рентгенографический метод дает возможность определять не только макронапряжения (напряжения I рода), но и микронапряжения (напряжения II и III рода). Существуют различные определения указанных напряжений, но, как правило, в нашей стране обычно пользуются классификацией Да-

виденкова, согласно которой искажения кристаллической решетки подразделяются на три рода.

Значительные включения водорода в гальваническое покрытие часто приводят к снижению сцепляемости и в некоторых случаях вызывают образование вздутий и пузырей. При осаждении медных покрытий на никеле при наличии в электролите некоторых органических веществ, вызывающих возникновение в меди внутренних напряжений, сцепляемость сильно уменьшается. Ниже представлены данные зависимости внутренних напряжений и сцепляемости от продолжительности предварительной проработки электролита, в котором находились органические примеси. В результате проработки электролита концентрация органических веществ в нем уменьшается.

Таблица 1 – Влияние продолжительности проработки электролита на внутренние напряжения получаемых покрытий

Электролит, кг/м ³ :			
CuSO ₄ ·5H ₂ O	250	250	250
H ₂ SO ₄	96	96	48
Продолжительность предварительной обработки, ч	140	14	14
Сцепляемость, г/ед. поверхности	10200	5700	550
Внутренние напряжения, МПа	127,5	245	490

Внутренние напряжения и пористость осажденных металлов изучались в работах [4,5,6]. Установлено, что пористость покрытий в значительной степени зависит от внутренних напряжений. Чем выше напряжения растяжения, тем больше и пористость. Эта зависимость относится ко всем видам пористости (микропористость, макропористость и пористость канальчатого типа). Напряжения сжатия не оказывают такого влияния, не способствуя возникновению пористости.

В литературе опубликовано больше всего данных о внутренних напряжениях в никелевых, хромовых и медных покрытиях, значительно меньше исследований железных покрытий. О других покрытиях имеется весьма мало сведений.

На внутренние напряжения гальванических покрытий большое влияние оказывают условия электролиза [7,8,9], которые чаще всего проявляются при осаждении на твердые металлы. Практикой установлено, что электролиты для осаждения гальванических покрытий должны поддерживать особо чистыми. Недопустимо попадание в электролиты примесей посторонних металлов, которые, осаждаясь вместе с покрытием, могут сильно изменять его свойства. При этом очень опасны возникающие внутренние напряжения, особенно для никелевых осадков. В наиболее благоприятных условиях отслаивание покрытий происходит еще в процессе осаждения. Весьма опасны большие внутренние напряжения при осаждении толстых металлических покрытий.

Состав электролита также значительно влияет на внутренние напряжения осажденных металлов. На внутренние напряжения в электроосажденных ме-

таллах влияет природа металла и подложки, а также ее состояние. Несмотря на известные расхождения в опубликованных данных о влиянии природы металлов, можно привести расположение металлов в ряд по величинам внутренних напряжений, который имеет условное значение.

Таблица 2 – Ряд металлов по величинам внутренних напряжений

Металл	Pd	Cr	Ni	Mn	Cu	Zn
Внутренние напряжения, МПа	686,7	363-599	275-285	29,4-45,1	14,7-29,4	1,9-19

При введении в электролит небольших концентраций некоторых органических веществ наблюдается осаждение никеля и меди, обладающих внутренними напряжениями сжатия.

Список литературы

1. Блинков Б.С., Серебровский В.В., Серебровский В.И. Исследование внутренних напряжений в электролитических железо-кобальтовых покрытиях // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 7. С. 182-183.
2. Серебровский В.И., Сафронов Р.И., Калущий Е.С. Электроосаждение легированных железных покрытий // В сборнике: ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА АГРОПРОМЫШЛЕННОМУ КОМПЛЕКСУ. материалы Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции. Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. 2017. С. 69-77.
3. Серебровский В.И., Серебровский В.В., Сафронов Р.И., Калущий Е.С. К вопросу об усталостной прочности деталей, восстановленных электроосажденным железом // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2. С. 48-50.
4. Серебровский В.И., Богомолов С.А., Калущий Е.С. О возможности электроосаждения двухкомпонентных износостойких железомолибденовых и железомолибденовых сплавов из хлористого железного электролита // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 5. С. 77-78.
5. Серебровский В.И., Калущий Е.С., Мясоедова М.А. Влияние режимов электролиза на субмикроструктуру электроосажденного железа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 26-39.
6. Серебровский В.И., Калущий Е.С., Кончин В.А. Активирование поверхности детали для повышения прочности сцепления с электроосажденными покрытиями // В сборнике: Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. Сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции. Курск, 2024. С. 127-131.
7. Серебровский В.И., Калущий Е.С., Руденко В.В. Гидратообразование при восстановлении деталей машин электроосажденными железными покрытиями // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12. № 1. С. 70-82.
8. Калущий Е.С., Кончин В.А., Шатохина Д.Н. Исследование прочности сцепления при восстановлении деталей машин электроосажденными покрытиями на основе железа // В сборнике: Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2020. С. 43-46.
9. Изменение структуры электроосажденных железных покрытий в процессе трения и износа / Серебровский В.И., Калущий Е.С., Сафронов Р.И., Гнездилова Ю.П., Петренко А.А., Монастырев Н.Ю. // В сборнике: РОЛЬ АГРАРНОЙ НАУКИ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ

АПК. материалы II Международной научно-практической конференции. Курск, 2022. С. 344-348.

Mineeva Natalia Sergeevna, Junior Researcher

FSBI NIIPH Rosreserva, Moscow

INVESTIGATION OF INTERNAL STRESSES OF METAL COATINGS

In this paper, a study of the features of the formation of internal stresses in electroplating is carried out. The conditions for obtaining coatings with low internal stresses are shown. The parameters of electrolysis affecting the values of internal stresses of electrodeposited metal coatings are considered.

Keywords: galvanic metal coatings, electrolysis parameters, internal voltages.

DOI 10.47581/2025.TM-14/Mixalev-Ynushkin-01

ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА И ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В АВИАСТРОЕНИИ И АВИАЦИИ

Михалев Олег Николаевич, к.т.н.

(e-mail: mih_tm@mail.ru)

г. Москва, Россия

Янюшкин Андрей Романович, аспирант

(e-mail: andreyyanyushkin@gmail.com)

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,

г. Чебоксары, Россия

Авиастроение связано с высокой долей неопределенности, в связи с чем при проектировании самолетов требуется использовать различные сложные нелинейные методы математического моделирования и методы искусственного интеллекта, позволяющих учитывать неопределенность с высокой точностью предсказаний, но требующих больших данных и больших вычислительных ресурсов. Однако, ко многим задачам авиации применимы более простые линейные, но мощные математические методы, например, методы линейной алгебры и линейного программирования. Также с помощью линейных методов можно аппроксимировать и решение некоторых нелинейных задач. Это может снизить требования к вычислительным ресурсам и повысить скорость расчетов с небольшой потерей точности, что дает возможность быстрее и проще анализировать нелинейные системы, а также решать многие задачи самолетостроения и авиации более эффективно.

Ключевые слова: линейная алгебра, линейное программирование, линеаризация, математическое моделирование, проектирование самолетов, авиастроение, авиация.

Линейная алгебра (ЛА) — является разделом математики, изучающей объекты линейной природы (векторные пространства, линейные преобразования, системы линейных уравнений) с помощью матриц, определителей, векторов и других инструментов. Например, системы линейных уравнений представляются в виде матриц и векторных пространств, с помощью которых можно осуще-

ствлять более эффективное их решение. Определители помогают в анализе свойств матриц, а векторы используются для представления объектов, имеющих как величину, так и направление. Это позволяет описывать, например, силы, скорости и другие физические величины, и моделировать процессы. Широкое применение это находит в компьютерной графике при повороте, перемещении, масштабировании и освещении объектов, а также во множестве других задач. При этом векторная алгебра более сосредоточена на изучении операций над векторами (сложение векторов, умножение их на число и другие операции). А аналитическая геометрия, являясь разделом геометрии, исследует геометрические фигуры и их свойства средствами алгебры, ЛА, декартовых координат. Элементы ЛА находят широкое применение в технологиях производства [1], в машинном обучении [2] и многих других областях.

Линейное программирование (ЛП) — является математическим методом для оптимизации параметров (выявления максимума, минимума функции) и нахождения лучшего решения среди множества возможных вариантов при наличии линейных ограничений. Целевая функция выражается в виде системы линейных уравнений или неравенств. Данный метод широко применяется в экономике и управлении, например, при расчетах выпуска всей необходимой продукции предприятия, обеспечивая минимальные затраты, а также выдерживая условия различных ограничений производственного предприятия. Здесь решаются задачи оптимизации производственных программ выпуска и планирования [3]. В области ресурсосбережения, являющимся все более востребованным направлением, решаются задачи оптимального использования материалов, электроэнергии, снижения износа механизмов, инструментов, снижения количества операций и т.д., [4]. Также ЛП применяется в строительстве и многих других областях при решении различных задач оптимизации [5].

Аналогичным образом ЛА и ЛП используются в проектировании летательных аппаратов, расчетах аэродинамики, создании автопилотов и других авиационных систем [6]. Например, с использованием ЛА возможно разрабатывать системы управления слежением за траекторией самолета с вертикальным взлетом и посадкой [7]. А с помощью ЛП можно рассматривать предварительное проектирование самолета, как задачу оптимизации, например, по критерию расхода топлива, экономичности и многих других параметров. Однако, авиастроение связано со множеством неопределенностей, которые необходимо также учитывать. Решение подобных неопределенных задач может быть аппроксимировано более простыми линейными методами ЛА и ЛП [8].

При предварительном проектировании воздушного судна решаются задачи выбора различных параметров - материалов, геометрических форм, аэродинамики и многих других для обеспечения эксплуатационных характеристик и минимальной стоимости. Для этого могут использоваться упрощенные математические модели, охватывающие все основные физические процессы полетов самолета. Например, с помощью подобного моделирования можно более просто узнать необходимую площадь крыла, которая определяет его основные размеры, что в свою очередь определяет размеры двигателя и других узлов самолета.

После чего возможно оптимизировать и экономические характеристики по снижению массы, расхода топлива и др. Подобное моделирование должно учитывать различные неопределенности, особенно при расчете аэродинамической эффективности, где метод Монте-Карло, является более точным методом, однако требует высоких вычислительных ресурсов [9]. Использование других вероятностных, статистических методов, теории нечетких множеств может также отличаться высокой ресурсоемкостью [10]. В связи с чем одним из подходов для учета неопределенности является применение менее ресурсного метода распространения, основанного на моментах (Moment-Based Propagation Method), с аппроксимацией Тейлора первого порядка для неопределенной функции. Линеаризация неопределенной функции осуществляется вблизи точки среднего значения входных переменных. Таким образом, данный подход предварительного проектирования учитывает ряд сложных линейных уравнений, описывающих различные ограничения, а также дальнейшее распространение неопределенности и переформулирование в задачу ЛП. Т.е. нелинейная сложная задача может решаться мощными линейными методами в окрестности точки интереса, наподобие как провести касательную к кривой функции в определенной точке, которая совпадает с кривой в некоторой окрестности. Подобное упрощенное моделирование, учитывающее неопределенности, возможно реализовывать без использования больших данных и больших вычислительных ресурсов. Однако, метод зависит от степени нелинейности процессов. С высокой нелинейностью ошибка будет более большой. Дальнейшее расширение метода Тейлора, улучшающее его точность, использует более сложные математические методы: разложение по полиномам Хаоса (Polynomial Chaos Expansion, PCE); тензоры перехода состояния (State Transition Tensors, STT); квадратурные методы (Gaussian Quadrature).

В аэродинамике ЛА используется для моделирования и анализа сложных потоков воздуха, расчета аэродинамических сил и распределения давления с помощью векторных и матричных вычислений. Физические величины - скорость, давление, силы представляются в виде векторов и матриц. С помощью матриц также решаются и системы уравнений, описывающих движение воздуха. Хотя задачи аэродинамики требуют более точных нелинейных подходов, ЛА необходима для их решения.

В разработке автопилота ЛА и геометрия имеют особое значение, так как они позволяют обрабатывать пространственные данные в виде матриц, строить траектории и выполнять вычисления управляющих воздействий, например определять положение элеронов или руля для достижения желаемого состояния или стабилизации самолета, особенно при автоматической посадке. Однако, доказано, что формула нелинейного автопилота, основанного на обратном шаге, лучше, чем конструкция линеаризации с обратной связью, но подобная реализация требует более сложных подходов [11]. Аналогично ЛА применяется во многих других задачах навигации, например, при корректировке курса автономного полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На основе показателей с

датчиков могут применяться матричные расчеты для управления движением и стабилизации БПЛА в пространстве.

В ресурсосбережении в целях сохранения экологического равновесия в индустриальных странах к 2040 году требуется сокращение выбросов более чем на 90%. Это требует от производств более эффективного использования ресурсов, снижения объема материальных ресурсов, вовлекаемых в производство, снижения отходов, а также использования возобновляемых источников энергии и т.д. Для решения данных задач также используются методы ЛА и ЛП.

Основным методом решения задач ЛП является симплекс-метод [12]. Данный метод позволяет найти оптимальное решение (экстремум функции) путем итеративного перемещения по вершинам многогранника допустимых решений.

Для решения задачи по определению управляющих воздействий используют метод линейного управления (линейно-квадратичный регулятор ЛКР, англ., linear quadratic regulator, LQR), который минимизирует интеграл от суммы квадратов отклонений состояния (ошибки) и затрат на управляющее воздействие [13]. Используется в линейных системах и широко применяется в аэрокосмической технике, робототехнике, управлении технологическими процессами и других отраслях.

Существует множество других подходов к решению подобных задач авиационного и авиационного, такие как динамическое программирование, комбинаторика, теория нечетких множеств и др., [14, 15]. Для решения более сложных задач требуется применение нелинейных методов, например машинное обучение, нейронные сети, теория нелинейного управления, метод конечных элементов и др., т.к. задачи авиации по своей природе нелинейны [16]. Однако, они требуют больших данных и больших вычислительных ресурсов.

Выводы

Методы ЛА и ЛП являются распространенными методами для решения многих задач авиационного и авиационного. Также они могут быть использованы при линеаризации нелинейных функций вблизи точки интереса, и при разложении нелинейных задач на более простые линейные. Это позволяет решать некоторые сложные неопределенные задачи более простыми линейными методами, не требующих больших данных и больших вычислительных ресурсов. Что может позволить проектировать самолеты, а также решать многие другие задачи авиационного и авиационного более эффективно. Однако, для более точного математического моделирования необходимо использовать более сложные и ресурсоемкие нелинейные методы, т.к. задачи авиации являются нелинейными.

Список литературы

1. Логачева Е.А., Косарев А.В., Антонова А.А., Гиляжева Д.Н. Элементы линейной алгебры в применении к технологиям производства // Современное положение и инновационные тенденции преподавания дисциплин естественно-математического цикла в системе высшего образования: Сборник статей международной научно-практической конференции, Саратов, 28–30 марта 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 84–90.
2. Романова Ю.С., Пастухова Е.В. Методы линейной алгебры в разработке алгоритмов машинного обучения // Математические методы и модели в высокотехнологичном производ-

стве: Сборник тезисов докладов IV Международного форума. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 06 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 19-21.

3. Маковецкий М.Ю., Шевелева О.Г. Применение метода линейного программирования в решении экономических задач // Двадцать шестые апрельские экономические чтения: материалы всероссийской научно-практической конференции, Омск, 14 апреля 2020 года. – Омск: Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Омский филиал, 2020. – С. 224-228.

4. Скворцова Д.А., Чувильгин Е.Л., Деркач И.С. Решение задач ресурсосбережения с помощью инструментов линейного программирования // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование : Материалы конференции, Москва, 18 июня 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2021. – С. 432-437.

5. Волосенкова В.С. Линейное программирование в строительстве // Современные тенденции развития фундаментальных и прикладных наук: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 25 января 2025 года. – Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2025. – С. 675-679.

6. Косырев Н.С., Нуязин М.А. Применение линейной алгебры в авиации и аэродинамике // Российская наука в современном мире: Сборник статей LIV международной научно-практической конференции, Москва, 31 мая 2023 года. – Москва: ООО "Актуальность.РФ", 2023. – С. 142-144.

7. Gandolfo, Daniel & Rosales, Claudio & Patiño, Hector & Scaglia, Gustavo & Jordan, M.. (2014). Trajectory Tracking Control of a PVTOL Aircraft Based on Linear Algebra Theory. Asian Journal of Control. 16. 10.1002/asjc.819.

8. Prigent, S., Maréchal, P., Rondepierre, A., Druot, T., & Belleville, M. (2015). A robust optimization methodology for preliminary aircraft design. Engineering Optimization, 48(5), 883–899. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2015.1062985>

9. Михалев О.Н., Янюшкин А.Р. Методы Монте-Карло в машиностроении и автоматизации разработки передовых машин // Технологии и техника: пути инновационного развития: Сборник научных статей 3-й МНТК. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 177-182.

10. Михалев О. Н., Янюшкин А.Р. Вычисления над множествами данных и их применение в техническом проектировании высокотехнологичных объектов // Информационные системы и технологии АПК и ПГС : Сборник научных статей 3-й МНТК, Курск, 10 октября 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова, 2025. – С. 25-31.

11. Padhi, R. & Sirisha, Chv & Sarkar, Achintya & Kar, P & Srinivasan, T.. (2012). Nonlinear and Linear Autopilot Performance Comparison of Tactical Flight Vehicle. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2012. 10.2514/6.2012-4683.

12. Сурова О.В., Третьякова Н.В. Применение симплексного метода решения задач линейного программирования // Цифровая трансформация сельского хозяйства и аграрного образования: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Краснодар, 29 февраля 2024 года. – Краснодар: Новация, 2024. – С. 401-407.

13. Cerignoni, Daniel & Grima Galisteu, Danilo & Ponchio Camillo, Giannino & Secco, Ney & Vargas, Francisco & Paglione, Pedro. (2013). Aircraft control design with linear and non linear techniques: comparative aspects. 10.5540/03.2013.001.01.0082.

14. Михалев О.Н., Янюшкин А.Р. Метод динамического программирования при создании летательных аппаратов // Современные инновации в технике и технологиях: Сборник научных статей МНТК, Воронеж, 18 ноября 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 207-212. – DOI 10.47581/2025.TM-13/Mixalev-Yanushkin-01.

15. Михалев О.Н., Янюшкин А.Р. Комбинаторика и теория нечетких множеств в автоматизированном проектировании машин // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2025. – № 19. – С. 34-38. – DOI 10.26160/2309-8864-2025-19-34-38.

16. Михалев О.Н., Янюшкин А.С. Принятие решений в автоматизации различных задач // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2024. – № 13. – С. 65-69. – DOI 10.26160/2541-8637-2024-13-65-69.

Mikhalev Oleg Nikolaevich, Ph.D. (Engineering)

Moscow, Russia

Yanyushkin Andrey Romanovich, Post-graduate Student

I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

LINEAR ALGEBRA AND LINEAR PROGRAMMING IN AIRCRAFT AND AVIATION

Abstract: Aircraft engineering is associated with a high degree of uncertainty, requiring the use of various complex nonlinear mathematical modeling and artificial intelligence methods in aircraft design. These methods allow for the consideration of uncertainty with high prediction accuracy, but require large amounts of data and computational resources. However, simpler linear yet powerful mathematical methods, such as linear algebra and linear programming, are applicable to many aviation problems. Linear methods can also be used to approximate the solutions to some nonlinear problems. This can reduce computational requirements and increase calculation speed with little loss of accuracy, enabling faster and easier analysis of nonlinear systems and more efficient solutions for many aircraft and aviation engineering problems.

Keywords: linear algebra, linear programming, linearization, mathematical modeling, aircraft design, aircraft engineering, aviation.

УДК 631.17

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

Морозова Виктория Викторовна, к.п.н., доцент

(e-mail: viktoriyl975@rambler.ru)

Курский государственный аграрный университет, Курск, Россия

В данной статье рассмотрены этапы проектирования сельхозтехники от эскиза до готового изделия, проведен анализ модернизации и адаптации существующей техники при помощи САПР. Приведены примеры основных программ для проектирования и моделирования, а так же история их появления.

Ключевые слова: САПР, проектирование, модернизация, САЕ, САМ

В последние годы использование систем автоматизированного проектирования (САПР) набирает популярность в производстве сельхозтехники. Началось все в 1960 годы, когда Renault и Citroen начали использовать компьютеры для определения и проектирования изогнутых кузовных панелей. Инженер Пьер Безье из Renault создал систему UNISURF. Это была не совсем САПР в современном понимании, а революционная математическая модель для описания кривых и поверхностей с помощью "кривых Безье". Она позволяла перевести ручное лекальное проектирование кузовных панелей на язык, понятный компьютерам. Это стало фундаментом для всех современных 3D-САПР в автомобилестроении. Компания Boeing также работала над этой концепцией, и использовала ее при проектировании панелей обшивки Boeing 727. В начале 1960-

х инженеры Boeing, такие как Джеймс Фергюсон и Пол де Кастельжо, столкнулись с той же проблемой, что и в Renault: как математически описать и управлять сложными формами самолетных панелей. Пол де Кастельжо (независимо от Безье) разработал практически идентичный алгоритм для определения кривых с использованием контрольных точек и рекурсивной интерполяции. Этот алгоритм, известный как алгоритм де Кастельжо, лежит в основе тех же кривых Безье, но был засекречен Boeing как ноу-хау для аэрокосмической отрасли. Прошло совсем немного времени, прежде чем остальная часть инженерного сообщества познакомилась с этой концепцией благодаря известной программе AutoCAD, которая популяризировала её в промышленности. Компании, производящие сельскохозяйственную технику, не остались в стороне от возможностей автоматизированного проектирования. И не только производители тракторов, но и производители навесного оборудования с готовностью внедряли его. По мере увеличения мощности тракторов увеличивались и размеры, и сложность навесного оборудования, что привело к тому, что мы видим сегодня в поле. [1]

Современная сельхозтехника — это сложные мобильные роботизированные комплексы, которые должны быть надёжными, эффективными, эргономичными, безопасными для оператора, адаптивными к разным культурам и условиям и конкурентными по стоимости. САПР позволяет решать эти задачи на виртуальном уровне, до создания первого физического прототипа.

На первом этапе проектирования определяется облик, компоновка, основные функции будущего изделия. Выбираются инструменты: параметрические 3D-САПР SolidWorks, Inventor, Kompas-3D.

На втором этапе разрабатывается детальное 3D-моделирование и виртуальный макет. Создаются точные цифровые двойники всех деталей и узлов. Например, для разработки концепции новой пропашной сеялки с изменяемым междурядьем моделируют сошники, диски, лемеха, шнеки, молотильные барабаны — их геометрия критически важна для качества работы. Несущие конструкции: рамы, каркасы, опоры рассчитываются на прочность и жесткость. Также моделируют приводы и трансмиссию (валы, подшипники, редукторы, гидравлические цилиндры), кабину оператора и системы управления. Уделяется внимание эргономике, обзору, размещению джойстиков и мониторов. [2]

Третий этап - это инженерный анализ (CAE) — сердце современного проектирования. Проводится расчёт на прочность (FEA — метод конечных элементов). Анализируются напряжения в раме комбайна при полной загрузке, проводится расчёт на усталостную долговечность. Программы для такого анализа: ANSYS, NASTRAN, встроенные модули в SolidWorks Simulation, Autodesk Inventor Nastran. Кинематический и динамический анализ включает моделирование движения сложных механизмов (например, раскрытия складной штанги опрыскивателя, работы рычажного подвеса). Выявление "мёртвых" точек, расчёт нагрузок. Программы для данного анализа: Adams, Motion Analysis в SolidWorks. Для расчёта гидравлических и пневматических систем выполняется моделирование потоков жидкости в гидравлике навесной системы, подбор оп-

тимальных диаметров трубопроводов. На данном этапе также производится аэродинамическое моделирование (CFD). Для комбайнов и опрыскивателей — это анализ потока воздуха и капель для оптимизации распределения и минимизации сноса. [3]

Четвертый этап - технологическая подготовка производства (CAM). Целью данного этапа является создание управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ, которые будут изготавливать детали. На основе 3D-модели детали в CAM-системе (например, Fusion 360, PowerMill, CAM-системы от АСКОН) генерируются траектории движения инструмента для фрезерования, токарной обработки, лазерной резки. [4]

Пятый этап посвящен созданию конструкторской документации. Автоматическая генерация чертежей, спецификаций и ведомостей материалов (BOM) из 3D-модели. Это исключает ошибки и ускоряет процесс.

Заключительный этап - визуализация и презентация. Создание фотореалистичных рендеров и анимаций для маркетинга, инструкций или обучения.

Что касается модернизации и адаптации существующей техники, то это часто даже более востребованная задача, особенно в условиях импортозамещения и необходимости адаптации техники под местные условия. Для этой задачи применяют реверс-инжиниринг (обратное проектирование). Создают цифровую модель существующей (часто устаревшей или изношенной) детали, чтобы воспроизвести её или улучшить. Деталь сканируется с помощью 3D-сканера (лазерного, оптического) или снимаются точные замеры. Полученные данные импортируются в САПР (например, в модуль ScanTo3D в SolidWorks или в Geomagic Design X). На основе скана строится "чистая", редактируемая 3D-модель, которую можно модифицировать. Например, восстановление чертежей сломанной шестерни от старого трактора, которой нет в продаже, для последующего изготовления на ЧПУ или 3D-печати (из металла). [5,6]

Если необходимо разработать кронштейн, бункер, рыхлитель или другое устройство, которое можно установить на уже имеющийся в хозяйстве трактор или шасси, то создаётся 3D-модель узла крепления базовой машины (или используется из библиотеки производителя). В виртуальной среде "примеряется" и проектируется новое навесное оборудование с точной привязкой к точкам крепления. Проводится прочностной расчёт и проверка на отсутствие коллизий (столкновений деталей в движении).

Цифровая модернизация применима для усиления рамы, путём добавления рёбер жёсткости (предварительно смоделированных и просчитанных) или для оптимизации геометрии рабочего органа (например, лемеха плуга) для снижения тягового сопротивления (с использованием CFD-анализа).

САПР превратил проектирование сельхозтехники в **точную науку, основанную на данных и симуляциях**. Это позволяет создавать более производительные, экономичные и надежные машины, а также гибко адаптировать их под конкретные нужды аграриев, что критически важно для будущего точного и устойчивого сельского хозяйства.

Список литературы

1. САПР - невоспетый герой современной техники [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agriland.ie/farming-news/cad-the-unsung-hero-of-modern-machinery/> (дата обращения: 15.12.2025).

2. Неустроев А. П. Применение САПР в области сельского хозяйства / А. П. Неустроев // Промышленность и сельское хозяйство. – 2023. – № 11(64). – С. 100-104.

3. Серебrenицкий П. П. Программирование для автоматизированного оборудования: Учеб. для студентов образоват. учреждений сред. проф. образования, обучающихся по специальности "Технология машиностроения" / П. П. Серебrenицкий ; П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе ; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – Москва : Высш. шк., 2003. – (Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств).

4. Ефремов И. В. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем автоматизированного проектирования на территории РФ / И. В. Ефремов, С. А. Добрин // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 11–12 апреля 2024 года. – Воронеж: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 149-155

5. Родионов П. А. Компьютерное проектирование в агроинженерии / П. А. Родионов, В. В. Морозова // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России: сборник научных статей 3-й Международной научно-технической конференции, Курск, 20 октября 2023 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2023. – С. 105-107

6. Пашкова М. И. Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве / М. И. Пашкова, К. Г. Чемеров // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК: материалы II Международной научно-практической конференции, Курск, 26 мая 2022 года. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2022. – С. 295-300.

Morozova Victoria Viktorovna, Cand.Ped.Sci. associate professor

Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

DESIGN AND MODERNIZATION OF AGRICULTURAL MACHINERY

Abstract. This article examines the stages of agricultural machinery design, from concept to finished product, using the example of developing a new row-crop seeder concept. It also analyzes the modernization and adaptation of existing equipment using CAD. Examples of key design and modeling programs are provided.

Keywords: CAD, design, modernization, CAE, CAM

CALS-ТЕХНОЛОГИЙ КАК СИСТЕМНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Морточкин Михаил Алексеевич, студент

(e-mail: mihailmortochkin@yandex.ru)

Научный руководитель –

Рагозина Марина Алексеевна, к.э.н., доцент

(e-mail: marfil@mail.ru)

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

В статье рассматривается роль CALS-технологий как системного инструмента информационной поддержки жизненного цикла изделий в условиях цифровой трансформации промышленности. Показано, что переход к интегрированной CALS-среде позволяет обеспечить непрерывность данных, повысить согласованность управленческих и производственных решений, а также сократить издержки на всех этапах жизненного цикла продукции. Особое внимание уделено практике внедрения CALS-подходов в российской промышленности в контексте технологического суверенитета и импортозамещения программных решений. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта выявлены ключевые эффекты от внедрения CALS-технологий, а также перспективные направления их развития, связанные с цифровыми двойниками и интеллектуальной аналитикой данных.

Ключевые слова: CALS-технологии, жизненный цикл изделия, PLM-системы, цифровая трансформация, машиностроение, цифровые двойники, информационная поддержка.

Современное промышленное производство характеризуется усложнением изделий, ростом требований к качеству, надёжности и срокам вывода продукции на рынок. В этих условиях традиционные подходы к управлению проектной и технологической документацией, основанные на разрозненных информационных системах и бумажных носителях, перестают обеспечивать необходимый уровень эффективности.

Ответом на данные вызовы стала концепция CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support), ориентированная на формирование единой цифровой среды, в рамках которой все данные об изделии сопровождают его на протяжении полного жизненного цикла – от идеи и проектирования до эксплуатации, сервиса и утилизации.

Для российской промышленности внедрение CALS-технологий имеет не только экономическое, но и стратегическое значение. В условиях санкционных ограничений и курса на технологический суверенитет возрастает потребность в создании собственных цифровых контуров управления жизненным циклом продукции, независимых от зарубежных программных платформ.

CALS-подходы позволяют обеспечить связность процессов, повысить прозрачность информационных потоков и сократить количество ошибок, возникающих при передаче данных между подразделениями и организациями.

CALS-технологии представляют собой совокупность методологических принципов, стандартов и программных средств, направленных на создание единого информационного пространства изделия. В центре данной концепции находится идея непрерывности данных, при которой информация, сформированная на этапе проектирования, без потерь и искажений используется на стадиях производства, испытаний, эксплуатации и модернизации [1].

Практическая реализация CALS-подходов осуществляется за счёт внедрения PLM-систем, интегрированных с CAD/CAM/CAE-платформами, ERP-системами и средствами управления производственными процессами. Мировая практика демонстрирует высокую эффективность CALS-технологий в высокотехнологичных отраслях.

Так, в авиационной промышленности компании Boeing и Airbus на протяжении нескольких десятилетий используют интегрированные PLM-платформы для управления жизненным циклом сложных изделий. Применение CALS-среды при разработке самолёта Boeing 787 позволило объединить тысячи поставщиков в едином цифровом пространстве, существенно сократив сроки проектирования и количество конструктивных несоответствий [2].

Аналогичные подходы реализуются в автомобилестроении, где концерны BMW и Toyota используют цифровые модели изделия на всех стадиях – от концепта до сервисного обслуживания.

В российской промышленности CALS-технологии получили наибольшее распространение в машиностроении, авиационной и оборонной отраслях. Крупные корпорации, такие как «Ростех», «Объединённая авиастроительная корпорация» и «Роскосмос», последовательно формируют единые цифровые среды управления жизненным циклом изделий.

Примером может служить создание цифровой документации для самолётов семейства MC-21, где проектные, технологические и эксплуатационные данные интегрированы в рамках отечественных PLM-решений. Это обеспечивает согласованность работы конструкторских бюро, производственных площадок и сервисных организаций [3].

Особое значение имеет переход к использованию отечественного программного обеспечения. Российские PLM-платформы, такие как «ЛЮЦМАН:PLM», «T-FLEX PLM» и другие, постепенно расширяют функциональные возможности и обеспечивают поддержку стандартов CALS. Их внедрение позволяет снизить зависимость от зарубежных поставщиков, а также адаптировать цифровые инструменты к специфике национальной нормативной базы и производственных процессов [4].

В результате проведённого анализа установлено, что внедрение CALS-технологий позволяет сократить сроки разработки изделий в среднем в два-три раза за счёт повышения согласованности работы различных подразделений и исключения дублирования данных. Существенно снижается количество оши-

бок в проектной и технологической документации, что положительно сказывается на качестве сборки и надёжности продукции.

Практика российских предприятий показывает, что переход к единой цифровой среде облегчает процессы модернизации изделий и их адаптацию к новым требованиям заказчиков. Отдельного внимания заслуживает использование цифровых двойников, формируемых на основе CALS-данных. Такие модели позволяют прогнозировать поведение изделия в реальных условиях эксплуатации, оценивать износ узлов и оптимизировать графики технического обслуживания. В энергетическом машиностроении и железнодорожной отрасли применение цифровых двойников способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению безопасности.

Инструментальные средства информационной поддержки жизненного цикла изделий на основе CALS-технологий становятся ключевым элементом цифровой трансформации промышленности. Формирование единой CALS-среды обеспечивает непрерывность данных, интеграцию всех этапов создания и эксплуатации продукции, а также повышение качества управленческих решений. Для российской промышленности развитие CALS-подходов тесно связано с задачами технологического суверенитета и перехода на отечественные цифровые платформы. В перспективе именно зрелость CALS-инфраструктуры будет определять конкурентоспособность машиностроительных предприятий и их способность создавать высокотехнологичную продукцию с минимальными затратами времени и ресурсов.

Список литературы

1. CALS-технологии в промышленности России [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/2016/cals-tehnologii-v-promyshlennosti-rossii/> (дата обращения: 14.12.2025).
2. Внедрение PLM-системы Boeing для достижения совершенства в аэрокосмической отрасли [Электронный ресурс]. – URL: <https://plmphilosophy483489853.wordpress.com/2024/07/08/boeings-plm-implementation-for-aerospace-excellence/> (дата обращения: 14.12.2025).
3. Анализ эффективности внедрения CALS технологий (на примере отечественного авиастроения) [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-vnedreniya-cals-tehnologiy-na-primere-otechestvennogo-aviastroeniya/viewer> (дата обращения: 14.12.2025).
4. 9 лучших PLM-систем в 2025 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kp.ru/money/biznes/luchshie-plm-sistemy/> (дата обращения: 14.12.2025).

Mortochkin Mikhail Alekseevich, student

Scientific Supervisor

Ragozina Marina Alekseevna, Associate Professor

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

CALS TECHNOLOGIES AS A SYSTEM TOOL FOR INFORMATION SUPPORT OF PRODUCT LIFECYCLE IN THE CONTEXT OF INDUSTRIAL DIGITAL TRANSFORMATION

Abstract. The article examines the role of CALS technologies as a systemic tool for information support of the product lifecycle in the context of industrial digital transformation. It is shown that the transition to an integrated CALS environment enables data continuity, improves the consistency

of managerial and production decisions, and reduces costs at all stages of the product lifecycle. Special attention is given to the implementation of CALS approaches in Russian industry in the context of technological sovereignty and software import substitution. Based on the analysis of domestic and international experience, the key effects of CALS technology adoption are identified, along with promising development directions related to digital twins and intelligent data analytics.

Keywords: CALS technologies, product lifecycle, PLM systems, digital transformation, mechanical engineering, digital twins, information support.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА БАЗЕ ГИБРИДНОГО ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Морточкин Михаил Алексеевич, студент

(e-mail: mihailmortochkin@yandex.ru)

Научный руководитель –

Рагозина Марина Алексеевна, к.э.н., доцент

(e-mail: marfil@mail.ru)

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г.Красноярск, Россия

В статье рассматривается концепция интеллектуальных систем контроля качества, основанных на гибридных цифровых двойниках. Приводится теоретическая база цифровых двойников, подход к гибриднему моделированию. Описаны примеры применения в России и за рубежом в машиностроении, энергетике, нефтегазовой отрасли, производстве микроэлектроники.

Ключевые слова: цифровой двойник; гибридное моделирование; контроль качества; промышленный ИИ; предиктивная аналитика; Индустрия 4.0.

Цифровые двойники за последние 10–15 лет из экспериментальной концепции превратились в одну из ключевых технологий Индустрии 4.0. Изначально использовавшиеся главным образом для мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени, современные цифровые двойники эволюционировали в сложные интеллектуальные системы. Одной из наиболее востребованных областей их применения стал контроль качества продукции и технологических процессов.

При переходе к высокопроизводительному гибкому производству классические методы контроля – выборочная инспекция, статистические карты, визуальные проверки – оказываются недостаточными. Современные изделия требуют непрерывного мониторинга качества на всём жизненном цикле – от проектирования до эксплуатации.

Понятие цифрового двойника в современной промышленности трактуется как создание и использование цифрового представления физического объекта, технологической системы или производственного процесса, которое находится в постоянной связи с реальным прототипом. Такой цифровой образ непрерывно получает данные от оборудования и технологической среды, регулярно обновляет своё состояние и структуру, а также позволяет не только анализировать

текущее поведение объекта, но и прогнозировать его дальнейшую работу, выявлять потенциальные отклонения и оптимизировать параметры функционирования [1].

С развитием цифровых технологий произошло смещение от чисто физического моделирования к гибридным цифровым двойникам, которые объединяют в себе несколько типов знаний и инструментов. В таких системах физические модели обеспечивают структурную корректность и интерпретируемость, позволяют экстраполировать результаты при ограниченном объёме данных и сохраняют связь с реальными законами природы. Одновременно с этим модели, основанные на анализе данных и машинном обучении, извлекают скрытые закономерности из больших массивов информации, учитывают шумы, нелинейности и технологические дрейфы, а также способны адаптироваться к изменяющимся условиям производства в режиме реального времени [2].

Гибридные цифровые двойники, как правило, реализуются в составе многоуровневых интеллектуальных систем контроля качества. На нижнем уровне происходит сбор данных с датчиков, производственного оборудования, SCADA- и MES-систем, а также из лабораторного контроля. Далее информация поступает в единое хранилище и потоковую платформу, где используются промышленные DataLake, протоколы OPC UA и технологии потоковой обработки данных.

Центральным элементом архитектуры является модуль цифрового двойника, в котором объединяются симуляционные физические модели и модели машинного обучения. На основе их результатов формируется автоматизированная оценка качества с применением методов статистического управления процессами, контроля «от партии к партии» и предиктивного скоринга качества. Завершающим элементом становится рекомендательная подсистема, которая предлагает операторам и технологам корректирующие воздействия, а также средства визуализации, отображающие цифровую панель качества, карты дефектов и прогнозы уровня брака.

Практика внедрения подобных решений широко распространена за рубежом. Так, компания Siemens в Германии использует гибридный цифровой двойник для контроля качества сборки газовых турбин. В рамках этого решения применяются физические модели вибраций и тепловых деформаций, а также алгоритмы машинного обучения, обученные на данных датчиков и результатах неразрушающего контроля. Это позволило существенно сократить количество дефектов и проводить предварительную калибровку узлов ещё в виртуальной среде до начала реальной сборки.

В авиационной отрасли компания GE Aviation развивает концепции Digital Ghost и Digital Twin для контроля состояния и качества лопаток авиационных двигателей. Здесь используются термомеханические модели деградации материалов в сочетании с интеллектуальными алгоритмами обнаружения микротрещин по данным акустической эмиссии, что даёт возможность прогнозировать остаточный ресурс деталей и снижать вероятность отказов [3].

В микроэлектронике гибридные цифровые двойники активно применяются такими компаниями, как ASML и TSMC. Они используются для контроля толщины фоторезиста, прогнозирования дефектов на кремниевых пластинах и оптимизации параметров управления процессом от запуска к запуску. Это позволяет снижать уровень скрытых дефектов и повышать стабильность массового производства.

В России также накоплен значительный опыт применения цифровых двойников для контроля качества. В холдинге «Ростех» внедрены решения для мониторинга и анализа работы станочного парка, где цифровые двойники позволяют оценивать вибрации шпинделей, выявлять зарождающиеся дефекты поверхности деталей и обучать модели на основе данных технологических карт. Это приводит к снижению уровня брака и повышению стабильности обработки.

В «Росатоме» создаются цифровые двойники технологических линий машиностроения с акцентом на физическое моделирование и предиктивный контроль качества сварных швов и литья, а также на автоматическую проверку соответствия требованиям стандартов [4].

В сфере цифровой инфраструктуры такие компании, как «Сбер» и «Яндекс», применяют цифровые двойники дата-центров, объединяющие физические модели теплоотвода и интеллектуальные алгоритмы, что повышает надёжность работы серверов и снижает энергопотребление.

Экспертное сообщество и аналитические компании сходятся во мнении, что рынок гибридных цифровых двойников будет развиваться ускоренными темпами. Ожидается, что интеллектуальные системы контроля качества станут стандартом для высокоточных производств, позволят существенно сократить затраты, уменьшить количество дефектов и ускорить вывод продукции на рынок. Российские эксперты также отмечают рост интереса к цифровым двойникам в микроэлектронике и станкостроении, их интеграцию в сквозные цифровые цепочки управления предприятием и постепенное превращение цифрового двойника в основу сертификации качества [5].

В целом можно сделать вывод, что интеллектуальные системы контроля качества, построенные на базе гибридных цифровых двойников, становятся ключевым элементом современной промышленности. Они обеспечивают выявление скрытых дефектов, автоматическое регулирование параметров процессов, высокую точность прогнозирования брака и повышение устойчивости производства. Кроме того, такие системы формируют цифровую доказательную базу качества, которая может использоваться для аудита, сертификации и стратегического управления. В дальнейшем ожидается рост автономности цифровых двойников, развитие самообучающихся моделей и расширение их роли вплоть до автоматизированной сертификации продукции и процессов.

Список литературы

1. Цифровые двойники в промышленной автоматизации [Электронный ресурс]. – URL: <https://unitmc.ru/news/cifrovye-dvoyniki-v-promyshlennoy-avt/> (дата обращения: 14.12.2025).
2. Цифровые двойники в промышленности: истоки, концепции, современный уровень развития и примеры внедрения [Электронный ресурс]. – URL: <https://digitaltwin.ru/articles/digital-twins-in-industry/> (дата обращения: 14.12.2025).

3. Использование технологии цифровых двойников для преобразования авиации: повышение безопасности, эффективности и внедрение инноваций [Электронный ресурс]. – URL: <https://digitaltwin.ru/articles/digital-twins-in-industry/> (дата обращения: 14.12.2025).

4. Цифровые двойники в промышленности: что это, как их развивают в России и какие предприятия используют [Электронный ресурс]. – URL: <https://indpages.ru/solutions/cifrovye-dvoyniki-v-promyshlennosti/> (дата обращения: 14.12.2025).

5. Почти полная автономия: как цифровые двойники меняют крупные производства по всему миру [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/1692241-pochti-polnaya-avtonomiya-kak-cifrovye-dvoyniki-menyayut-krupnye-proizvodstva-po-vsemu-miru/> (дата обращения: 14.12.2025).

Mortochkin Mikhail Alekseevich, student

Scientific Supervisor

Ragozina Marina Alekseevna, Associate Professor

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

INTELLIGENT QUALITY CONTROL SYSTEM BASED ON A HYBRID DIGITAL TWIN

Abstract. The article examines the concept of intelligent quality control systems based on hybrid digital twins. The theoretical foundations of digital twin technology and the approach to hybrid modeling are presented. Examples of practical applications in Russia and abroad are described, including mechanical engineering, energy, the oil and gas industry, and microelectronics manufacturing.

Keywords: digital twin; hybrid modeling; quality control; industrial artificial intelligence; predictive analytics; Industry 4.0

ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В СОВРЕМЕННОЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Морточкин Михаил Алексеевич, студент

(e-mail: mihailmortochkin@yandex.ru)

Научный руководитель –

Рагозина Марина Алексеевна, к.э.н., доцент

(e-mail: marfil@mail.ru)

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

В статье рассматриваются преимущества внедрения высокоэффективных технологий изготовления деталей машин в российской промышленности. Особое внимание уделено высокоскоростной обработке, аддитивным технологиям, электроэрозионной обработке. Приводятся примеры успешного применения этих технологий на российских предприятиях и анализируются зарубежные практики. Рассматриваются производственные и экономические эффекты.

Ключевые слова: высокоэффективные технологии; обработка металлов; аддитивное производство; машиностроение.

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к качеству, точности и надежности изготавливаемых деталей. Сложность конструкций, рост требований к эксплуатационным характеристикам изделий и необходимость снижения производственных затрат обуславливают активный переход к высокоэффективным технологиям. В условиях российской промышленности вопросы технологической независимости и импортозамещения усиливают актуальность внедрения современных методов обработки и автоматизации.

Высокоэффективные технологии позволяют предприятиям ускорять производственные циклы, повышать точность обработки, минимизировать количество брака и снижать влияние человеческого фактора. Они создают предпосылки для формирования гибких производственных систем, обеспечивающих быструю адаптацию к изменению номенклатуры и объемов выпуска. Ключевыми направлениями являются высокоскоростная и высокопроизводительная обработка металлов, аддитивные технологии, электроэрозионные методы [1].

В современном машиностроении наблюдается ряд существенных технологических сдвигов, обусловленных совокупностью важных обстоятельств.

Во-первых, конструкции изделий становятся всё сложнее, что неизбежно влечёт за собой потребность в инновационных методах обработки и современном оборудовании. Производители нацелены на снижение массы деталей — при этом критически важно не допустить ухудшения прочностных и эксплуатационных характеристик. Решение такой задачи возможно только при внедрении высокоточных и адаптивных технологических процессов.

Во-вторых, заметно ужесточаются требования к геометрической точности изделий. Особенно это актуально для таких отраслей, как авиастроение, энергетика и автомобилестроение, где даже минимальные отклонения могут привести к серьёзным последствиям.

В-третьих, активно развивается автоматизация производства. Внедряются системы цифрового контроля и мониторинга, работающие в режиме реального времени. Это позволяет: минимизировать влияние человеческого фактора; оптимизировать расход материалов; рационально использовать инструментальный парк.

В-четвёртых, значимую роль играет курс на импортозамещение. Российские предприятия последовательно переходят на использование отечественных станков, инструментария и программного обеспечения. Такой подход способствует укреплению технологической самостоятельности и экономической устойчивости промышленных компаний. Совокупность этих факторов формирует потребность в технологиях, которые обеспечивают не только высокую производительность, но и гибкость, возможность адаптации к изменению производственной программы и минимизацию производственного брака.

Высокоскоростная обработка металлов (High-Speed Machining, HSM) является одним из ключевых направлений повышения эффективности производства. Она предусматривает использование высоких скоростей резания, малых глубин обработки, высокооборотных шпинделей и инструментов с многослойными и наноструктурированными покрытиями. Данные подходы позволяют уменьшить

тепловую нагрузку на заготовку, снизить вибрации, повысить чистоту поверхности и сократить производственные циклы на 30–70 процентов [2].

На российских предприятиях, таких как «ОДК», «Роствертол», «КамАЗ» и «Уралвагонзавод», высокоскоростная обработка применяется при изготовлении корпусов, валов, лопаток турбин, пресс-форм и элементов шасси. Например, внедрение HSM на «ОДК» позволило сократить цикл обработки турбинных лопаток почти на половину, одновременно повысив точность и снизив количество дефектов [3].

Зарубежный опыт подтверждает эффективность метода: компании Airbus и Boeing применяют высокоскоростную обработку для изготовления деталей двигателей и элементов фюзеляжа, что позволяет ускорять производство и обеспечивать стабильное качество продукции.

Аддитивные технологии (Selective Laser Melting, Directed Energy Deposition, Electron Beam Melting) становятся важным инструментом для производства деталей сложной формы и уникальной структуры. Они позволяют создавать изделия с оптимизированной внутренней архитектурой, обеспечивающей повышенную прочность при минимальном весе, а также восстанавливать дорогостоящие элементы оборудования, включая лопатки турбин, формы и штампы [4].

В российской промышленности аддитивное производство применяется для изготовления корпусов редукторов и насосов, восстановления деталей с наплавкой металла и создания изделий из титановых, жаропрочных и коррозионно-стойких сплавов. Гибридные станки, совмещающие аддитивное формирование и механическую обработку, позволяют минимизировать припуски и получать изделия с высокой точностью. Примеры зарубежного опыта включают использование гибридных технологий компанией GE Aviation и Rolls-Royce для производства и восстановления деталей авиационных двигателей, что позволяет экономить ресурсы и снижать производственные риски.

Электроэрозионная обработка (EDM) широко используется для изготовления пресс-форм, резки прецизионных деталей и формирования сложных геометрий [5]. Отсутствие механического контакта между инструментом и заготовкой обеспечивает высокую точность и исключает возникновение остаточных напряжений. Этот метод незаменим при обработке сверхтвёрдых материалов, включая закалённые стали и карбиды.

Внедрение высокоэффективных технологий позволяет сокращать производственные циклы на 20 – 60 процентов, снижать уровень брака на 25 – 50 процентов, оптимизировать расход материалов и инструментов на 15 – 40 процентов, повышать точность и долговечность деталей, а также снижать долю ручных операций и повышать безопасность работников. Совокупность перечисленных факторов даёт предприятиям ощутимые экономические преимущества и усиливает их позиции как на отечественном, так и на международном рынках.

Чтобы российская промышленность сохраняла конкурентоспособность, принципиально важно осваивать передовые методы изготовления машиностроительных деталей. Среди наиболее перспективных технологических направлений можно выделить: высокоскоростную обработку; аддитивные техно-

логии; электроэрозионную обработку. Использование этих методов приносит ряд существенных преимуществ: улучшается качество выпускаемой продукции; сокращается длительность производственных циклов; снижаются издержки производства; формируется технологическая база, не зависящая от импортных поставок. У российской промышленности есть серьёзные резервы для масштабного внедрения указанных технологий. Это закладывает фундамент для устойчивого долгосрочного развития машиностроительного комплекса страны.

Список литературы

1. Ключевые тренды машиностроения в России [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/67ffbbae9a79477ddcafb6aad> (дата обращения: 14.12.2025).
2. Принципы высокоскоростной фрезеровки [Электронный ресурс]. – URL : <https://compositepanel.ru/blog/detail/printsipy-vysokoskorostnoy-frezervovki/> (дата обращения: 14.12.2025).
3. Повышение эффективности обработки лопаток компрессора газотурбинного двигателя за счет применения многофункционального оборудования и современных шлифовальных кругов на основе кубического нитрида бора [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-obrabotki-lopatok-kompressora-gazoturbinnogo-dvigatelya-za-schet-primeneniya-mnogofunktsionalnogo> (дата обращения: 14.12.2025).
4. 3D-печать металлами: технологии, оборудование и новые возможности [Электронный ресурс]. – URL: <https://top3dgroup.ru/blog/obzory/3d-pechat-metallami-tehnologii/> (дата обращения: 14.12.2025).
5. Эрозионная обработка по технологии EDM [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstip.ru/news/2082-erozionnaya-obrabotka-po-tehnologii-edm> (дата обращения: 14.12.2025).

Mortochkin Mikhail Alekseevich, student

(e-mail: mihailmortochkin@yandex.ru)

Scientific Supervisor

Ragozina Marina Alekseevna, Associate Professor

(e-mail: marfil@mail.ru)

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

ADVANTAGES OF IMPLEMENTING HIGH-EFFICIENCY TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING MACHINE PARTS IN MODERN RUSSIAN INDUSTRY

Abstract. The article examines the benefits of implementing high-efficiency technologies for manufacturing machine parts in Russian industry. Special attention is given to high-speed machining, additive technologies, and electrical discharge machining. The paper provides examples of successful application of these technologies at Russian enterprises and analyses foreign practices. Both production and economic effects are considered.

Keywords: high-efficiency technologies; metal machining; additive manufacturing; mechanical engineering.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО РАЙОНА

Музалевская Ирина Сергеевна, магистр

(mulex17@mail.ru)

Филонович Александр Владимирович, д.т.н., профессор

(filonovich_av@gmail.com)

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В данной статье рассматривается комплексный подход к оценке эффективности и оптимизации режимов работы систем электроснабжения современных городских районов. Акцент делается на ключевых показателях, методах анализа и современных технологиях, позволяющих обеспечить надежное и экономичное энергоснабжение в условиях растущей нагрузки и интеграции распределенной генерации.

Ключевые слова: система электроснабжения, городской район, оценка эффективности, режимы работы, надежность, потери электроэнергии, качество электроэнергии, диспетчеризация, нагрузка, оптимизация.

Электроснабжение современного городского района — это сложный организм, от сбалансированной работы которого зависят безопасность, комфорт и экономическое развитие территории. Оценка его эффективности и анализ режимов работы являются не периодической задачей, а основой для принятия стратегических управленческих решений.

Современные технологические процессы, бытовые приборы, микропроцессорная техника характеризуются высокой чувствительностью к перерывам в электроснабжении, избежать которых возможно, в том числе и путём оптимизации режима работы системы электроснабжения городского района. Однако на сегодняшний день одним из перспективных технологических направлений, призванным сократить перерывы электроснабжения потребителей, является проведение работ под напряжением (РПН).

Как показывает опыт зарубежных стран, предлагаемая методика проведения работ способствует повышению устойчивости работы электроустановок, улучшению условий эксплуатации электрооборудования. В качестве рисков проведения РПН необходимо отметить:

- опасность для нормальной работы электроустановок и для обслуживающего персонала;
- повышение вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- возникновение различных нештатных ситуаций, в процессе эксплуатации электрооборудования (с течением времени снижается электрическая характеристика изоляции, изнашиваются токоведущие части, обмотки и подшипники электрических машин, отдельные механические детали). В результате этого, а также из-за заводских дефектов, неправильных действий персонала, загрязнения, неблагоприятных атмосферных условий и других причин происходит износ и повреждение электрооборудования.

Ключевые аспекты оценки эффективности это:

1. Надежность: Главный критерий. Оценивается по продолжительности и частоте перерывов в электроснабжении. Современные системы автоматического ввода резерва (АВР) и кольцевание сетей направлены на минимизацию этих показателей.

2. Качество электроэнергии: Отклонения напряжения, провалы, гармонические искажения. Несоответствие нормам ведет к выходу из строя оборудования и повышенным потерям. Мониторинг в ключевых точках сети обязателен.

3. Технические потери: Потери в линиях, трансформаторах и оборудовании. Их анализ помогает выявить слабые места: перегруженные участки, устаревшее оборудование, неоптимальные конфигурации схем.

4. Экономическая эффективность: Соотношение затрат на эксплуатацию, модернизацию и потерь к объему отпущенной энергии. Включает тарифную политику и оптимизацию закупок мощности.

5. Анализ и оптимизация режимов работы: Работа системы не статична. Она меняется в зависимости от времени суток, дня недели и сезона.

6. Анализ режимов включает: Составление графиков нагрузки для выявления пиков, ведущих к перегрузкам, и ночных провалов.

Расчет поток распределения для определения реальной загрузки элементов сети и уровней напряжения.

Балансировку фаз в распределительных сетях 0.4 кВ для снижения не симметрии и потерь.

Современные инструменты оптимизации: сегодня управление может быть основано на цифровых технологиях:

Системы SCADA и АСДУ: позволяют диспетчеру видеть текущую схему режима в реальном времени, удаленно управлять коммутацией.

Умные сети: Внедрение умных счетчиков (АИИС КУЭ) дает детальную картину потребления. Автоматика самостоятельно перераспределяет потоки, подключает резервные источники.

Динамические режимы с учетом ВИЭ: при интеграции солнечных панелей и малой генерации в районе важна оценка их влияния на режим (возможные перетоки, рост напряжения).

Эффективное электроснабжение городского района достигается через непрерывный цикл: мониторинг - оценка показателей - моделирование и анализ режимов - внедрение оптимизационных решений. Это позволяет не только реагировать на аварии, но и прогнозировать их, планомерно модернизировать сеть, снижать затраты и создавать основу для внедрения новых технологий, отвечая на вызовы растущего «умного» города. Также внедрение технологии РПН обладает существенным потенциалом для повышения показателей эффективности и надежности электроснабжения потребителей.

Список литературы

1. Козлитин, И. В. Основные показатели качества электроэнергии: Анализ и значение / И. В. Козлитин, И. В. Ворначева // Технологии и техника: пути инновационного развития : Сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 14 июня 2024 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 233-236.

2. Оптимизация построения релейной защиты линий электропередачи / В. Н. Алябьев, И. В. Ворначева, О. М. Ларин [и др.]. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2021. – 123 с. – ISBN 978-5-907512-44-3.

3. Бирюлин, В. И. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, И. В. Ворначева. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2021. – 163 с. – ISBN 978-5-7681-1524-1.

4. Компенсация ёмкостных токов в электрической сети напряжением 20 кВ с резистивно-заземлённой нейтралью / М. Ю. Львов, А. А. Челаэнов, С. С. Зотов [и др.] // Электрические станции. – 2025. – № 7(1128). – С. 17-23. – DOI 10.71841/EP.elst.2025.1128.7.03.

Muzalevskaya Irina Sergeevna, Master's degree

Southwest State University, Kursk, Russia

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY AND OPERATION MODES OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE URBAN AREA

Abstract: This article examines a comprehensive approach to assessing the efficiency and optimizing the operating modes of power supply systems in modern urban areas. It focuses on key indicators, analysis methods, and modern technologies that ensure reliable and cost-effective power supply in the face of growing demand and the integration of distributed generation.

Keywords: Power supply system, urban area, efficiency assessment, operating modes, reliability, power losses, power quality, dispatching, load, optimization.

Научное издание

3-й Всероссийская
научно-техническая конференция

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНИКА

сборник научных статей

19 декабря 2025 года

ISBN 978-5-00261-730-2



9 785002 617302 >

Подписано в печать 31.12.2025 г.

Формат 60х84 1/16, Бумага офисная

Уч.-изд. л. 17,9. Усл. печ. л. 19,7. Тираж 100 экз. Заказ № 3207

Отпечатано в типографии

Закрытое акционерное общество "Университетская книга"

305018, г. Курск, ул. Монтажников, д.12

ИНН 4632047762 ОГРН 1044637037829 дата регистрации 23.11.2004 г.

Телефон +7-910-730-82-83