

СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

III ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



Оренбург, 2024

ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



Материалы III Всероссийской молодежной научно-практической
конференции

30-31 МАЯ 2024

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург
2024

УДК 62
ББК 30в6 + 30.121 + 34.22
С 55

Редактор – Пояркова Е.В., доктор технических наук, доцент

- С 55 **Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы** [Электронный ресурс]: материалы III Всероссийской молодежной научно-практической конференции/ под редакцией Е.В. Поярковой; Оренбург. гос. ун-т. – Электронные текстовые данные. – Оренбург: ОГУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): зв., цв.; 12 см. – Систем. требования: IBM PC 686 (Pentium II, K6-2); MS Windows 9.x/NT 5.x; процессор 233 МГц; оперативная память 128 Мб; доп. программные средства: веббраузер; Adobe Acrobat Reader XI. – Загл. с этикетки диска.
ISBN 978-5-7410-3334-0

В издании представлены материалы III Всероссийской молодежной научно-практической конференции по актуальным аспектам прочности и диагностики технического состояния конструкций, исследований процессов разрушения и прогнозирования механического поведения материалов, а также использованию компьютерного инжиниринга в цифровом проектировании и производстве.

Материалы конференции адресованы студентам, аспирантам, молодым исследователям и всем интересующимся современным состоянием механики, и вопросами развития студенческой науки.

*Ответственность за ошибки, опечатки и неточности в материалах статьи
несут авторы*

УДК 62
ББК 30в6 + 30.121 + 34.22

ISBN 978-5-7410-3334-0

© Коллектив авторов, 2024
© Оренбургский государственный
университет, 2024

Оглавление

Предисловие.....	10
Приветственное слово председателя Оргкомитета конференции.....	11
СЕКЦИЯ 1 «СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ, МАШИН, СООРУЖЕНИЙ».....	12
БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ СО СЪЁМНЫМ КЕРНОПРИЁМНИКОМ	13
Думинова Анастасия Сергеевна, Тулибаев Егор Сагитович.....	13
РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОГО ЛЕНТОЧНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА 3315.....	19
Клещарева Галина Александровна, Строев Иван Андреевич, Прядкин Максим Алексеевич, Сечин Кирилл Александрович	19
АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА ЕЕ ОЦЕНКИ.....	27
Тимирбаев Рустам Раильевич	27
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ	31
Харисов Эмиль Тимурович.....	31
СЕКЦИЯ 2 «МЕХАНИКА И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОВ И АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ».....	37
ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАСКАДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ.....	38
Ахватов Дмитрий Александрович	38
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ LIDAR ДЛЯ САМОХОДНОЙ ПЛАТФОРМЫ В УСЛОВИЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАБОТ	44
Блинов Дмитрий Олегович	44
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ БДПТ НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ SIMINTECH	49
Масанов Петр Алексеевич	49
СЕКЦИЯ 3 «ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ».....	56
КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА	57

Гарифуллина Гульназ Ильфировна, Азигамов Рафаэль Ильгизович	57
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	63
Гарифуллина Гульназ Ильфировна, Игошин Роман Александрович, Потапова Ксения Павловна, Азигамов Рафаэль Ильгизович	63
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ.....	69
Свиденко Екатерина Валерьевна, Григорьев Данила Сергеевич, Зверков Дмитрий Андреевич, Ниткачева Елена Юрьевна.....	69
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	73
Юршев Владимир Иванович, Кириленко Александр Сергеевич, Дрозд Даниил Евгеньевич, Каипов Андрей Ринатович, Козлов Вячеслав Александрович....	73
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗМОЛА И ПОДГОТОВКИ ПОРОШКА	79
Юршев Владимир Иванович, Дрозд Даниил Евгеньевич, Гусева Нина Андреевна, Юршев Илья Владимирович	79
ИСТОРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТАЛИ НА ПРИМЕРЕ СТАРИННЫХ ВЕСОВ.....	84
Юршев Владимир Иванович, Тавтилов Ильфат Шайдуллович, Дрозд Даниил Евгеньевич, Захаров Владимир Владимирович, Иванова Ольга Алексеевна .	84
НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ИНСТРУМЕНТ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ PVD С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ PLATIT	89
Юршев Владимир Иванович, Кириленко Александр Сергеевич, Юршев Илья Владимирович, Климов Андрей Юрьевич, Бунина Вера Леоновна.....	89
НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ.....	96
Юршев Владимир Иванович, Кириленко Александр Сергеевич, Юршев Илья Владимирович, Климов Андрей Юрьевич	96
ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФИЛАМЕНТА PLA.....	103
Бикмухаметова Марина Александровна, Коваль Артем Александрович.....	103
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОДРАЗДЕЛЕНИИ	108
Кравцов Александр Григорьевич, Корнилов Владимир Витальевич, Климов Андрей Юрьевич, Алмагамбетов Салават Ахметуллинович, Друговская Наталья Николаевна	108

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ	113
Репях Виталий Сергеевич, Рудницкий Александр Васильевич, Чадин Андрей Юрьевич, Кашаева Алиса Халиловна	113
АКТУАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МАРКИ Т14К8, ПОВЫШАЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРИ РЕЗАНИИ.....	117
Свиденко Екатерина Валерьевна, Мосиенко Анастасия Сергеевна.....	117
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ, ПОЛУЧЕННЫХ РОТАЦИОННОЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ.....	121
Приймак Елена Юрьевна, Сёмка Ярослав Сергеевич	121
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ РУД.....	125
Пояркова Екатерина Васильевна, Махновская Ангелина Сергеевна	125
СЕКЦИЯ 4 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЧНОСТИ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ»	129
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	130
Бикмаева Ангелина Рафаэльевна	130
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ	135
Пояркова Екатерина Васильевна, Едыгеева Альбина Темирбулатовна, Рябова Анастасия Александровна	135
УПРОЧНЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПРИ ПОМОЩИ ХИМИКО- ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	144
Репях Виталий Сергеевич, Калмагамбетов Амир Нурланович, Исаева Галина Сергеевна, Бикмаев Рафаэль Ханафиевич, Зиннурова Маргарита Геннадьевна	144
ГИДРОИСПЫТАНИЕ КЛИНОВОЙ ЗАДВИЖКИ ИЗГОТОВЛЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕНИЯ	148
Бикмухаметова Марина Александровна, Коваль Артем Александрович.....	148
ПРИМЕНЕНИЕ КОНСОЛЬНЫХ ПОВОРОТНЫХ КРАНОВ	152
Фролова Олеся Александровна, Михайлюк Александр Сергеевич	152
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА БАЗЕ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА	155
Никитин Юрий Рафаилович, Бердников Александр Сергеевич, Бердникова Анна Сергеевна	155

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ	164
Репях Виталий Сергеевич, Приймак Татьяна Владимировна, Яхнович Сергей Владимирович, Шамсутдинова Елена Игоревна	164
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СОСУДА АММИАЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	169
Сагинбаева Зульхиза Гильмановна	169
ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВИАДУКОВ	173
Пояркова Екатерина Васильевна, Хабибуллина Камилла Вадимовна	173
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИЗОННОГО КАБЕЛЬНОГО СЕНСОРА ВЛАЖНОСТИ	180
Елагина Оксана Юрьевна, Ямомото Ён Сын	180
СЕКЦИЯ 5 «КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ В ЦИФРОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ»	186
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТОДОМ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДИАГРАММ	187
Белова Наталья Александровна, Колесников Сергей Николаевич	187
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСОЛЬНОГО ПОВОРОТНОГО КРАНА	192
Фролова Олеся Александровна, Михайлюк Александр Сергеевич	192
ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ РЕМОНТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	197
Бикмухаметова Марина Александровна, Мусабилов Эмиль Маратович	197
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ СНАРЯДА СО СЪЁМНЫМ КЕРНОПРИЕМНИКОМ	203
Пояркова Екатерина Васильевна, Тулибаев Егор Сагитович, Руппель Виктория Владимировна	203
СЕКЦИЯ 6 «РОЛЬ МЕХАНИКИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА»	208
ОНЛАЙН-КАЛЬКУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО УПРОЩЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ	209
Фролова Олеся Александровна, Михайлюк Александр Сергеевич	209
ЗАЩИТНЫЕ КАСКИ КАК КРИТИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	213
Пояркова Екатерина Васильевна, Заярин Данила Сергеевич, Панова Анастасия Алексеевна	213

МОДЕРНИЗАЦИЯ МИКРОСКОПА МБС-1 КАМЕРОЙ LEVENHUK M500 BASE	219
Юршев Владимир Иванович, Цыбиногина Ника Викторовна, Ампилогов Иван Александрович, Саетдинов Тенгиз Альбертович, Сафин Руслан Рафкатович	219
РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ УСИЛЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ГАБИОНОВ	223
Труфанова Полина Сергеевна, Архипенко Татьяна Викторовна	223
ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА РЕКЛАМНОГО ЩИТА НА ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ	229
Тяпова Екатерина Владимировна, Шестакова Александра Сергеевна	229
РОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ ТИПА ТАНСЕГРИТИ	234
Дырдина Елена Васильевна, Попова Олеся Сергеевна, Регентова Ирина Константиновна, Будагова София Вячеславовна, Барышова Анастасия Витальевна	234
СЕКЦИЯ 7 «СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»	238
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ	239
Пояркова Екатерина Васильевна, Батталов Егор Римович	239
ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ЕМКОСТИ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ВМЯТИНЫ НА КОРПУСЕ	249
Мустафина Элиза Разифовна	249
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	249
Пояркова Екатерина Васильевна, Батталов Егор Римович	246
СЕКЦИЯ 8 «МЕХАНИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ И БИОТЕХНОЛОГИЯХ»	263
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭРГНОМИЧНОСТИ ПРОТЕЗОВ ЧЕРЕЗ ИНТЕГРАЦИЮ ПРИНЦИПОВ БИОМЕХАНИКИ В КОНСТРУКЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ	264
Бакаев Антон Алексеевич, Говорова Вероника Дмитриевна, Матюшко Константин Алексеевич	264

АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ ЗУБНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ.....	260
Куменова Рада Тулегеновна.....	260
СЕКЦИЯ 9 «ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»	274
АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ВЫБОРЕ СОСТАВА И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	275
Паршина Анастасия Анатольевна.....	275
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНИЧЕСКО-ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА.....	281
Решетов Сергей Юрьевич, Черноусов Егор Александрович, Касимов Роман Андреевич, Кашапов Тимур Динарович, Барановский Кирилл Владиславович	281
САПР КОМПАС-3D В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНИЧЕСКО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА.....	287
Решетов Сергей Юрьевич, Черноусов Егор Александрович, Касимов Роман Андреевич, Кашапов Тимур Динарович, Барановский Кирилл Владиславович	287
СЕКЦИЯ 10 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА В ЭНЕРГЕТИКЕ И ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ»	293
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОЦЕНКИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ	294
Цыганова Ирина Александровна, Поярков Климент Никитич.....	294
МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И СБОРА ДАННЫХ О НЕИСПРАВНОСТЯХ И РИСКАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	300
Пояркова Екатерина Васильевна, Филимошин Данил Дмитриевич, Мурзабулатов Ильфат Фуатович.....	300
СЕКЦИЯ 11 (специальная секция для школьников) «КРЕАТИВНАЯ МЕХАНИКА И КОНСТРУКТИВНОЕ ТВОРЧЕСТВО»	306
ГРАФЕН – МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО.....	307
Иткулов Ильнар Ильфатович, Дмитриева Мария Юрьевна	307
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	311

Медведев Савелий Сергеевич, Дмитриева Мария Юрьевна	311
ИННОВАЦИОННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И ПЕРЕПЛАНИРОВКА.....	316
Иванова Виктория Станиславовна, Иванов Владислав Александрович.....	316
АРХИТЕКТУРА И ФИЗИКА.....	320
Иванова Виктория Станиславовна, Иванова Вероника Александровна.....	320
БУМАГА – ЭТО ПРОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ИЛИ НЕТ?	325
Пояркова Екатерина Васильевна, Подоляк Ярослав Александрович	325

Предисловие

Уважаемые коллеги, участники и гости конференции!

С большим удовольствием представляем вашему вниманию материалы III Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы». В современном мире, где темпы технологических изменений и вызовы времени требуют оперативного и гибкого реагирования, особую значимость приобретает интеграция новых цифровых технологий и искусственного интеллекта во все сферы деятельности инженера-механика.

Сегодня роль механики выходит за рамки традиционных дисциплин. Применение методов моделирования, автоматизации и искусственного интеллекта становится ключом к созданию инновационных, эффективных и устойчивых инженерных решений. Молодые ученые, аспиранты и студенты, представленные в этом сборнике, демонстрируют высокий уровень интеллектуальной активности и стремление к развитию новых знаний и технологий, необходимых для успешного решения актуальных задач.

Цель конференции – стимулировать обмен знаниями и передовым опытом в области моделирования, проектирования и эксплуатации инженерных систем с учетом цифровой трансформации. Представленные исследования отражают усилия молодого поколения в развитии современной механики, а также ее влияние на различные отрасли науки и промышленности.

Мы убеждены, что результаты научных исследований и инновационные разработки, обсуждаемые на конференции, будут способствовать формированию нового поколения инженеров, способных эффективно использовать возможности цифровой эпохи и искусственного интеллекта для решения сложных инженерных задач.

Благодарим всех участников за активное участие и надеемся, что материалы конференции станут ценным вкладом в развитие науки и технологий, вдохновят на новые открытия и помогут внедрять передовые решения в практику.

Желаем всем приятного и полезного чтения, интересных решений и вдохновляющих открытий!

*Оргкомитет III Всероссийской
молодежной научно-практической конференции
«Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы»*

Приветственное слово председателя Оргкомитета конференции

Уважаемые авторы и читатели сборника III Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы»!

От имени Организационного комитета и ректората Оренбургского государственного университета выражаю искреннюю благодарность всем участникам и организаторам конференции за успешное проведение этого важного научного события. Публикация материалов стала результатом масштабной предварительной работы, которая подготовила плодотворную основу для обсуждения актуальных проблем и перспектив современной механики.

Особую гордость вызывает активное вовлечение молодёжи в научно-исследовательскую деятельность. В этом году мы впервые открыли специальную секцию для школьников, что стало важным шагом в поддержке научных инициатив и развитии инженерного мышления с ранних этапов образования. Такая практика способствует формированию прочной базы знаний и интереса к науке у подрастающего поколения.

Механика – фундаментальная наука, играющая ключевую роль во всех сферах человеческой деятельности: от медицины и биомеханики до космонавтики и высокотехнологичного производства. Глубокое понимание механических процессов позволяет создавать инновационные решения и обеспечивает устойчивое развитие современных технологий.

Университет и организаторы конференции видят своей задачей не только создание площадки для обмена знаниями, но и поддержку молодых исследователей – студентов, аспирантов и школьников – в реализации их потенциала. Мы гордимся тем, что конференция стала частью проекта по развитию студенческих научных сообществ и сотрудничества с образовательными учреждениями региона и страны.

Благодарю всех, кто внес свой вклад в организацию и проведение конференции, а также авторов и читателей сборника. Желаю вам дальнейших творческих успехов, новых открытий и активного внедрения знаний механики в практику инженерного образования и науки.

*С уважением,
председатель Оргкомитета конференции,
проректор по научной работе
Оренбургского государственного университета,
доктор физико-математических наук, профессор
Сергей Николаевич Летута*

СЕКЦИЯ 1



«СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ, МАШИН, СООРУЖЕНИЙ»

БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ СО СЪЁМНЫМ КЕРНОПРИЁМНИКОМ

Думинова Анастасия Сергеевна, студент бакалавриата, 4 курс,
Тулибаев Егор Сагитович, старший преподаватель

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Бурение является одним из основных процессов в геологических исследованиях, строительстве скважин, добыче полезных ископаемых и других отраслях промышленности. Для эффективного и точного бурения необходимо использовать специализированное оборудование и инструменты. Оборудование и инструменты для бурения со съёмным керноприёмником представляют собой современное техническое решение, которое позволяет повысить эффективность и точность процесса бурения. В данной статье мы рассмотрим, что это такое и какие преимущества они предоставляют [1].

Ключевые слова: бурение, буровой инструмент, съёмный керноприёмник.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Съёмный керноприёмник – это специальный инструмент, используемый при бурении для сбора и сохранения образцов породы или грунта. Он представляет собой цилиндрическую трубку с внутренними керновыми головками, которые фиксируют образцы внутри себя.

Принцип работы съёмного керноприёмника заключается в его установке на конец буровой трубы, после чего он погружается в скважину и начинает бурение. При движении вниз керноприёмник проникает в грунт или породу, а керновые головки фиксируют образец. После достижения нужной глубины, он извлекается из скважины с помощью специального подъёмного механизма, и керн извлекается из него для последующего анализа.

Компоненты съёмного керноприёмника:

- буровая установка: это может быть стационарная или передвижная установка, которая обеспечивает механическую силу для осуществления бурения.

- буровой стол: это рабочая платформа, на которой размещается керноприёмник и другие инструменты. Он обеспечивает удобство и безопасность при выполнении бурения.

- керноприёмник: это специальное устройство, которое удерживает образец породы (керн) во время бурения. Он имеет съёмную конструкцию, чтобы облегчить извлечение образца после бурения.

- буровые трубы: это длинные, цилиндрические трубы, которые используются для прокладки пути бура и извлечения керна с помощью керноприёмника. Они должны быть достаточно прочными и герметичными, чтобы выдержать давление и механическую нагрузку при бурении.

– буровые насадки: это часть бура, которая непосредственно контактирует с породой и разрушает её. Они могут иметь различную форму и размер в зависимости от типа грунта или породы, которую вы собираетесь бурить.

– буровые насосы: это устройства, которые создают давление и поток жидкости (бурового раствора) для смазки инструмента и удаления обрывков породы из скважины.

– лабораторное оборудование: после извлечения образца породы с помощью керноприёмника, вам понадобится лабораторное оборудование для его анализа и тестирования. Это может включать в себя микроскопы, спектрометры, пресс-машины и другие инструменты.

Основным инструментом при использовании оборудования с съёмным керноприёмником является буровая головка, которая оснащена специальным керновым буром. Буровая головка прецизионно работает благодаря высокотехнологичным компонентам и инженерным решениям. Благодаря съёмному керноприёмнику, буровую головку можно легко и быстро менять, что упрощает процесс и повышает производительность работы.

Важным элементом оборудования для бурения со съёмным керноприёмником является система управления. Система управления позволяет не только контролировать технические параметры бурения, но и сохранять полученные данные для последующего анализа. Благодаря возможности сохранения информации о составе грунта или породы, инженеры и геологи получают ценную информацию для дальнейшего планирования и принятия решений [2].

Преимущества использования съёмного керноприёмника:

– высокое качество образцов: благодаря специальному механизму фиксации образцы съёмного керноприёмника остаются нетронутыми во время подъема на поверхность. Это обеспечивает надежность получаемых данных о грунте или породе.

– высокая точность: возможность получения точной информации о составе грунта или породы на месте работы. Это позволяет проводить глубокий анализ и исследование проблемных участков для принятия правильных инженерных и геологических решений.

– экономия времени и ресурсов: съёмный керноприёмник позволяет быстро и эффективно извлекать керн из скважины, что сокращает время и затраты на бурение.

– возможность повторного использования: съёмный керноприёмник можно использовать многократно, что делает его экономически выгодным в долгосрочной перспективе.

– удобство использования: съёмные керноприёмники обычно легкие и простые в установке и снятии. Это позволяет сократить время и усилия, потраченные на бурение.

– эффективность: использование керноприёмника позволяет проводить исследования без прерывания процесса бурения. Это экономит время и средства, так как образцы можно собирать одновременно с бурением [3].

Применение съёмного керноприёмника:

– геологические исследования: съёмный керноприёмник используется для получения образцов грунта или породы для анализа и изучения их состава, структуры и свойств.

– строительство скважин: съёмный керноприёмник позволяет контролировать качество и геологические характеристики скважины, что важно для безопасности и эффективности добычи полезных ископаемых.

– нефтегазовая промышленность: съёмный керноприёмник используется для исследования и оценки запасов нефти и газа в подземных пластах.

Факторы следует учитывать при выборе съёмного керноприёмника:

– тип грунта или породы: некоторые съёмные керноприёмники могут быть лучше приспособлены для определенных типов грунта или породы. Необходимо выбрать приемник, который наилучшим образом подходит для предполагаемого исследования.

– глубина и диаметр скважины: съёмные керноприёмники доступны в различных размерах и конфигурациях. Необходимо выбрать тот, который соответствует требуемой глубине и диаметру скважины.

– бюджет: стоимость съёмного керноприёмника может варьироваться в зависимости от его качества, размера и других характеристик. Необходимо учесть свой бюджет при выборе соответствующего приемника [4].

Одним из представителей оборудования для бурения со съёмным керноприёмником является комплекс технических средств со съёмными снарядами КССК-76. Он предназначен для бурения скважин алмазными коронками диаметром 76 мм. В состав такого КССК-76 входит набор колонковый НК-76, который в свою очередь состоит из наружного корпуса и снаряда съёмного (СС).

Рассмотрим узлы, которые входят в состав СС:

1) узел блокировки. Данный узел обеспечивает надежную фиксацию снаряда в наружном корпусе, а также обеспечивает подачу сигнала готовности к бурению. Блокировка содержит в себе: корпус, блокирующие элементы (ролики, подпружиненные относительно втулки, установленные на штифтах), сигнализирующие элементы (пружинные кольца, штифты, поворотная головка), крышку.

2) подвеска. Она обеспечивает неподвижность керноприёмника в процессе бурения. Подвеска состоит из: переходников, подшипников, вала, корпуса, пружины и полукольца.

3) керноприёмник. Предназначен для приёма, отрыва и транспортировки кёрна. Керноприёмник состоит из: приёмной трубы, переходника, корпуса, клапана, стопорного и рвательного кольца.

3D-модель снаряда съёмного показана на рисунке 1.

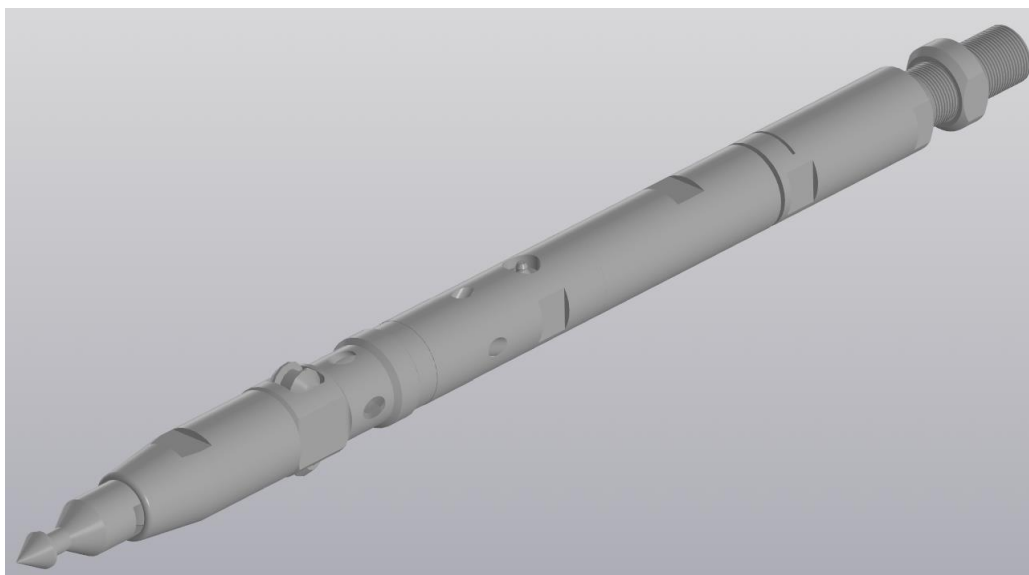


Рисунок 1 – 3D модель снаряда съёмного

В ходе анализа конструкционной модели СС было выявлено, что узел блокировка, 3D-модель которого представлена на рисунке 2, имеет существенный недостаток: при транспортировке блокирующие элементы могут выпасть. Конструкция в таком исполнении не безопасна.

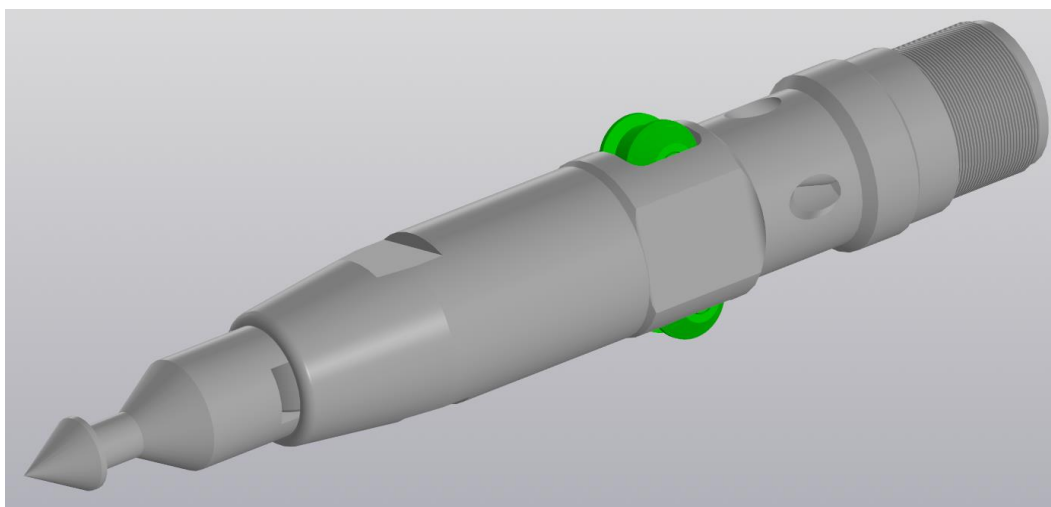


Рисунок 2 – 3D модель узла блокировки

На основании изучения аналитических данных ведущих производителей разработана модернизированная конструкция блокировки СС.

Так как блокирующие элементы никак не закреплены в корпусе, было принято решение заменить ролики и втулки, которые установлены на штифтах, на подшипниковые шарики, которые будут иметь фиксацию в виде крышки. Соответственно, в процессе изменения блокирующих элементов, так же была изменена крышка съёмного снаряда, а также разработана новая деталь – фиксирующая крышка, которая будет закреплена тремя болтами.

3D-модель модернизированной части узла блокировка представлена на рисунке 3.

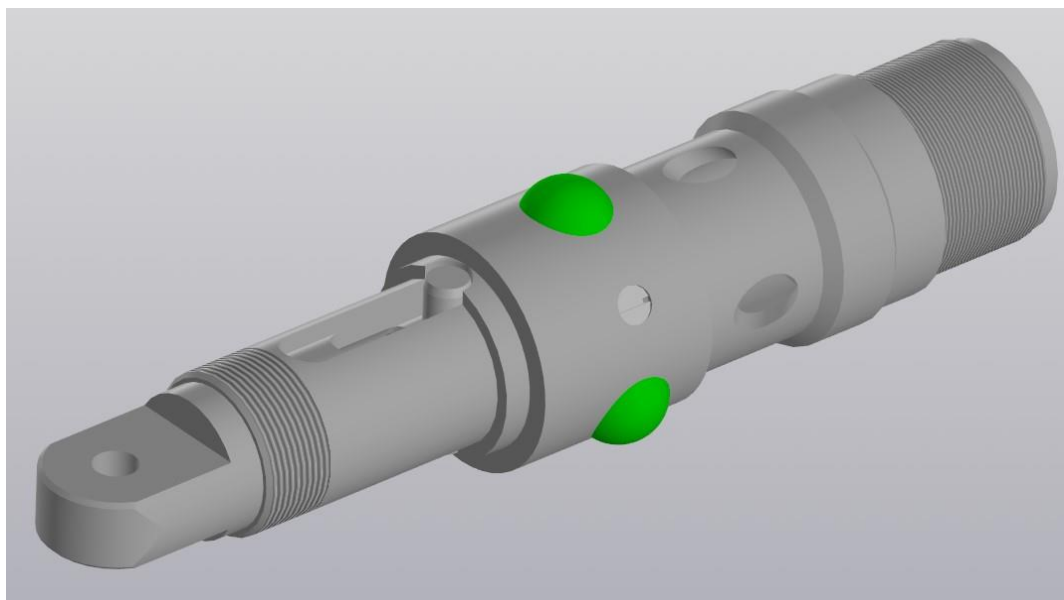


Рисунок 3 – Модернизированная 3D-модель части узла блокировка

Данная модернизация поможет предотвратить выпадение блокирующих элементов при транспортировке, что повысит уровень безопасности конструкции снаряда съёмного.

Съёмный керноприёмник является важным высокотехнологичным оборудованием для бурения, который позволяет собирать и сохранять качественные образцы грунта или породы для анализа и исследования. Его использование обеспечивает высокую точность и эффективность процесса бурения, а также экономию времени и ресурсов. В дальнейшем развитии данной области можно ожидать улучшения и совершенствования съёмных керноприёмников для более точного и эффективного бурения [5].

Список использованной литературы

1. Подоляк, А. В. Современное состояние технологии изготовления алмазного инструмента для бурения геологоразведочных скважин / А. В. Подоляк, Д. П. Цимбалысты // StudNet. – 2022. – № 3. – С. 1462-1471.
2. Григорьев, М. С. Колонковый метод бурения: особенности и его применение / М. С. Григорьев // Достижения науки и образования. – 2022. – № 2. – С. 132-134.
3. Мышов, А. Н. Основные параметры проектирования режимов бурения / А. Н. Мышов // Вестник науки. – 2023. – № 2. – С. 202-205.
4. Сериков, Ш. М. Оборудование для бурения скважин переменного диаметра / Ш. М. Сериков, А. С. Кадыров, Ж. Ж. Жунусбекова, З. А. Мулдагалиев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 3. – С. 128-133.
5. Елисеев, А.Д. Комплекс методов и технических средств оперативного исследования поглощений при геологоразведочном бурении / А. Д. Елисеев, В. В. Нескормных // Науки о Земле и недропользование. – 2010. – С. 154-166.

DRILLING EQUIPMENT AND TOOLS WITH REMOVABLE CORE RECEIVER

Anastasia S. Dumnova, Bachelor's degree, 4th year
Egor S. Tulibayev, senior lecturer

Orenburg State University

Abstract. *Drilling is one of the main processes in geological research, well construction, mining and other industries. For efficient and accurate drilling, it is necessary to use specialized equipment and tools. Drilling equipment and tools with a removable core receiver are a modern technical solution that allows you to increase the efficiency and accuracy of the drilling process. In this article, we will look at what they are and what advantages they provide [1].*

Keywords: *drilling, drilling tool, removable core receiver.*

РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОГО ЛЕНТОЧНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА 3315

Клещарева Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент
Строев Иван Андреевич, Прядкин Максим Алексеевич,
Сечин Кирилл Александрович, студенты бакалавриата, 1 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация: Данная статья посвящена разработке промышленного ленточно-шлифовального станка 3315, используемому для обработки поверхностей различных материалов. В работе рассматриваются основные принципы работы станка, его конструктивные особенности и преимущества перед другими типами оборудования.

Ключевые слова: промышленный ленточно-шлифовальный станок, модель, чертёж.

Код и рубрика: 55.29.00 Машиностроение. Станкостроение.

Соответствие научно-технических ресурсов современному этапу развития научно-технического прогресса является необходимым условием деятельности современного общества. Научно-технический прогресс затрагивает все без исключения элементы производительных сил и оказывает заметное воздействие на структуру и экономический рост мирового хозяйства. Он затрагивает все этапы процесса, который включает в себя фундаментальные теоретические исследования, опытно-конструкторские разработки, освоение и промышленное производство новой техники, а также внедрение ее в народное хозяйство.

Шлифовальный станок – это одна из разновидностей металлорежущего оборудования, в котором для обработки заготовок используется вращающийся абразивный инструмент.

Ленточно-шлифовальные станки применяются для чистовой механической обработки на всех этапах производства некоторых изделий. В зависимости от абразивного материала и скорости движения ленты станки используются для обработки деталей из дерева, металла, стекла и др. При помощи станка можно обрабатывать детали любой формы.

Ленточно-шлифовальный станок имеет несколько преимуществ перед другими разновидностями обдирочно-шлифовальных и заточных станков. Вот некоторые из них:

1. Высокая производительность: ленточно-шлифовальные станки имеют высокую скорость работы и могут быстро удалить большой объем материала.

2. Разнообразные настройки: большинство ленточно-шлифовальных станков проектируются так, что имеется возможность регулировать скорость и угол шлифования, что делает такой тип станков универсальным решением для различных задач.

3. Качество шлифовки: ленточно-шлифовальные станки обеспечивают ровную и чистую поверхность после обработки.

4. Эффективность: благодаря высокой скорости и мощности ленточно-шлифовальные станки позволяют экономить время и усилия при обработке материалов, а также обеспечивается лучшее охлаждение режущего инструмента, в виде бесконечной абразивной ленты.

5. Универсальность: ленточно-шлифовальные станки могут использоваться для обработки различных материалов, включая дерево, металл и пластик.

Таким образом, ленточно-шлифовальный станок является превосходным выбором для шлифовки и обработки различных материалов благодаря своей высокой производительности, качеству шлифовки и универсальности.

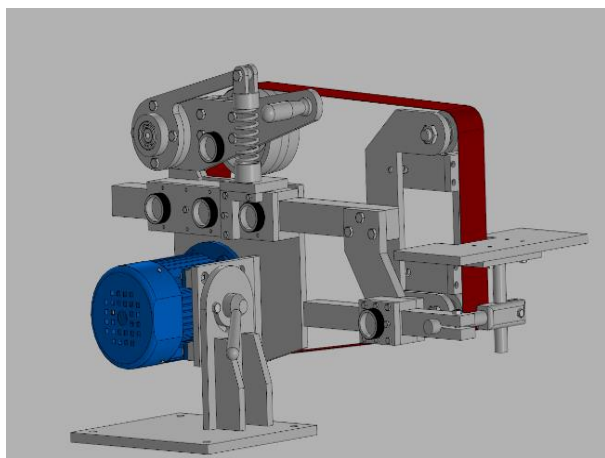
В определённый момент возникла потребность в ленточно-шлифовальном станке и было принято решение произвести любительский станок с необходимыми техническими характеристиками:

мощность – 1,5 - 2,2 кВт;

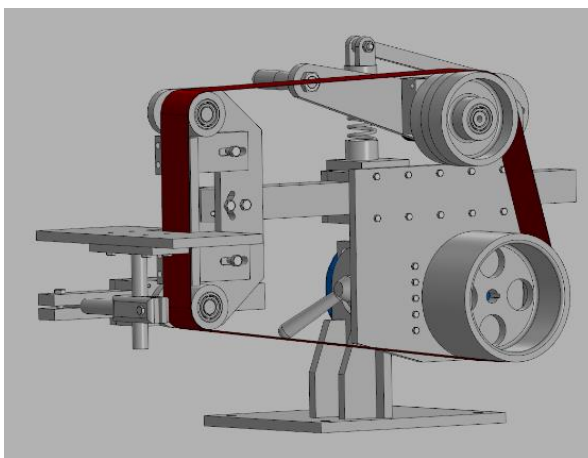
ширина используемой ленты – 50-80 мм;

длина ленты – 1500-2000 мм.

В соответствии с требуемыми характеристиками была создана 3D модель в программе КОМПАС-3D (рисунок 1, а и 1, б).



а) вид слева



б) вид справа

Рисунок 1 – 3D модель станка

Принципы работы станка. Режущим инструментом на станке данного типа являются шлифовальные ленты. Шлифовальные ленты – это оснастка для ленточных шлифмашин, как ручных, так и промышленного назначения. Шлифовальная лента представляет собой основу в виде длинной полосы, замкнутой в кольцо и покрытой специальным зернистым покрытием, закрепленным при помощи связующего компонента (смола или лак).

Эксплуатация подобных лент позволяет еще качественнее выполнять процесс шлифовки, нежели наждачная бумага. Существует несколько типов шлифовальных лент, которые отличаются назначением, размерами,

техническими характеристиками, напылением абразива и другими параметрами (таблица 1).

Таблица 1 – Назначение маркировок различных стандартов шлифовальных лент

Назначение	Маркировка по ISO-6344 (международный стандарт)	Маркировка по ГОСТ Р 52381-2005	Маркировка по ГОСТ 3647-80	Средний размер зерна, мкм
Крупнозернистые				
Очень грубые работы	P22	P24	80-Н	800-1000
	P24	P30	63-Н	630-800
	P30	P30		500-630
	P36	P36	50-Н	
Грубые работы	P40		40-Н	400-500
	P50		32-Н	315-400
	P60		25-Н	250-315
Первичная шлифовка	P80		20-Н	200-250
	P100		16-Н	125-160
	P120		12-Н	100-125
Окончательная шлифовка мягких пород дерева, старой краски под покраску	P150		10-Н	80-100
	P180		8-Н	63-80
	P220		6-Н	58-63
Мелкозернистые				
Окончательная шлифовка твердых пород дерева, шлифовка между покрытиями	P240		5-Н, M63	50-69
	P280		4-Н	40-50
	P320		M50	
	P360			
Полировка покрытий, мокрая шлифовка	P400		M40	28-40
	P500			
	P600		M28	20-28
	P800			
Шлифовка металла, пластиков, керамики, мокрая шлифовка	P1000		M20	14-20
Полировка	P1200			7-14
	P1500		M14	
	P2000			3-10
	P2500		M10	

Одним из важнейших параметров при назначении режима шлифования является скорость шлифования, зависящая от линейной скорости движения ленты. Этот параметр в данном станке задается номинальными оборотами электродвигателя и диаметром ведущего шкива. Рекомендуемые скорости шлифования приведены на рисунке 2.

проводились с целью определения оптимального размера, материала и конструкции роликов, чтобы обеспечить их надёжную работу и долгий срок службы.

Важно было отметить важность допусков и посадок на валу ролика (рисунок 4), от которых зависит насколько правильно будут эксплуатироваться подшипники [1], [2], [3].

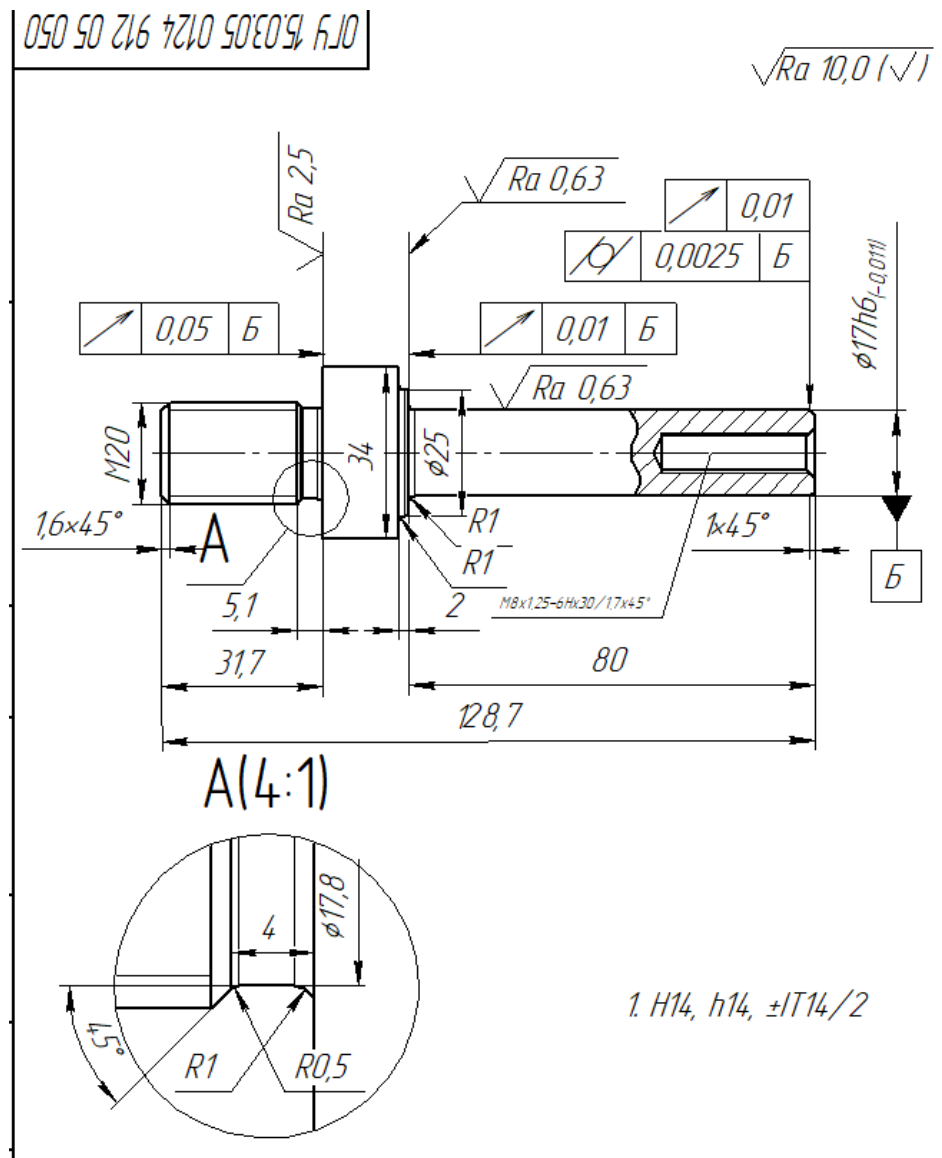


Рисунок 4 – Чертёж вала ролика

Также важно учитывать условия эксплуатации, окружающую среду и специфику работы конкретного механизма. Правильный расчёт роликов помогает избежать поломок, повышает эффективность работы и обеспечивает безопасность процесса.

Мы провели анализ сил, напряжений, деформаций и других параметров для оптимизации конструкции роликов и их соответствия требованиям производства.

Промышленный вариант ленточно-шлифовального станка. В процессе работы над любительским ленточно-шлифовальным станком обнаружено отсутствие такого типа станков промышленного назначения. Поэтому принято решение разработать и создать свой собственный промышленный ленточно-шлифовальный станок, который будет соответствовать всем требованиям и стандартам производства. При этом были учтены особенности и потребности производства, чтобы обеспечить высокую производительность и качество обработки поверхностей.

Создание промышленного ленточно-шлифовального станка может удовлетворить растущий спрос на высокопроизводительные и экономически эффективные решения для обработки поверхности. Такие станки могут найти применение в различных отраслях промышленности, включая автомобилестроение и аэрокосмическую промышленность.

Согласно классификации металлорежущих с станков было принято обозначение модели – 3315. Также принято решение в промышленную версию добавить систему пылеудаления и подачи СОЖ.

Регулировка скорости. Регулировка скорости для шлифования различных материалов может быть осуществлена двумя способами, каждый из которых имеет свои преимущества. Это использование частотного преобразователя или ременной передачи. Первый вариант хоть и даёт более высокую точность настройки скорости, но требует определённой компетенции для настройки, а также технического обслуживания. Для большей надёжности, срока службы и легкости в эксплуатации принято решение использовать второй вариант, а точнее клиноременную передачу.

Клиновое сечение ремня обеспечивает лучшее сцепление его со шкивом. Сечение клиноременной передачи выбирают в зависимости от крутящего момента на быстроходном валу. В процессе расчётов, согласно таблице [2, т.1, с. 524], было выбрано сечение Б.

Таким образом с использованием ступенчатых шкивов с 4 ручьями, что ввиду использования двухскоростного электродвигателя АИР112МА 4/8, позволяет использовать 7 скоростей, которые перекрывают весь необходимый диапазон (таблица 2). [3], [4], [5]. Спроектирована эскизная модель станка 3315 (рисунок 5).

Таблица 2 – Параметры скоростей

Скорость	Пониженная (м/с)	Повышенная (м/с)
1	7.25	14.5*
2	10.2	20.4
3	14.35	28.7
4	18.15	36.3

(*) – не рекомендуются использовать в связи с неблагоприятными условиями эксплуатации ремня.

Технические характеристики:

- мощность – 2,2 – 3,6 кВт;
- ширина используемой ленты – 150 мм;
- длина ленты – 3000 – 6000 мм.

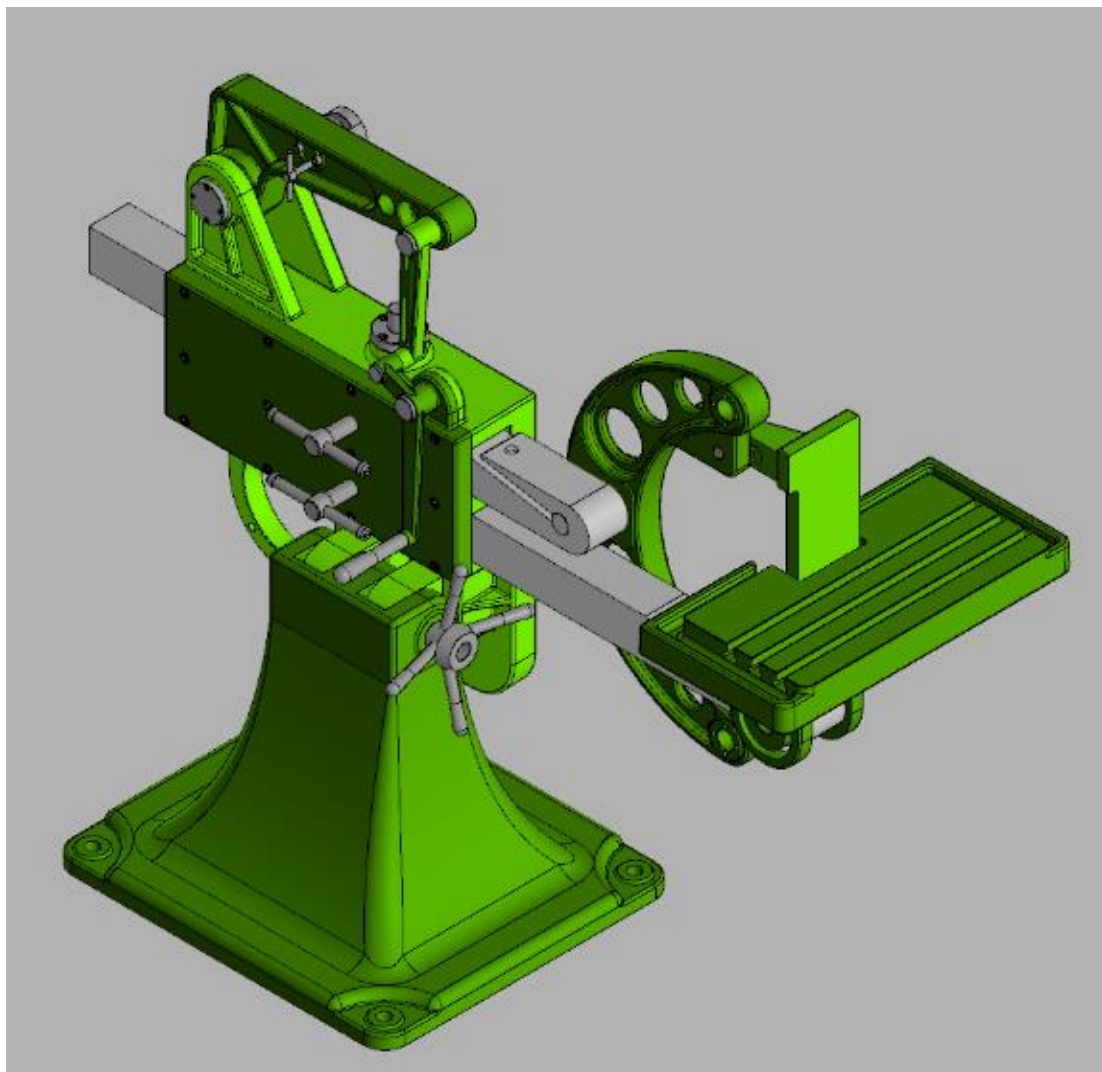


Рисунок 5 – Изометрия незаконченной 3D модели промышленного станка 3315

Список использованной литературы

1. Белкин, И. М. Справочник по допускам и посадкам для рабочего – машиностроителя / И. М. Белкин. – М.: Машиностроение, 1985. – 320 с.
2. Общие правила выполнения чертежей: Единая система конструкторской документации / М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1954.
3. Тарабасов Н. Д., Учаев П.Н. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 239 с.

4. Малов А. Н. Справочник металлиста / А. Н. Малов, С. А. Чернавский, В. С. Владиславлев, С. Н. Поздняков, А. Я. Ростовых, Г. Б. Столбин. – М.: Машгиз, 1960. – 1163 с.
5. Курбатов С.И., Hütte: справочник для инженеров, техников и студентов / Запорожец В.К., Лебедев С.Ф., Н.Л. Мануйлов – М.: Главная редакция литературы по машиностроению и металлообработке, 1935. – 1470.

DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL BELT GRINDING MACHINE 3315

**Galina Al. Kleshchareva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Ivan A. Stroeve, Maxim A. Pryadkin, Kirill A. Sechin, undergraduate students,
1st year**

Orenburg State University

Abstract: *This article is devoted to an industrial belt grinding machine 3315 used for surface treatment of various materials. The paper discusses the basic principles of the machine, its design features and advantages over other types of equipment. Special attention is paid to the research conducted under the supervision of Professor Galina Alexandrovna Kleshchareva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines.*

Keywords: *industrial belt grinding machine, model, drawing.*

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА ЕЕ ОЦЕНКИ

Тимирбаев Рустам Раильевич, аспирант, 1 курс

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва

Аннотация. В представленной работе представлены основные требования к надежности и их распределение между элементами установок электроприводных лопастных насосов, применяемых для добычи углеводородов. Работа выполнена на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина **под руководством Сабирова Альберта Азгаровича**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

В работе представлено распределение надежности системы установок электроприводных лопастных насосов как последовательное соединение отдельных элементов и сделан вывод, что оценка надежности установок электроприводных лопастных насосов осуществляется с учетом надежности каждого из элементов – электроприводной лопастной насос, сепаратор, гидрозащита, погружной двигатель, датчик, силовой кабель и т.д.

Ключевые слова: установка электроприводных лопастных насосов, надежность, надежность установок электроприводных лопастных насосов, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов.

Код и рубрика: 55.33.02 «Общие проблемы исследований, расчетов и проектирования в горном машиностроении».

В мире и в России на сегодняшний день наиболее распространенным методом добычи являются установки электроприводных лопастных насосов (УЭЛН) [1]. К данному типу оборудования появляются дополнительные требования по надежности. Важным вопросом становится ряд требований к надежности между элементами системы и методы оптимизации надежности при проектировании. Целью такого распределения требований состоит в том, чтобы с помощью модели надежности обеспечивался требуемый уровень надежности системы в целом. Решение задач инженерного проектирования и обеспечения надежности обычно требует компромиссного подхода к достижению поставленных целей. Характеристики УЭЛН зависят от постоянных, а также от регулируемых конструктивных параметров. Задача оптимизации может состоять в том, чтобы максимизировать показатель надежности при заданных ограничениях на количество имеющихся ресурсов или минимизировать расход ресурсов при достижении требуемого уровня надежности.

На основании требований к рабочим характеристикам УЭЛН в целом, включая надежность, специалисты по надежности и инженеры-конструкторы должны выработать требования к характеристикам отдельных элементов, включая надежность. Проблема задания требований к надежности зависит от таких факторов, как степень важности того или иного элемента для функционирования системы, метод выполнения системой своих функций, сложность системы и изменение надежности элемента в зависимости от характера выполняемой функции. Проблема еще более усложняется в связи с отсутствием подробной информации о многих из этих факторов на начальном этапе проектирования системы. Требования к надежности и распределения их между элементами УЭЛН состоят в следующем:

1. Распределение требований к надежности между элементами системы заставляет конструктора выявить и уяснить соотношения между уровнями надежности системы, подсистем и элементов. Это способствует пониманию основных свойств данной конструкции с точки зрения надежности.

2. Конструктор вынужден при этом рассматривать надежность наравне с другими параметрами системы, например, такими, как вес, стоимость и рабочие характеристики.

3. Нефтяные компании разрабатывают единые технические требования (ЕТТ) к поставляемому оборудованию и требуют от производителя оборудования обеспечение требуемой надежности. В этом случае ЕТТ приводят к созданию изделия улучшенной конструкции, обеспечивает применение более совершенных конструкционных материалов и методов изготовления и испытания изделий, что в итоге приводит к повышению надежности нефтепромышленного оборудования [2].

Распределение заданной надежности P^* по элементам системы требует решения следующего неравенства

$$f(P_1, P_2, \dots, P_n) \geq P^*, \quad (1)$$

где P_i - заданная вероятность безотказной работы i -го элемента;

f - функциональное соотношение между элементами и системой.

Для систем с последовательным и параллельным соединением элементов это функциональное соотношение хорошо известно [3,4].

При других конфигурациях системы это соотношение является сложным, а для некоторых сложных систем его даже нельзя представить в виде простых математических выражений. Если нас интересует вероятность безотказной работы как функция времени, то неравенство (1) можно обобщить, рассматривая P^* и P_i , $i=1, \dots, n$, как функции времени t .

Большинство основных моделей распределения требований к надежности основаны на допущениях, что элементы УЭЛН отказывают независимо друг от друга, что отказ любого элемента приводит к отказу всей системы (т.е. система состоит из последовательно соединенных элементов) и что интенсивность

отказов всей системы постоянна. При этих допущениях получаем следующее неравенство как частный случай неравенства (1):

$$P_1(t)P_2(t)...P_n(t) \geq P^*(t). \quad (2)$$

Пусть λ_i - интенсивность отказов i -го элемента, а λ^* - интенсивность отказов УЭЛН в целом. Тогда неравенство (2) принимает вид [5]:

$$e^{-\lambda_1 t^m} e^{-\lambda_2 t^m} ... e^{-\lambda_n t^m} \geq e^{-\lambda^* t^m} \quad (3)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_n \leq \lambda^*.$$

(4)

Таким образом, распределение требований к надежности, если общие требования выражены через $P^*(t)$ или λ^* , может выполняться аналогичными методами. Таким образом, оценка надежности установки ЭЛН осуществляется с учетом надежности каждого из элементов, которыми являются насос, сепаратор, гидрозащита, двигатель, датчик, силовой кабель и т.д.

Методы распределения требований к надежности позволяют управлять надежностью УЭЛН в целом, изменяя лишь характеристики отдельных узлов и, тем самым, достигать требуемых значений наработок. Описанный алгоритм минимизации затрат обеспечивает конструктору возможность с наименьшими затратами на модернизацию отдельных изделий достичь требуемых параметров надежности УЭЛН и при этом осуществить это в кратчайшие сроки с минимальным вложением материальных средств и человеческих ресурсов.

Статистические данные по наработке, надежности и отказам различных узлов УЭЛН, накопленные в предыдущий период работы, позволяют с большой долей вероятности говорить о возможности не только проектировать систему с заданными заранее характеристиками надежности, но и осуществлять прогноз будущих наработок.

На сегодняшний день возможность создания цифровых двойников симуляции и моделирование работы УЭЛН, совмещенные со знанием статистики и теории вероятности, обеспечивают конструктору великолепный инструмент для создания высоконадежных систем с минимальными затратами на их проектирование и разработку.

Список использованной литературы

1. Камалетдинов, Р. С. Механизированная добыча нефти: новые вызовы - новые решения / Р. С. Камалетдинов // Neftegaz.RU. – 2023. – № 4. – С. 42–47.
2. Протасов, В. Н. Планирование и обеспечение качества технических систем нефтегазового комплекса / В. Н. Протасов, В. Я. Кершенбаум. – Москва: Национальный институт нефти и газа, 2020. – 448 с.

3. Бабаев, С. Г. Надежность нефтепромышленного оборудования. – Москва: Недра, 1987. – 264 с.

4. Севастьянов, Б. А. Курс теории вероятностей и математической статистики. – Москва: Наука, 1982. – 256 с.

5. Капур, К. Надежность и проектирование систем : под редакцией И. А. Ушакова / Капур К., Ламберсон Л. – Москва: Издательство «Мир», 1980. – 610 с

ANALYSIS OF RELIABILITY INDICATORS AND IMPROVEMENT OF THE METHOD OF ITS ASSESSMENT

Rustam Timirbaev, PhD student, 1st year

*Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research
University), Moscow*

Annotation. *The presented work presents the basic reliability requirements and their distribution between the elements of electric drive vane pumps used for hydrocarbon production. The work was performed at the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU) under the supervision of Albert Azgarovich Sabirov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU). The paper presents the distribution of reliability of the system of installations of electric vane pumps as a sequential connection of individual elements and concludes that the reliability of installations of electric vane pumps is assessed taking into account the reliability of each of the elements – electric vane pump, separator, hydraulic protection, submersible motor, sensor, power cable, etc.*

Keywords: *installation of electric driven vane pumps, reliability, reliability of electric driven vane pump installations, probability of trouble-free operation, failure rate.*

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Харисов Эмиль Тимурович, аспирант, первый курс

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва

Аннотация. Работа выполнена на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности в РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина **под руководством Долова Темира Руслановича**, кандидата технических наук, доцента.

В данной работе предлагается подход, который возможно применить в ходе проектирования и исследований динамических лопастных насосов. Объектом исследования является диспергатор для установки электроприводного центробежного насоса. Описан процесс изготовления макета данного типа оборудования с использованием аддитивных технологий. Приведены результаты стендовых исследований и их сопоставление с численными исследованиями приведенной конструкции диспергатора.

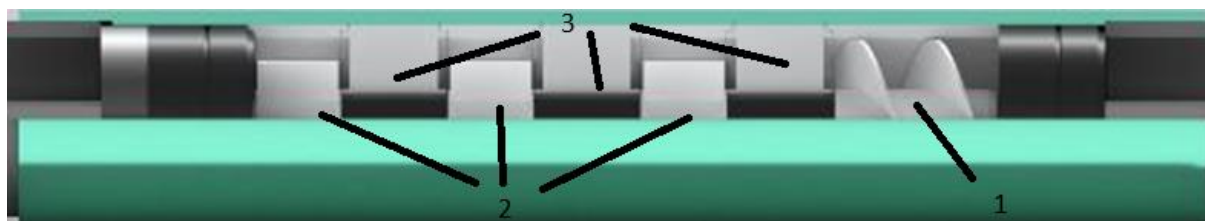
Ключевые слова: установка электроприводного центробежного насоса, диспергатор, аддитивные технологии, 3D-принтер, метод послойного наплавления термопластического материала, стендовые испытания, численные исследования.

Код и рубрика: технология производства узлов и деталей машин (55.13.17); насосостроение (55.39.37).

На сегодняшний день самым эффективным и распространенным механизированным методом эксплуатации нефтяных месторождений является использование установок электроприводных центробежных насосов. В состав данных установок входит: погружной электродвигатель, гидрозащита, входной модуль, насос и т. д. Состав установки может отличаться в зависимости от скважинных условий и оснащаться дополнительным оборудованием для бесперебойной добычи пластового флюида. Таким дополнительным оборудованием является диспергатор. Диспергатор – это газостабилизирующее устройство, которое предназначено для компримирования и дробления крупных пузырьков газовой фазы перед. Это необходимо для обеспечения эффективной и безаварийной работы далее идущих насосных секций в условиях высокого газосодержания [1,2].

Объектом исследования является диспергатор. В состав конструкции входят: шнек, набор рабочих колес и направляющих аппаратов (Рисунок 1). Принцип работы основан на интенсивной турбулизации потока, которое происходит за счет вращения шнекового рабочего колеса. Вращение рабочих

колес обеспечивает нарушение сплошности перекачиваемого потока, а следовательно разрушение крупных газовых включений. На выходе из устройства формируется мелкодисперсная газожидкостная смесь [3].

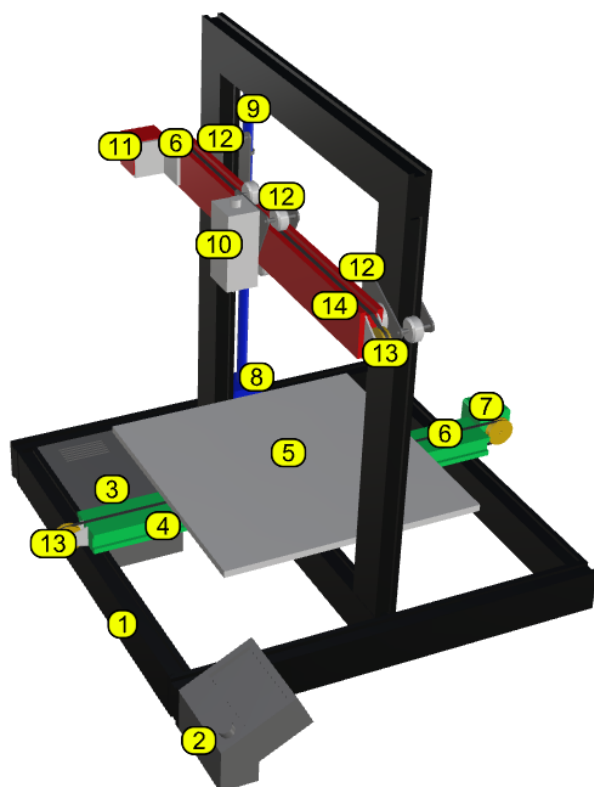


1 – шнек; 2 – рабочие колеса; 3 – направляющие аппараты.

Рисунок 1 – Диспергатор

Изготовление макета диспергатора

Для изготовления макета исследуемой конструкции диспергатора использовалась технология печати методом послойного наплавления. Суть данного метода заключается в послойном наложении полурасплавленного термопластического материала по программно-заданной траектории с его дальнейшей кристаллизацией. Использовался 3D-принтер Creality 3D Ender 3 (рисунок 2). Элементы проточной части были изготовлены из возобновляемого полимера, мономером которого является молочная кислота. Механические характеристики приведены в таблице 1 [4].



- 1 – рама;
- 2 – пульт управления;
- 3 – блок контролеров;
- 4 – балка оси Y;
- 5 – рабочая поверхность;
- 6 – ременная передача;
- 7 – шаговый двигатель оси Y;
- 8 – шаговый двигатель оси Z;
- 9 – винтовая направляющая оси Z;
- 10 – экструдер;
- 11 – шаговый двигатель оси X;
- 12 – роликовая каретка;
- 13 – оттяжной ролик;
- 14 – балка оси X

Рисунок 2 – Технологическая схема FDM-принтера

Таблица 1 – Механические характеристики PLA-пластика [5]

Характеристика	Единица измерения	Числовое значение
Прочность на растяжение	МПа	59
Относительное удлинение	%	7
Модуль упругости	МПа	3500
Модуль сдвига	МПа	1287
Коэффициент поперечной деформации	-	0,36
Предел текучести	МПа	70
Сопротивление изгибу	МПа	106
Температура изгиба под нагрузкой	°C	55

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks 2021 была построена трехмерная модель диспергатора. Выполнен статический анализ для выбранного материала с рабочим давлением 0,3 МПа. Наибольшие нагрузки и перемещения наблюдаются во втором направляющем аппарате (рисунок 3). Условие прочности выполняется, что говорит нам о корректности выбора материала.

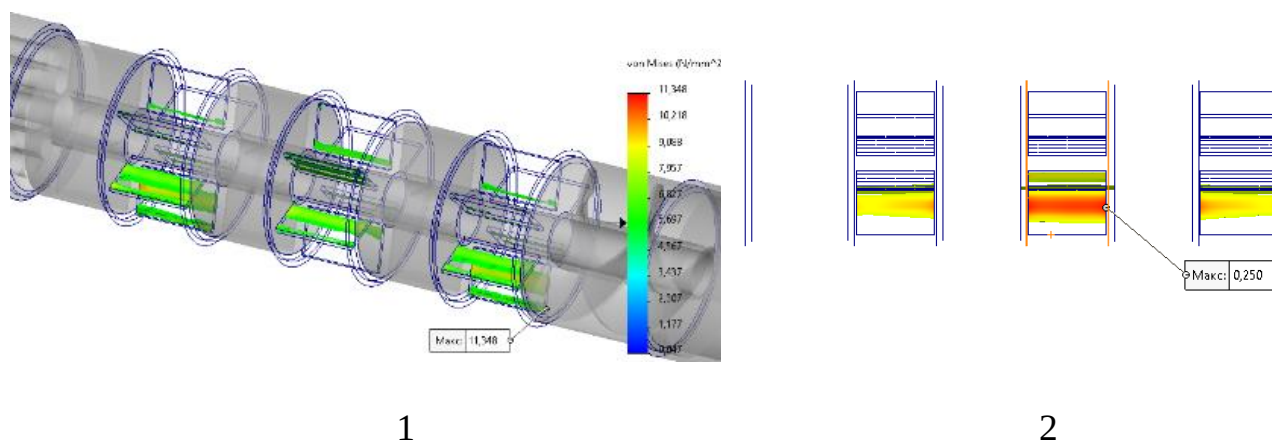


Рисунок 3 – Статический анализ конструкции диспергатора

После была подготовлена управляющая программа для изготовления элементов проточной части. В программе задаются настройки печати.

На рисунке 4 приведены готовые элементы проточной части диспергатора для проведения стендовых исследований.

Проведение стендовых испытаний их сопоставление с численными

Все испытания были выполнены на сертифицированном стенде) УНГВ-1 соответствует требованиям ТУ 4271-001-77072790.

По результатам испытаний макета газостабилизирующего устройства выявлено:

1) выбранный термопластический материал, из которого изготовлены элементы проточной части, удовлетворяет своими физическими и химическими свойствами для стендовых испытаний на частоте вращения $n=3000$ об/мин и при перекачивании модельной жидкости: вода $\left(\rho_1 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$ + воздух $\left(\rho_2 = 1,2754 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$;

2) изготовленные детали не требовали дополнительных доработок в ходе сборки и разборки системы, в процессе проведенных испытаний сопряжение деталей не было нарушено;

3) конструкция выполняет свои функции и способна создавать положительный перепад давления dP в диапазоне подач $Q = 0 \div 100 \text{ м}^3/\text{сутки}$ на высоком газосодержании на входе $\beta = 50 \%$.



Рисунок 4 – Готовые детали газостабилизирующего устройства



Рисунок 5 – Элементы проточной части после трех этапов испытаний

Полученные результаты численных исследований имеют удовлетворительную сходимость со стендовыми значениями. Значения относительных погрешностей приведены в таблице 3

Таблица 3 - Погрешности численного расчета в «SolidWorks Flow Simulation»

№	1	2	3	4	5
Q , м ³ /сутки	130	177	198	223	263
δ_1 , %	22	10	17	16	3

Выводы и результаты

Мы можем сделать вывод, что приведенный подход в производстве опытных образцов пригоден для проведения гидравлических стендовых испытаний. Преимуществами являются дешевизна и скорость изготовления элементов (Таблица 4). Мы можем подойти к изготовлению опытного образца из металла более подготовленными, так как все конструктивные решения влияющие на процесс перекачивания будут отработаны на пластиковых образцах.

Список использованной литературы

1. Ивановский В. Н., Дарищев В. И., Сабиров А. А., Каштанов В. С., Пекин С. С. Оборудование для добычи нефти и газа: В 2 ч. – М: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – Ч. 1. – 768 с.
2. Ивановский В. Н. и др. Методика определения эффективности диспергаторов газожидкостной смеси в составе установки электроприводного центробежного насоса (УЭЦН) //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. – №. 6. – С. 22-24.
3. Анализ численных и физических экспериментов роторного газосепаратора условного "2А" габарита / В. В. Муленко, Р. М. Шайхулов, Т. Р. Долов [и др.] // ПРОнефть. Профессионально о нефти. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 129-135.
4. Трошин А. А., Захаров О. В. Обзор технологических возможностей fdm-3d принтеров // Современные материалы, техника и технологии. – 2020. – №1 (28).
5. Farah, Shady, et al. "Physical and Mechanical Properties of PLA, and Their Functions in Widespread Applications — A Comprehensive Review." Advanced Drug Delivery Reviews. – vol. 107, Dec. – 2016, pp. 367–92.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF MANUFACTURING OF ELEMENTS OF ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMPS FOR BENCH TESTS

Kharisov Emil Timurovich, postgraduate student, first course
National University of Oil and Gas «Gubkin University»

Annotation. *The work was carried out at the Department of Machines and Equipment of Oil and Gas Industry in Gubkin Russian State University of Oil and Gas under the supervision of Dolov Temir Ruslanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. This paper proposes an approach that can be applied in the design and research of electrical submersible pump. The object of the research is a disperser for installation of an electrical submersible pump. The process of manufacturing a mock-up of this type of equipment using additive technologies is described. The results of bench studies and their comparison with numerical studies of the given design of the disperser are given.*

Keywords: *electrical submersible pump, disperser, additive technologies, 3D printer, thermoplastic material layer-by-layer surfacing method, bench tests, numerical studies.*

СЕКЦИЯ 2



«МЕХАНИКА И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОВ И АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ»

ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАСКАДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Ахватов Дмитрий Александрович, студент бакалавриата, 2 курс

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Аннотация. Целью работы является выбор входных переменных уровней варьирования для котельной при автоматизации и создании каскадного управления. Результатом является проведение априорного ранжирования факторов путем планирования эксперимента при исследовании системы автоматизации котельной установки. По завершению построили матрицу, диаграмму рангов и сделали вывод о проделанной работе. Работа выполнена на кафедре систем автоматизации производства ОГУ под руководством директора Аэрокосмического института Сергеева Александра Ивановича, доктора технических наук, профессора кафедры систем автоматизации производства.

Ключевые слова: ранжирование факторов, каскадное регулирование, матрица рангов, диаграмма рангов.

Код и рубрика: 50.00.00 Автоматика. Вычислительная техника

Метод формализации и ранжирования заключается в том, что эксперту по определению надежности системы предлагается присвоить числовые ранги каждому из приведенных в анкете факторов. Ранг, равный единице, приписывается наиболее важному, по мнению эксперта, фактору, а ранг, равный двум, присваивается следующему по важности фактору.

Ранжирование удобно применять в следующих ситуациях:

- 1) когда необходимо упорядочить какие-либо объекты во времени или пространстве;
- 2) когда нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется его точное измерение;
- 3) когда какое-либо качество в принципе измеримо, однако в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера.

Порядковая шкала, получаемая в результате ранжирования, должна удовлетворять условию равенства числа рангов N числу ранжируемых объектов. Иногда возникает ситуация, когда эксперт затрудняется провести четкое разграничение между некоторыми факторами. В этом случае вводятся так называемые стандартизованные или связанные ранги.

Целью статьи является выбор входных переменных уровней варьирования для котельной при автоматизации и создании каскадного управления.

Для достижения цели предполагается решение следующих задач:

- 1) определить входные параметры (факторы) и требования, предъявляемые к ним;

2) осуществить формализацию и ранжирование параметров котельной установки.

Объектом исследования является котельная установка, где при помощи каскадного управления происходит процесс регулирования температуры согласно температурного графика. Система каскадного регулирования предназначена для автоматического изменения заданной температуры в теплоносителе, которое осуществляется при помощи логической программы на основе каскадного регулирования трехходовым смесительным клапаном, который подмешивает часть воды из обратного трубопровода в подающий. Управление трехходовым клапаном осуществляется от контроллера [1]. Система каскадного регулирования разработана с такими логическими условиями, при которых отклонения от температурного графика не достигается более пяти градусов, данное условие достигнуто написанием макросов в логической программе, которая в свою очередь проводит анализ поступающих данных о тепловом режиме в контуре и температуре окружающей среды. Далее система рассчитывает по формулам необходимое количество рабочих тепловых агрегатов и сразу после расчета подает сигнал на запуск агрегатов. После пуска происходит процесс отслеживания инерционности увеличения температуры при заданном временном диапазоне, если же инерционности недостаточно, то по истечении заданного времени подключается в автоматическом режиме резервный котел для достижения требуемой мощности. Когда достигаются максимальные показатели, происходит процесс регулирования трехходовым клапаном для достижения более точной температурной настройки для потребителя. После достижения заданной температуры каждый тепловой агрегат начинает производить плавную остановку и переходить в режим ожидания получения сигнала [2, 3].

Для оценки работы эффективности котельной нужно определить достоверность выполнения температурного графика, где на точность соблюдения заданных значений теплоносителя влияют следующие факторы [4]:

1) m – количество переходов между алгоблоками в выражениях логической программы;

2) $T_{отр}$ – время срабатывания при поступлении команды (максимальная заводская задержка исполнительного механизма в секундах);

3) $T_{всп}$ – вспомогательное время при переходе на резерв (временной интервал в секундах который будет затрачен для перехода на резерв в случае отказа);

4) R – количество тепловых агрегатов в системе (для расчета надежности и вероятности наработки на отказ);

5) $t_{раб}$ – время достижения до заданного значения температурного графика (время в секундах за которое система в полностью исправном состоянии достигнет заданных значений);

6) $t_{сраб}$ – время полного открытия/закрытия клапана после поступления сигнала (временной интервал в секундах, установленный заводом-изготовителем у исполнительного механизма при полном рабочем цикле открытия/закрытия).

Факторы системы автоматизации технологического процесса котельной установки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы системы автоматизации технологического процесса котельной установки

Наименование и обозначение факторов	Уровень варьирования					Интервал варьирования
	-2	-1	0	+1	+2	
1	2	3	4	5	6	7
m- количество переходов в логических выражениях логической программы (x_2)	3	5	7	9	11	2
$T_{отр}$ – время срабатывания при поступлении команды мин (x_3)	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	0,2
$T_{всп}$ – вспомогательное время при переходе на резерв, мин (x_4)	0,5	1	1,5	2,0	2,5	0,5
R – количество тепловых агрегатов в системе (x_5)	1	2	3	4	5	1
$t_{раб}$ – время достижения до заданной температуры температурного графика, мин (x_9)	1	3	5	7	9	2
$t_{сраб}$ – время полного открытия/закрытия клапана после поступления сигнала, мин (x_9)	0,6	0,8	1	1,2	1,4	0,2

При оценке эффективности автоматизации управления котельной были приглашены пять экспертов организации, которые определили восемь факторов. Матрица рангов представлена в таблице 2.

Для оценки эффективности выполнены расчеты суммы рангов квадратичного отклонения коэффициента конкордации.

Среднюю суммы рангов T по формуле:

$$T = \frac{24+16+16++10+29+20+31+34}{8} = 22,5. \quad (1)$$

Таблица 2 –Матрица рангов

Эксперты (m=5)	Факторы (к=8)							
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
1	5	4	1	2	8	3	6	7
2	5	1	3	2	7	4	8	6
3	4	2	3	1	6	5	7	8
4	5	1	3	2	7	4	8	6
5	5	8	6	3	1	4	2	7
$\sum_{i=1}^m a_{ij}$	24	16	16	10	29	20	31	34
Δ_j	1,5	-6,5	-6,5	-12,5	6,5	-2,5	8,5	11,5
Δ_j^2	2,25	42,25	42,25	156,25	42,25	6,25	72,25	132,25

Сумму квадратов отклонений S по формуле:

$$S = 2,25+42,25+42,25+156,25+42,25+6,25+72,25+132,25=496. \quad (2)$$

Коэффициент конкордации ω определяется по следующей формуле:

$$\omega = \frac{12*496}{25(512-8)}=0,472. \quad (3)$$

Определение значения χ^2 -критерия ($X_{и}$ -квадрат) по формуле:

$$\chi^2 = \frac{12*496}{5*8*9}=16,5. \quad (4)$$

Так как величина коэффициента конкордации равна 0,472 существенно отличается от нуля, то можно считать, что между мнениями экспертами имеется существенная связь. Тем не менее, эксперты неодинаково ранжируют факторы (найденное значение ω отличается от единицы) [5].

В связи с тем, что табличное значение χ^2 -критерия меньше расчетного, с доверительной вероятностью 95 % можно утверждать, что мнение экспертов относительно степени влияния факторов согласуется в соответствии с коэффициентом конкордации $\omega=0,472$. Диаграмма рангов представлена на рисунке 1.

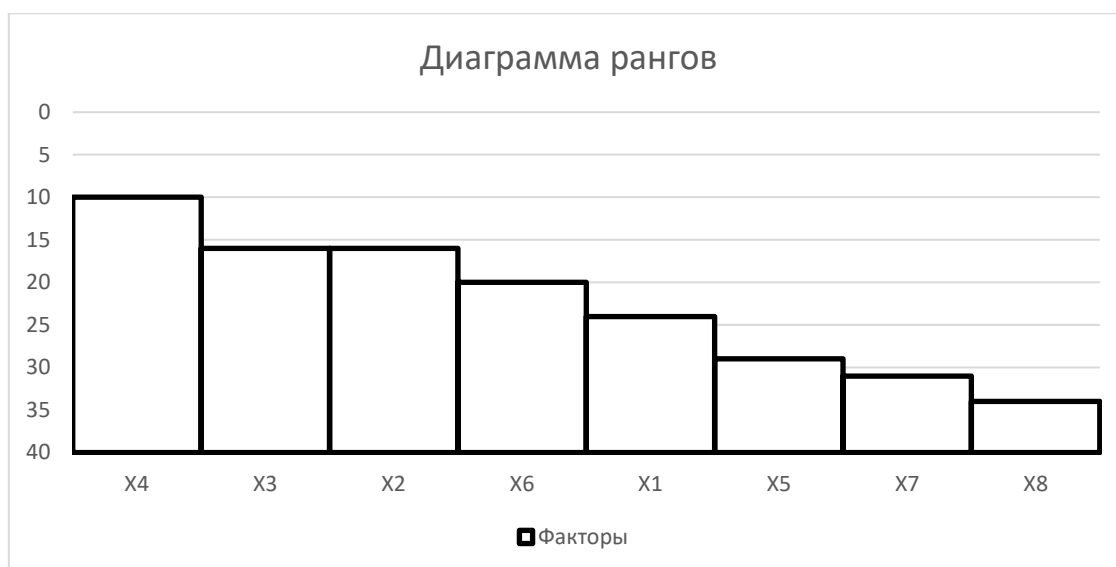


Рисунок 1 – Диаграмма рангов

Таким образом, мы провели априорное ранжирование факторов путем планирования эксперимента при исследовании системы автоматизации котельной установки, где можно с доверительной вероятностью 95 % можно утверждать, что мнение исследователей относительно степени влияния факторов согласуется в соответствии с коэффициентом конкордации $\omega=0,472$. Это говорит о том, что система каскадного регулирования имеет высокую надежность и разработана корректно.

Список использованной литературы

1. Автоматическое регулирование потребления тепловой энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aiss33.ru/other_fotos/auto_regulate.pdf/. (дата обращения: 29.01.2024).
2. Общие требования к автоматизации и регулированию систем отопления и ГВС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vzljot.ru/files/publications/015.pdf> (дата обращения: 29.01.2024).
3. Автоматическое регулирование потребления тепловой энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aiss33.ru/other_fotos/auto_regulate.pdf/ (дата обращения: 29.01.2024).
4. Марьяндышев, П. А. Численное моделирование топочного процесса низкоэмисионного вихревого котла / П. А. Марьяндышев, А. А. Чернов, В. К. Любов // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 7 – С. 59-66
5. Математические модели неопределённостей систем управления и методы, используемые для их исследования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340> (дата обращения: 29.01.2024).

FORMALIZATION AND RANKING OF FACTORS IN EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF CASCADE BOILER CONTROL

Dmitry A. Akhvatov, undergraduate student, 2nd year

Orenburg State University

Annotation. *The purpose of the work is to select input variable levels of variation for the boiler room during automation and creation of cascade control. The result is an a priori ranking of factors by planning an experiment in the study of the automation system of a boiler plant. Upon completion, we built a matrix, a rank diagram and concluded about the work done. The work was carried out at the Department of Production Automation Systems of OSU under the supervision of Alexander Sergeev, Director of the Aerospace Institute, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production Automation Systems.*

Keywords: *factor ranking, cascade regulation, rank matrix, rank diagram.*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ LiDAR ДЛЯ САМОХОДНОЙ ПЛАТФОРМЫ В УСЛОВИЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАБОТ

Блинов Дмитрий Олегович, аспирант 1 курса

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России
Б. Н. Ельцина
г. Екатеринбург

Аннотация. В исследовании рассматриваются перспективы применения системы LiDAR для самоходных платформ в подъемно-транспортном машиностроении. Системы LiDAR открывают новые горизонты в области навигации, точного позиционирования и предотвращения столкновений для самоходных платформ. Анализ возможностей применения LiDAR на таких платформах становится ключевым для дальнейшего развития и совершенствования автоматизированных транспортных средств и робототехнических комплексов. Исследование подчеркивает важность точной и эффективной навигационной технологии в условиях горнодобывающих работ, где безопасность и точность имеют первостепенное значение. В то же время, преобладающее количество недостатков, описанных в работе, обуславливают нецелесообразность внедрения системы лидаров в устройство самоходной платформы, задействованной в горнодобывающих работах. Работа выполнена на кафедре «Подъемно-транспортные машины и роботы» Уральского Федерального Университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина в г. Екатеринбург **под руководством Великанова В. С.**, д.т.н., доцента кафедры «Подъемно-транспортные машины и роботы».

Ключевые слова: LiDAR, Самоходная платформа, Автоматизация, Навигация, Эффективность автоматизированных систем.

Код и рубрика: 73.00.00 Транспорт

В современной индустрии подъемно-транспортного машиностроения и его автоматизации происходят стремительные технологические изменения, предоставляющие уникальные возможности для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности автоматизированных систем. Одним из наиболее перспективных направлений является использование систем LiDAR для самоходных платформ, что открывает новые горизонты в области навигации, точного позиционирования и предотвращения столкновений. Изучение и анализ возможностей применения LiDAR на таких платформах приобретают особую актуальность и значимость для дальнейшего развития и совершенствования автоматизированных транспортных средств и робототехнических комплексов.

Целью данного исследования является обзор возможностей использования системы LiDAR в контексте самоходной платформы и оценка потенциала данной

технологии для улучшения навигации, точного позиционирования и предотвращения столкновений. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: проведение краткого обзора устройства и работы системы LiDAR, а также ее основных характеристик и функциональных возможностей; оценка возможности интеграции системы LiDAR в конструкцию самоходной платформы; выявление преимуществ и недостатков использования лазерного локатора.

LiDAR (Light Detection And Ranging) представляет собой устройство компьютерного зрения, основанное на сенсорной технологии, которая определяет дальность светового источника благодаря создаваемой и постоянно обновляемой карте среды вокруг. Датчики системы излучают инфракрасный свет и измеряют время, за которое световой сигнал, излучаемый лазерным диодом, отражается от объекта и возвращается к фотодиоду, формируя трехмерную карту. Большинство лидаров, установленных в беспилотных автомобилях, основаны на технологии частотной модуляции непрерывных волн (FMCW)¹. Процесс модуляции основывается на передаче сигнала, который в зависимости от определенных условий «калибрует» более-менее стабильную частоту по схеме треугольников, которая как раз определяет расстояние до объекта. Радар, работающий на базе системы LiDAR, использует также эффект Доплера для непосредственного наблюдения относительной скорости цели по отношению к датчику [5]. Все вышеперечисленное позволяет сказать, что лидар представляет собой высокоточное и надежное устройство, довольно часто применяемое в беспилотных автомобилях в качестве ключевого элемента в их развитии и популяризации.

Стоит отметить, что несмотря на определенные сходства между беспилотным автомобилем и самоходной платформой, включая использование навигационных средств, автономность системы, последовательность действий и пр., уровень возможности интегрирования лидаров в системы в значительной степени разнится. Оценка возможности интеграции системы LiDAR в конструкцию самоходной платформы является ключевым этапом в разработке современных автоматизированных транспортных средств, особенно в условиях шахт, где безопасность и точность имеют первостепенное значение. Самоходные платформы в шахтах используются для перевозки материалов и оборудования, и их надежная работа в сложных и ограниченных пространствах требует передовых технологий навигации. В рамках данной оценки необходимо учитывать технические характеристики и совместимость LiDAR с другими компонентами платформы. Особое внимание необходимо уделять точности и дальности сканирования, а также способности системы эффективно функционировать в различных условиях окружающей среды.

Одним из важнейших преимуществ использования лидаров в деятельности самоходных платформ является их способность создавать детализированные трехмерные карты, существенно повышающие безопасность и эффективность платформ во время горношахтных работ. Кроме того, высокоточная технология

¹ FMCW radar – Frequency-Modulated Continuous Wave radar.

частотной модуляции непрерывных волн (FMCW) позволяет измерять значения ToF^2 в пикосекундном диапазоне (эквивалентно расстоянию в субмиллиметрах) [4], что опять же обеспечивает высокую точность определения расстояний до объектов, которая является особенно важным компонентом в движении самоходных платформ в условиях ограниченной маневренности. Лидар становится особенно полезным устройством в шахтах для обнаружения статичных и динамичных объектов, идентифицируя их геометрию в 3D [3]. Одним из наиболее важных аргументов в пользу включения радиолокационного зондирования в устройство автономных платформ является то, что, по мнению китайского исследователя Дж. Джоу, на деятельность лидаров никак не влияет свет и плохие условия (включая повышенную влажность). Так, в очень неблагоприятных условиях радар способен определять препятствия на расстоянии до 250 м без каких-либо помех и помощи иных датчиков [5].

Однако, в то же время, ряд исследователей, в частности, Дж. Ким, считают, что плохие условия видимости в значительной степени снижают эффективность работы лидара. В ходе экспериментов было выяснено, что результативность обнаружения LiDAR во время дождя и тумана «уменьшается при ухудшении погодных условий» [2], что автоматически опровергает суждение Дж. Джоу и становится одним из наиболее существенных недостатков. Кроме того, логичным замечанием становится то, что лидары имеют высокую чувствительность к отражательной способности цели. Например, металл способен усиливать отражаемые сигналы для обнаружения препятствий и увеличивать размер мелких предметов, однако в то же время иные материалы (дерево и пр.) практически прозрачны на карте окружающей среды, создаваемой датчиками. Это, в свою очередь, может привести к обнаружению несуществующих или малозначительных препятствий и наоборот, что так же является существенным минусом в контексте горношахтных работ. Устройство наиболее дорогостоящих лидаров в наше время иногда позволяет улучшить степень обнаруживаемости объектов даже с низкой отражательной способностью, однако весомая проблема появляется при увеличении расстояния между датчиком и целью. Здесь стоит указать необходимость улучшения системы пространственного разрешения луча радара в зависимости от его характеристик. Необработанное угловое разрешение в цифровых системах формирования луча составляет в диапазоне 2–5 градусов, которое можно улучшить до 0,1–1 градуса с помощью передовых методов обработки [5], и начать активное внедрение системы LiDAR в самоходные платформы в течение десяти лет. Однако, даже при удачном раскладе, в случае массового внедрения лидаров в работу самоходных платформ в шахтах возможны сбои в их деятельности в силу унифицированной системы визуализации. Датчики каждой из платформ в данных условиях должны иметь уникальную схему частоты импульсов и волн для того, чтобы источник одного транспортного средства «не инициировал обнаружение других транспортных средств в окрестностях» [1]. Все это скажется

² Time-of-Flight (ToF) - метод измерения расстояния между датчиком и объектом, основанный на разнице во времени между излучением светового сигнала и его возвратом после отражения от объекта.

еще на двух составляющих-недостатках – на дороговизне и трудоемкости по времени. Внедрение более чувствительных детекторов и иного оборудования, оснащающего лидары, требует больших денежных затрат и временных издержек при условии их ремонта или замены.

Таким образом, проведенный анализ показал, что использование системы LiDAR значительно повышает уровень безопасности и точности навигации самоходных платформ в ограниченных условиях, обеспечивая относительно точное обнаружение препятствий и оптимизацию маршрутов. Однако в то же время, ряд недостатков, включающий в себя снижение эффективности в условиях плохих условий видимости, высокую чувствительность к отражательным характеристикам объекта, необходимость затратного в денежном и временном планах процесса улучшения необработанного разрешения формирования луча, а также внедрения уникальных схем частоты импульсов и волн, обуславливает нецелесообразность внедрения использования системы радиолокационного зондирования в устройство самоходной платформы. Система LiDAR открывает новые горизонты в навигации, но требует дальнейшего совершенствования для оптимального применения на самоходных платформах, особенно в условиях горнодобывающих работ.

Список использованной литературы

1. Kim G., Eom J., Choi J, Park Y. Mutual Interference on Mobile Pulsed Scanning LIDAR // IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications. – 2017. – Vol. 12. – No. 1. – P. 43–62.
2. Kim J., Park B., Kim J. Empirical Analysis of Autonomous Vehicle's LiDAR Detection Performance Degradation for Actual Road Driving in Rain and Fog // Sensors. – 2023. – Vol. 23. – No. 6. – P. 1–26.
3. Li Y., Ibanez-Guzman J. Lidar for Autonomous Driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems // IEEE Signal Processing Magazine. – 2020. – Vol. 37. – No. 4. – P. 50–61.
4. Royo S., Balesta-Garcia M. An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9. – No. 19. – P. 1–36.
5. Zhou J. A Review of LiDAR sensor Technologies for Perception in Automated Driving // Academic Journal of Science and Technology. – 2022. – Vol. 3. – No. 3. – P. 255–261.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING LIDAR SYSTEM FOR A SELF-PROPELLED PLATFORM IN MINING CONDITIONS

Blinov Dmitry Olegovich, first-year PhD student

*Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
Yekaterinburg*

Abstract. *The study covers the prospects of using LiDAR systems for autonomous platforms in the field of lifting and transport engineering. LiDAR systems open new horizons in navigation, precise positioning, and collision avoidance for self-propelled platforms. Analysing the potential application of LiDAR in such platforms is crucial for the further development and improvement of automated vehicles and robotic systems. The research highlights the importance of accurate and efficient navigation technology in mining operations, where safety and precision are of paramount importance. At the same time, the numerous drawbacks described in the study make the implementation of LiDAR systems in autonomous platforms for mining operations impractical. The work was carried out at the Department of «Lifting and Transport Machines and Robots» of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin in Yekaterinburg, under the supervision of V. S. Velikanov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Lifting and Transport Machines and Robots».*

Keywords: *LiDAR, Self-Propelled Platform, Automation, Navigation, Efficiency of automated systems.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ БДПТ НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ SIMINTECH

Масанов Петр Алексеевич, магистрант, 2 курс

*Ижевский государственный технический университет имени
М.Т. Калашикова*

Аннотация. Для выявления влияния дефектов БДПТ на его характеристики на основе моделирования в среде *SimInTech* разработана математическая модель БДПТ, имитационная модель БДПТ и проведены вычислительные эксперименты для исследования влияния дефектов БДПТ на его характеристики на основе моделирования в среде *SimInTech*. Работа выполнена на кафедре Мехатронные системы ИжГТУ имени М.Т. Калашикова **под руководством Никитина Юрия Рафаиловича**, кандидата технических наук, доцента кафедры Мехатронные системы ИжГТУ имени М.Т. Калашикова.

Ключевые слова: виртуальный стенд, электрический привод, моделирование.

Код и рубрика: УДК 621.3:007; 621.3:001.891.57

В настоящее время развивается индустрия 4.0. Индустрия 4.0 характеризуется ростом автоматизации производства с использованием информационных систем. Развивается использование информационных и цифровых двойников каких-либо материальных объектов [1].

Виртуальный стенд представляет собой своего рода графически представленный тематический материал, который, в свою очередь, внешне реализован линейно в двумерной плоскости [2].

Существуют следующие методы диагностики БДПТ [3-5]:

- 1) вибродиагностика;
- 2) анализ внешних электромагнитных полей;
- 3) тепловизионная диагностика;
- 4) диагностика состояния изоляции;
- 5) анализ электрических параметров электродвигателя (электрического тока и напряжения)
- 6) анализ с применением нейронных сетей.

В данной статье предлагается к рассмотрению методика диагностики на нечёткой логики [6-8].

Преимущества построения систем на основе нечёткой логики:

- 1) возможность формализации, анализа и обработки неточной исходной информации;
- 2) наличие математического аппарата для организации вычислений и логического вывода в условиях такой информации;

3) возможность построения моделей сложных систем на качественном, понятийном уровне, отражающих принципы функционирования системы.

Далее, в данной статье приводится математическая модель БДПТ, его имитационная модель с диагностикой на основе нечеткой логики [9-11].

Система диагностики построена на фаззификации Гаусса и нечётком выводе Гаусса [12,13].

Математическая модель БДПТ представлена дифференциальными и алгебраическими уравнениями, которыми описываются электромагнитные и электромеханические процессы в БДПТ [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_A = (\frac{k}{T_{p+1}})(2U_A - U_B - U_C + \psi_f Z_p \omega_R (E_{1B} + E_{1C} - 2E_{1A})) \\ I_B = (\frac{k}{T_{p+1}})(2U_B - U_C - U_A + \psi_f Z_p \omega_R (E_{1C} + E_{1A} - 2E_{1B})) \\ I_C = (\frac{k}{T_{p+1}})(2U_C - U_B + \psi_f Z_p \omega_R (E_{1A} + E_{1B} - 2E_{1C})) \\ T = \frac{L_\phi - L_{\phi\phi}}{R_\phi} \\ k = \frac{1}{3R_\phi} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$M_{em} = \frac{I_A E_A + I_B E_B + I_C E_C}{\omega_R}, \quad (2)$$

где U_A, U_B, U_C – напряжения на входе фаз относительно общей точки внешнего источника напряжения;

E_{1A}, E_{1B}, E_{1C} – мгновенные ЭДС в фазах;

ψ_f – амплитуда потокосцепления ротора и фазной обмотки;

R_ϕ – активное сопротивление фазной обмотки;

L_ϕ – индуктивность фазной обмотки;

$L_{\phi\phi}$ – взаимная индуктивность двух фазных обмоток;

ω_R – скорость вращения ротора;

Z_p – число пар полюсов двигателя;

I_A, I_B, I_C – токи фаз;

M_{em} – электромагнитный момент двигателя.

Ниже, на рисунке 1, представлена разработанная имитационная модель виртуального стенда с диагностикой на основе нечёткой логики виртуального стенда БДПТ в среде SimInTech.

Разработанная имитационная модель представляет собой виртуальный стенд с диагностикой вращающего момента и скорости БДПТ на основе нечёткой логики [14–23]. В данной модели применяется фазификация Гаусса, нечёткий вывод производится с помощью Гауссовой функции.

Ниже, на рисунке 2, представлены результаты моделирования работы разработанной модели для двигателя со следующими значениями характеристик обмотки ротора:

$\psi_f = 0,4 \text{ Вб}$ – амплитуда потокосцепления ротора и фазной обмотки;
 $R_\phi = 16 \text{ Ом}$ – активное сопротивление фазной обмотки;
 $L_\phi = 0,0002 \text{ Гн}$ – индуктивность фазной обмотки;
 $Z_p = 2$ – число пар полюсов двигателя.

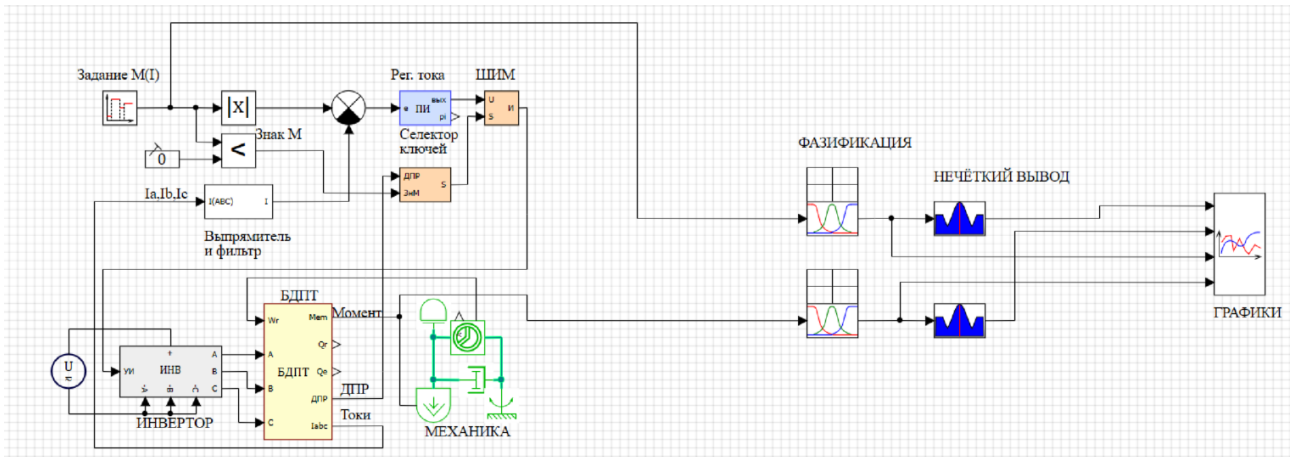


Рисунок 1 – Разработанная имитационная модель БДПТ

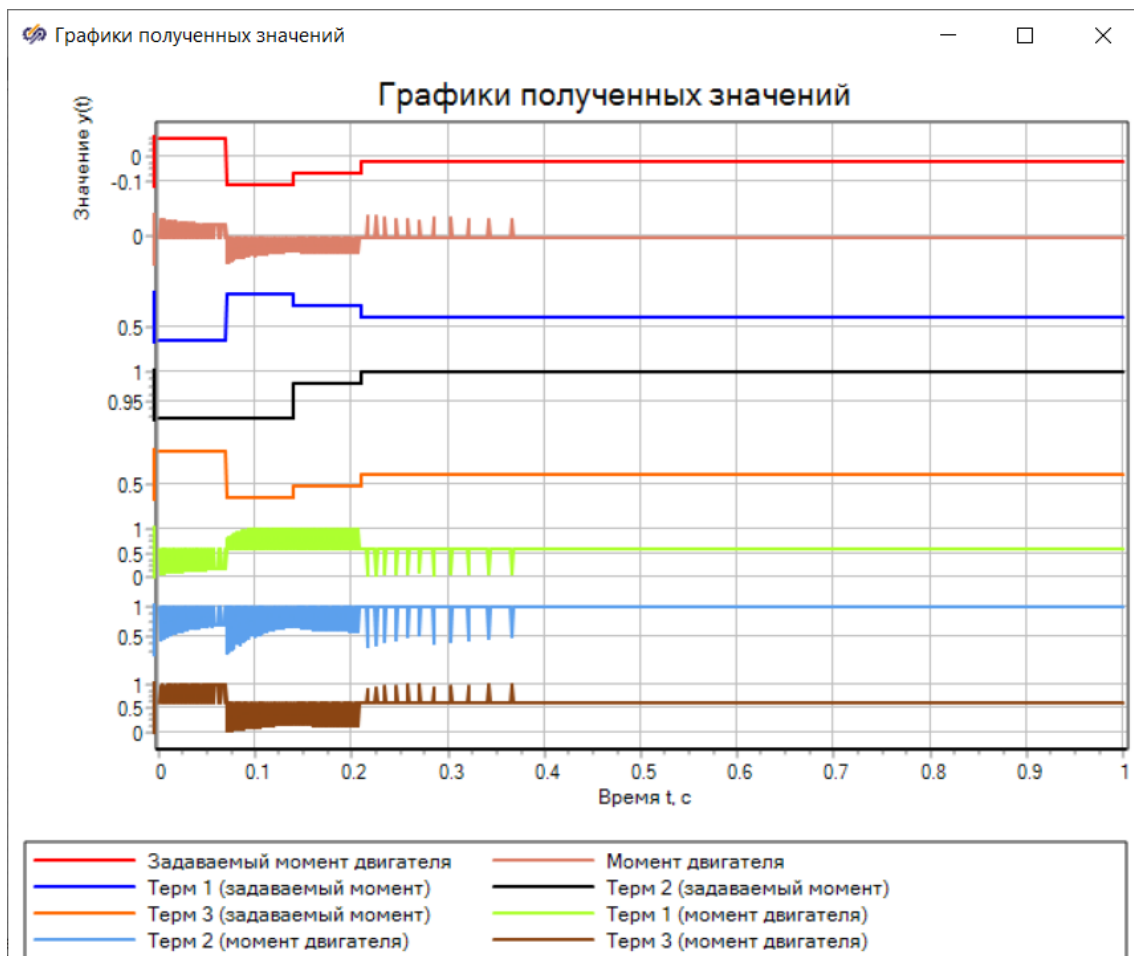


Рисунок 2 – Результаты моделирования

В качестве моделируемых дефектов были выбраны дефекты обмотки статора, повышающие сопротивление обмотки статора. Их моделирование происходит с помощью изменения сопротивления обмотки статора на виртуальном стенде.

Для моделирования дефекта обмотки статора БДПТ были выбраны следующие значения характеристик обмотки статора:

- 1) $R_{\phi} = 32 \text{ Ом}$;
- 2) $R_{\phi} = 64 \text{ Ом}$.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты моделирования работы БДПТ с дефектом обмотки статора.

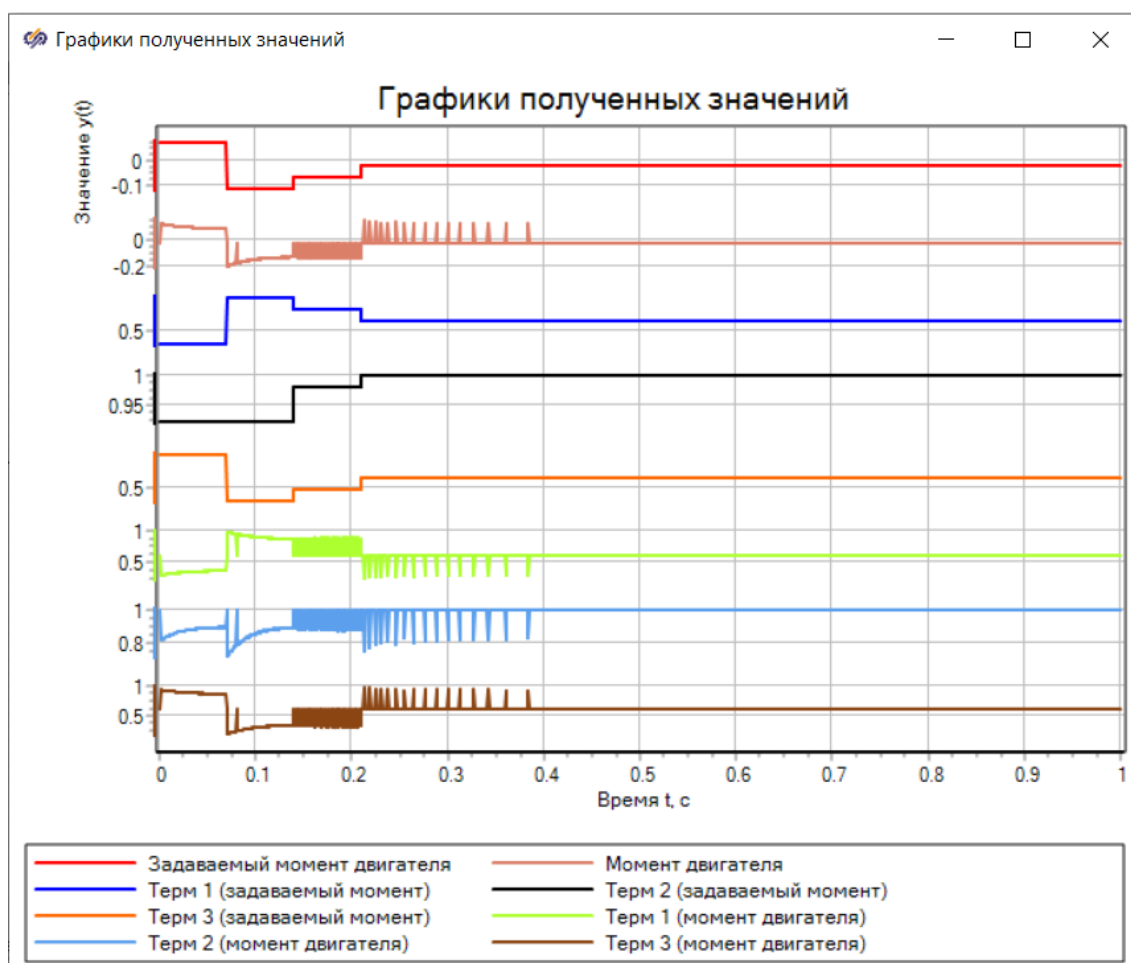


Рисунок 3 – Результаты моделирования с $R_{\phi} = 32 \text{ Ом}$

Анализируя полученные данные на рисунках 2, 3 и 4, можно выделить закономерность в фаззификациях и нечётких выводах моментов при изменении сопротивления обмотки статора и на основании этого предугадывать поведение БДПТ в реальных условиях. Следовательно, можно выделить аналогичные закономерности изменения фаззификаций и нечётких выводов моментов при моделировании дефектов различных БДПТ путём изменения значений их характеристик.

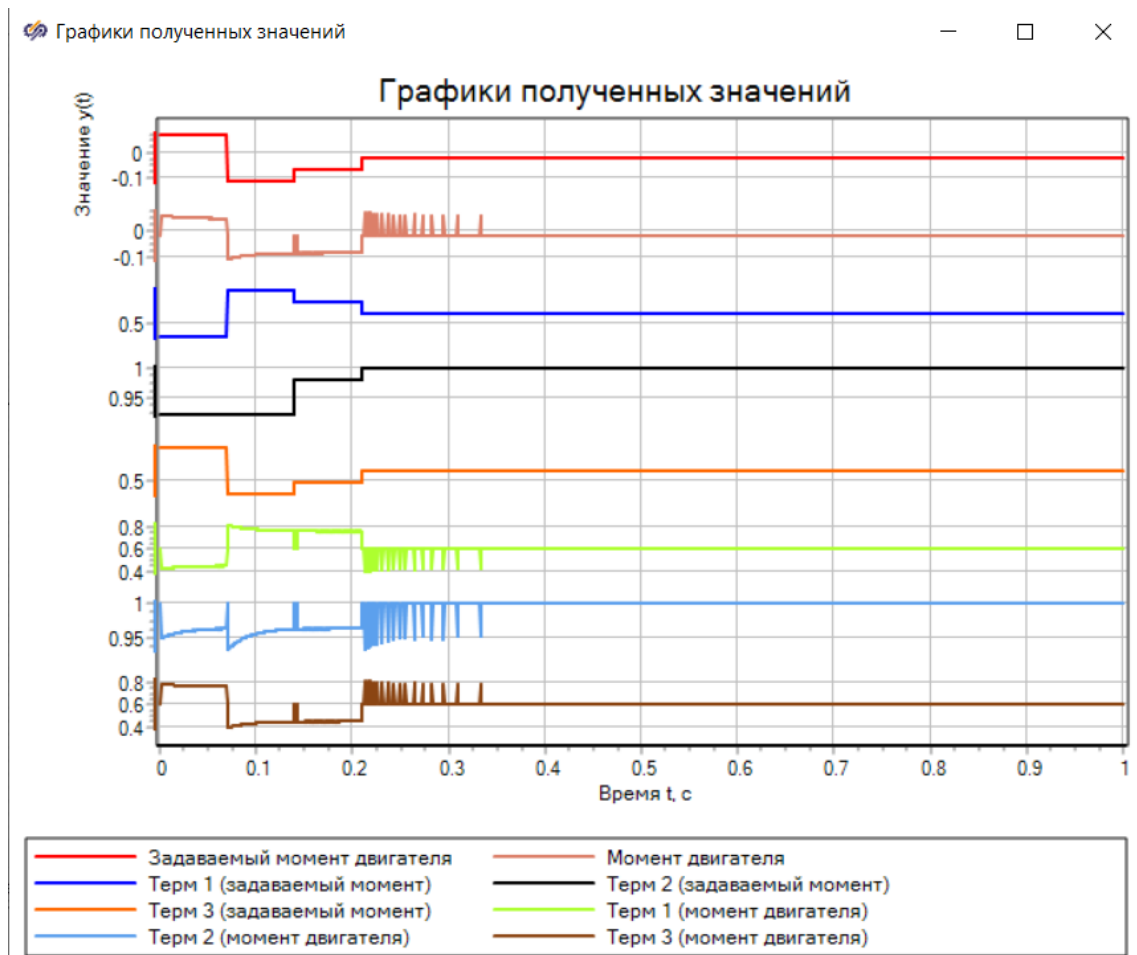


Рисунок 4 – Результаты моделирования двигателя с $R_{\phi} = 64 \text{ Ом}$

Список использованной литературы

1. Luo, H. Plug-and-Play Monitoring and Performance Optimization for Industrial Automation Processes, – 2017. – 158 p. – DOI 10.1007/978-3-658-15928-3.
2. Масанов, П. А. Разработка виртуального стенда для исследования электрического привода [Электронный ресурс]./ П. А. Масанов, Ю .Р. Никитин // III Всероссийская научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации» : сборник трудов конференции. – Белебей, СамГТУ, 2022. – 340 с. – С. 21-23.
3. Калачев Ю.Н. «SimInTech»: моделирование в электроприводе. – М.: ДМК Пресс, – 2019. – 90 с. – URL: <http://3v-services.com/books/978-5-97060-766-4/>.
4. Chen, H, Jiang, B, Ding, S.X. A broad learning aided data-driven framework of fast fault diagnosis for high-speed trains. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2021. – vol. 13, no. 3. – pp. 83-88. – DOI 10.1109/MITS.2019.2907629.

5. Zhou, D., Zhao, Y., Wang, Z., He, X. and Gao, M. Review on diagnosis techniques for intermittent faults in dynamic systems, *IEEE Trans. on Indus. Electronics.* – 2020. – vol. 67, No. 3. – pp. 2337–2347. – DOI [10.1109/TIE.2019.2907500](https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2907500).
6. Cheng C, Wang W, Ran G, Chen H. Data-Driven Designs of Fault Identification Via Collaborative Deep Learning for Traction Systems in High-Speed Trains. *IEEE Trans Transp Electrif.* – Vol. 8, Iss. 2, June. – 2022. – Pp. 1748–1757. – DOI [10.1109/TTE.2021.3129824](https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3129824).
7. Luo, H., Yin, S., Liu, T., and Khan, A.Q. A data-driven realization of the control-performance-oriented process monitoring system, *IEEE Trans. on Industrial Electronics.* – 2020. – vol. 67. – pp. 521–530. – DOI [10.1109/TIE.2019.2892705](https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2892705).
8. Ding, S. X. *Model-Based Fault Diagnosis Techniques - Design Schemes, Algorithms and Tools*, 2nd Edition. London: Springer-Verlag. – 2013. – DOI [10.1007/978-1-4471-4799-2](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4799-2).
9. Chen, H, Jiang, B. A review of fault detection and diagnosis for the traction system in high-speed trains. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* – 2019. – 21(2). – pp 450–465. – DOI [10.1109/TITS.2019.2897583](https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2897583)
10. Zhong, M., Xue, T., Ding, S.X. A survey on model-based fault diagnosis for linear discrete time varying systems, *Neurocomputing*, vol. 306. – pp. 51–60. – 2018. – DOI [10.1016/j.neucom.2018.04.037](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.04.037)
11. Li, L., Ding, S.X., Qiu, J., Yang Y., Xu, D. Fuzzy observer-based fault detection design approach for nonlinear processes, *IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybernetics: Systems.* – 2017. – vol. 47. – pp. 1941–1952. – DOI [10.1109/ACCESS.2019.2891741](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891741).
12. Зак, Ю. А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. – М.: «ЛИБРОКОМ», 2013. – 352 с. – ISBN 978-5-397-03451-7.
13. Chen, H., Liu, Z., Alippi, C., Huang, B., Liu, D. Explainable Intelligent Fault Diagnosis for Nonlinear Dynamic Systems: From Unsupervised to Supervised Learning, in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems.* – 2022. – DOI [10.1109/TNNLS.2022.3201511](https://doi.org/10.1109/TNNLS.2022.3201511).
14. Yang, Y., Ding, S.X., Li, L. On observer-based fault detection for nonlinear systems, *Syst. Contr. Lett.*, vol. 82. – pp. 1399–1410. – 2015. – DOI [10.1016/j.sysconle.2015.05.004](https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2015.05.004)
15. Zhou, J., Yang, Y., Zhao, Z., Ding, S.X. A fault detection scheme for ship propulsion systems using randomized algorithm techniques, *Control Engineering Practice*, vol. 81. – pp. 65–72. – 2018. – DOI [10.1016/j.conengprac.2018.09.008](https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.008).
16. Zhong, M., Zhang, L., Ding, S.X., Zhou, D. A probabilistic approach to robust fault detection for a class of nonlinear systems, *IEEE Trans. on Indus. Elec.*, vol. 64. – pp. 3930–3939. – 2017. – DOI [10.1109/TIE.2016.2637308](https://doi.org/10.1109/TIE.2016.2637308).
17. Chen, H, Jiang, B, Ding, S.X., Huang, B. Data-driven fault diagnosis for traction systems in high-speed trains: A survey, challenges, and perspectives. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* – 2020. – 23(3). – pp. 1700–1716.

18. Ding, S.X. Application of randomized algorithms to assessment and design of observer-based fault detection systems, *Automatica*. – 2019. – vol. 107. – pp. 175–182. – DOI 10.1016/j.automatica.2019.05.037.
19. Никитин, Ю. Р., Трефилов, С. А., Абрамов, А. И., Абрамов, И. В., Турыгин Ю. В., Романов А. В. Диагностирование приводов мобильных роботов на базе модели двигателя постоянного тока // *Интеллектуальные системы в производстве*. – 2018. – Том 16. – №4. – С.114–121. ISSN 1813-7911. – DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-114-121.
20. Никитин, Ю. Р. Идентифицируемость модели привода мехатронного устройства на базе двигателя постоянного тока по измерительной матрице / Ю. Р. Никитин, С. А. Трефилов, Е. В. Никитин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2019. – № 4-1 (336). – С. 114–122. – ISSN 2073-7408.
21. Трефилов, С. А., Никитин, Ю. Р. Диагностика приводов роботов на базе двигателя постоянного тока по критерию идентифицируемости нелинейной дискретной модели в пространстве состояний / С. А. Трефилов, Ю. Р. Никитин, // *Вестник УГАТУ*. – 2020. – Т. 24. – № 1 (87). – С. 103–110. ISSN 1992-6502.
22. Никитин, Ю. Р. Разработка системы диагностирования приводов мобильных роботов / Ю. Р. Никитин, С. А. Трефилов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2020. – № 4-1 (342). – С. 59–68. ISSN 2073-7408. – DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-59-67.
23. Лекомцев, П. В., Никитин, Ю. Р., Трефилов, С. А. Идентификация двигателя постоянного тока на основе квазиоптимального нелинейного алгоритма управления / П. В. Лекомцев, Ю. Р. Никитин, С. А. Трефилов // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. – 2021. – Т. 24, № 2. – С. 68–76. – DOI: 10.22213/2413-1172-2021-2-68-76.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DEFECTS IN THE BDPT ON ITS CHARACTERISTICS BASED ON SIMINTECH MODELING

Peter A. Masanov, Master's student, 2nd year

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov

Annotation. *To identify the effect of BDPT defects on its characteristics based on SimInTech modeling, a mathematical model of BDPT, a simulation model of BDPT were developed and computational experiments were conducted to study the effect of BDPT defects on its characteristics based on SimInTech modeling. The work was performed at the Department of Mechatronic Systems of M.T. Kalashnikov IzhSTU under the supervision of Yuri Nikitin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechatronic Systems of M.T. Kalashnikov IzhSTU.*

Keywords: *virtual stand, electric drive, simulation..*

СЕКЦИЯ 3



«ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ»

КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

**Гарифуллина Гульназ Ильфировна, кандидат технических наук, доцент,
Азигамов Рафаэль Ильгизович**

*Институт нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет» в г. Октябрьском*

Аннотация. В статье рассматривается проблема усталостных и коррозионно-усталостных разрушений магистральных нефтепроводов. Приведена сравнительная характеристика малоциклового и многоциклового усталости металлоконструкций. Представлена методика расчета долговечности магистрального нефтепровода в условиях циклического нагружения. Расчетными исследованиями установлено влияние концентраторов напряжений и коррозионной среды на долговечность магистрального нефтепровода.

Ключевые слова: коррозионная усталость, концентрация напряжений, сварной шов, теоретический коэффициент концентрации напряжений, коэффициент интенсивности напряжений, линейная механика разрушений, остаточный ресурс.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

Как известно, усталость металла – это процесс постепенного зарождения и развития трещин в процессе циклически изменяющихся нагрузок. При одновременном воздействии коррозионной среды и циклических нагрузок возникает коррозионная усталость

Более 90% нефтегазового оборудования, в том числе магистральные нефтепроводы, эксплуатируются в условиях усталостного нагружения [1, 2, 8]. Опасность усталостного нагружения кроется во внезапном, непредсказуемом характере разрушения оборудования. В связи с этим, нашей задачей является оценка с максимально возможной точностью усталостной и коррозионно-усталостной долговечности оборудования с целью исключения его разрушения в результате данного явления.

При оценке ресурса оборудования необходимо учитывать характер вида усталостного нагружения [3-5, 9]. По характеру изменения циклически изменяющихся нагрузок и напряжений различают основные виды циклов нагружения (рисунок 1).

В зависимости от уровня прикладываемых напряжений, частоты их изменения и усталостной долговечности различают два основных вида усталостных процессов: многоцикловая усталость и малоцикловая усталость. Принципиальные отличия этих процессов приведены в таблице 1.

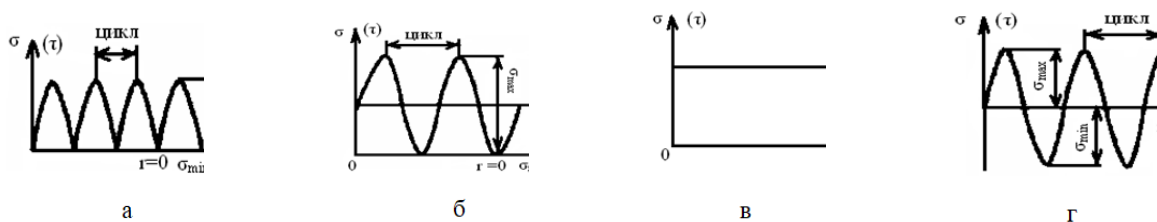


Рисунок 1 – Виды основных циклов нагружения:
а-в – асимметричные циклы; а – пульсирующий (отнулевой);
б – знакопостоянный; в – постоянная статическая нагрузка;
г – симметричный цикл

Таблица 1 – Сравнительные характеристики многоциклового и малоциклового усталости

Параметры	Многоцикловая усталость	Малоцикловая усталость
Действующее напряжение, σ	$\sigma \leq \sigma_T$	$\sigma \geq \sigma_T$
Частота нагружения, ν	$\nu > 50 \text{ мин}^{-1}$	$\nu < 50 \text{ мин}^{-1}$
Долговечность, N	$N \geq 5 \cdot 10^6$	$N \leq 5 \cdot 10^4$

К основным факторам, определяющим усталостную долговечность, относятся [6]:

- концентрация напряжений;
- влияние коррозионных сред;
- время контакта коррозионной среды с вершиной трещины.

С точки зрения расчета усталостной долговечности магистральных нефтепроводов больший интерес представляет малоцикловая коррозионная усталость. Для магистральных нефтепроводов характерны следующие особенности эксплуатации:

1) периодическое отключение перекачки в связи с переполненностью товарного парка, выхода из строя насосных агрегатов, внепланового отключения электроэнергии и т.д. При этом металл стенки трубы воспринимает один цикл усталостного нагружения: $p_{\text{раб}} - 0 - p_{\text{раб}}$;

2) в результате изменения режимов перекачки на магистральных нефтепроводах металл стенки трубы воспринимает цикл упругопластического нагружения, который реализуется на участках концентрации напряжений (риски, царапины, вмятины, сварные швы и др.). Несмотря на то, что основной металл трубы работает в области упругих напряжений и деформаций в концентраторах напряжений последние выходят за предел текучести стали, т.е. реализуется критерий малоциклового усталости ($\sigma \geq \sigma_T$);

3) несмотря на то, что магистральные нефтепроводы эксплуатируются в условиях комплексной защиты (противокоррозионная изоляция + катодная

защита), металл стенки трубопровода подвергается воздействию грунтовых электролитов в местах нарушения сплошности противокоррозионной изоляции.

В связи с вышесказанным расчет долговечности магистральных нефтепроводов в условиях усталостного нагружения следует проводить для случая малоциклового коррозионной усталости (МКУ) [7].

Основной расчетной зависимостью для определения долговечности основного металла магистрального нефтепровода в условиях МКУ является зависимость Коффина-Мэнсона-Лэнджера:

$$\varepsilon_a = \frac{1}{4} \cdot \ln \frac{1}{1-\psi} \cdot N^{-m} + \frac{\sigma_{-1}}{E}, \quad (1)$$

где ε_a – амплитуда упругопластической деформации металла стенки трубы;

ψ – относительное поперечное сужение металла при разрыве;

N – число циклов нагружения;

m – показатель степени (для сталей умеренной прочности $m=0,5$ при испытаниях на воздухе);

σ_{-1} – предел усталости ($\sigma_{-1} = (0,4-0,5)\sigma_B$);

E – модуль Юнга.

С учетом эффекта концентрации напряжений и влияния коррозионной среды зависимость (1) будет иметь вид:

$$\varepsilon_{aKH} = \frac{1}{4} \cdot \ln \frac{1}{1-\psi_{KC}} \cdot N^{-m_{KC}} + \frac{\sigma_{-1}}{E}, \quad (2)$$

где ε_{aKH} – амплитуда упругопластической деформации металла трубы в концентраторе напряжений;

ψ_{KC} – относительное поперечное сужение металла при разрыве в коррозионной среде;

m_{KC} – показатель степени (при испытаниях в коррозионной среде).

Расчетное исследование проведено для магистрального нефтепровода диаметром 1420 мм из стали 17Г1С с толщиной стенки 10 мм. Давление транспортируемой жидкости в трубопроводе 6 МПа. Концентратором напряжений является сварной шов С17 по ГОСТ 16037-80 (рисунок 2).

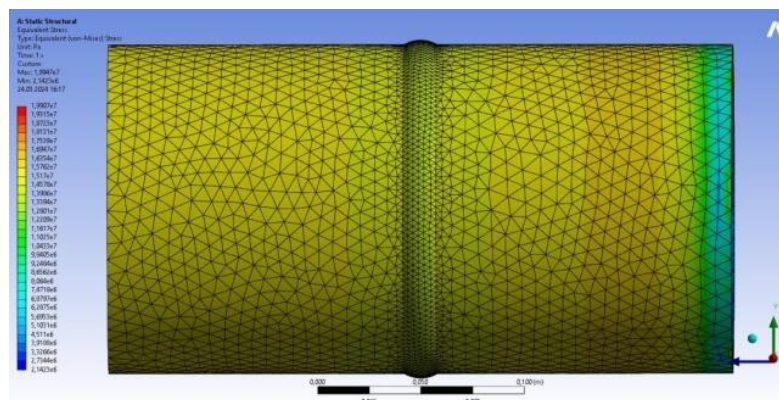


Рисунок 2 – Фрагмент трубопровода

Последовательность расчета долговечности следующая:

1) определение коэффициента концентрации напряжений α_σ .

Величина α_σ зависит от геометрических характеристик концентратора напряжений. Для сварного шва С17 теоретический коэффициент интенсивности напряжений определяется по формуле:

$$\alpha_{\sigma_\Phi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{\delta} \cdot \left(14 \cdot \frac{\delta}{b} + 1,7 \cdot \frac{\delta}{c} + 5\right)}} = 1,2, \quad (3)$$

где c – высота усиления шва;

b – ширина усиления шва;

δ – толщина стенки трубы;

ρ – радиус скругления.

$$\alpha_{\sigma_\Phi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{10} \cdot \left(14 \cdot \frac{10}{20} + 1,7 \cdot \frac{10}{3} + 5\right)}} = 1,2.$$

2) определение действующих напряжений и деформаций.

Действующие напряжения в стенке трубы определяются по формуле:

$$\sigma_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \delta}, \quad (4)$$

где p – давление в трубе, МПа;

D – наружный диаметр трубопровода, мм;

δ – толщина стенки трубы, мм.

$$\sigma_p = \frac{6 \cdot 1420}{2 \cdot 10} = 426 \text{ МПа.}$$

Согласно закону Гука действующие напряжения связаны с величиной относительной деформации:

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E} = \frac{426}{2 \cdot 10^5} = 0,00213. \quad (5)$$

Величина амплитуды упруго-пластической деформации ε_a определяется по формуле:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_p \cdot K_\varepsilon = 0,00213 \cdot 1,8 = 0,003834. \quad (6)$$

где K_ε – эффективный коэффициент концентрации деформаций в концентраторах напряжений:

$$K_{\varepsilon} = \alpha_{\sigma}^{\frac{2}{1+n}} \cdot \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_T}\right)^{\frac{1-n}{1+n}} = 1,2^{\frac{2}{1+0,15}} \cdot \left(\frac{426}{300}\right)^{\frac{1-0,15}{1+0,15}} = 1,8. \quad (7)$$

Усталостная и коррозионно-усталостная долговечности N определяются соответственно по формулам 8 и 9:

$$N = \left(\frac{1}{4} \cdot \ln \frac{1}{1-\psi} / \left(\varepsilon_a - \frac{\sigma_{-1}}{E}\right)\right)^{\frac{1}{m}}, \quad (8)$$

$$N_{KC} = \left(\frac{1}{4} \cdot \ln \frac{1}{1-\psi_{KC}} / \left(\varepsilon_a - \frac{\sigma_{-1}}{E}\right)\right)^{\frac{1}{m_{KC}}}. \quad (9)$$

Усталостная долговечность нефтепровода составит:

$$N = \left(\frac{1}{4} \cdot \left(\ln \frac{1}{1-0,6}\right) / \left(0,003834 - \frac{0,4 \cdot 470}{2 \cdot 10^5}\right)\right)^{1/0,5} = 6265 \text{ циклов.}$$

Коррозионно-усталостная долговечность в среде 3%NaCl (имитирует подтоварную воду и грунтовые электролиты) составит:

$$N = \left(\frac{1}{4} \cdot \left(\ln \frac{1}{1-0,64}\right) / \left(0,003834 - \frac{0,4 \cdot 470}{2 \cdot 10^5}\right)\right)^{1/0,54} = 4009 \text{ циклов.}$$

Таким образом, коррозионно-усталостная долговечность нефтепровода снизится в 1,6 раза.

Список использованной литературы

1. Ягафарова, Х. Н. Влияние концентраторов напряжений на ресурс трубопровода / Х. Н. Ягафарова, Г. И. Гарифуллина, А. А. Гильманов // Материалы 50-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Уфа: УГНТУ, 2023. – С. 1097-1100.
2. Гарифуллина, Г. И. Механохимическая коррозия магистральных нефтепроводов / Г. И. Гарифуллина // Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы: Материалы II Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Оренбург, 01–02 июня 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 120-125.
3. Analysis of materials for hydrogen storage and transportation / G. I. Garifullina, Kh. N. Yagafarova, R. I. Azigamov, A. A. Gilmanov // Third International Scientific and Practical Symposium on Materials Science and Technology (MST-III 2023), Dushanbe. – Washington: SPIE-SOC PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS, 2024. – P. 1298616. – DOI 10.1117/12.3018055.
4. Garifullina, G. Causes of corrosion cracking of pipe metal and methods for their protection / G. Garifullina // VI International Conference on Actual Problems of

the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023), Karshi, 14–16 июня 2023 года. – Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 1028. – DOI 10.1051/e3sconf/202341101028. – EDN FHICTD.

5. Гарифуллина, Г. И. Проблема коррозионной усталости нефтегазового оборудования / Г. И. Гарифуллина // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – 2010. – Т. 8. – С. 170-172. – EDN OOVBSV.

6. Ягафарова, Х. Н. Виды коррозионных разрушений нефтегазового оборудования / Х. Н. Ягафарова, Г. И. Гарифуллина, А. В. Исаева // Материалы 50-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с Международным участием. – Уфа: УГНТУ, 2023. – С. 1100-1105. – EDN IMXCHN.

7. Гарифуллина, Г.И. Экспериментальное определение трещиностойкости стали ВСтЗсп / Г. И. Гарифуллина, Р. И. Азигамов // Трубопроводный транспорт - 2023: Тезисы докладов XVIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 16–17 ноября 2023 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2023. – С. 59-60. – EDN RFVMVV.

8. Кузеев, И. Р. Прогнозирование безопасности эксплуатации сварных конструкций в условиях нефтесодержащих сред / И. Р. Кузеев, Л. С. Диньмухаметова, Е. В. Пояркова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – № 6. – С. 254-262. – EDN RPFNDV.

9. Влияние непрогнозируемых факторов на коррозионные повреждения трубопроводов и оборудования [Электронный ресурс] / Р. Н. Узяков, Ю. А. Чирков, В. М. Кушнарченко, Е. В. Пояркова // Электронный научный журнал нефтегазовое дело : электрон. науч. журнал . –2019. – № 6. –С. 87-100.

CORROSION-FATIGUE DURABILITY THE MAIN OIL PIPELINE

**Gulnaz I. Garifullina, candidate of technical sciences, associate professor,
Rafael I. Azigamov**

*Institute of Oil and Gas of Ufa State Petroleum Technological University
in the City of Oktyabrsky*

Abstract. *The article deals with the problem of fatigue and corrosion-fatigue failures of oil trunk pipelines. A comparative characteristic of low-cycle and multi-cycle fatigue of metal structures is given. A method for calculating the durability of an oil trunk pipeline under cyclic loading conditions is presented. Computational studies have established the influence of stress concentrators and a corrosive environment on the durability of the main oil pipeline.*

Keywords: *corrosion fatigue, stress concentration, weld, theoretical stress concentration coefficient, stress intensity coefficient, linear fracture mechanics, residual life.*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Гарифуллина Гульназ Ильфировна, кандидат технических наук, доцент,
Игошин Роман Александрович, Потапова Ксения Павловна,
Азигамов Рафаэль Ильгизович

*Институт нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет» в г. Октябрьском*

Аннотация. В статье рассматривается проблематика усталостных и коррозионно-усталостных разрушений нефтегазового оборудования. Перечислены факторы, от которых зависит работоспособность оборудования при усталости. Рассмотрены этапы развития коррозионно-усталостных трещин. Приведена методика расчета остаточного ресурса оборудования. Расчетными исследованиями установлено снижение долговечности оборудования в карбонат-бикарбонатном электролите в 1,2 раза.

Ключевые слова: усталость, коррозионная усталость, коэффициент интенсивности напряжений, скорость роста трещин, остаточный ресурс.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

Большое количество нефтегазового оборудования работает в условиях сложного напряженного состояния [2, 4, 7]. Оболочковые конструкции (трубопроводы, резервуары, емкости, сосуды, аппараты нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности) интенсивно эксплуатируются в условиях циклических нагрузок и воздействия коррозионных сред, которые приводят к коррозионной усталости оборудования [7, 9].

Работоспособность металлоконструкций напрямую зависит от комплексного воздействия следующих факторов:

- геометрии конструкции: форма и размеры элементов конструкции влияют на распределение напряжений и, соответственно, на ее прочность;
- материала: свойства материала (прочность, пластичность, устойчивость к коррозии и т.д.) определяют его способность выдерживать нагрузки;
- максимального уровня внешних нагрузок: чем выше нагрузка, тем выше требования к прочности конструкции;
- характера внешней нагрузки: длительность, число циклов, тип нагрузки (статическая, динамическая) влияют на поведение конструкции во времени;
- температуры внешней среды: температурные изменения могут влиять на прочность материала и его устойчивость к деформациям;
- агрессивности среды: воздействие агрессивных сред.

Важно понимать, что все эти факторы взаимосвязаны, и их совместное влияние определяет работоспособность металлоконструкций.

Прочность оборудования, подверженного коррозионной усталости, зависит от множества факторов, таких как:

- свойства металла: химический состав, микроструктура, пластичность, прочность, а также их неоднородность;
- напряженное состояние: величина и направление нагрузки, жесткость конструкции, цикличность нагружения;
- коррозионная среда: химический состав и свойства окружающей среды;
- обработка материала: режим термообработки;
- концентраторы напряжений: наличие дефектов и неоднородностей на поверхности;
- состояние поверхности: наличие покрытий, шероховатости и т.д.

Опасность усталостных трещин связана с тем, что зародыши хрупких трещин острые, имеют очень маленький радиус скругления [3]. Развитие усталостных трещин приводит к внезапному, неконтролируемому разрушению оборудования.

Процесс роста трещины с момента зарождения можно разделить на несколько этапов:

- развитие трещины вглубь металла перпендикулярно максимальным касательным напряжениям (рисунок 1, а);
- изменение направления роста трещины при испытаниях на воздухе. Ветвление трещины под действием коррозионных сред, что связано с наводороживанием стали. Ветвление трещины связано с тем, что водород, проникший в металл, создает внутренние напряжения и снижает прочность материала [1, 8]. В результате трещина может разветвляться, образуя новые пути роста. Ветвление трещины обычно сопровождается увеличением скорости ее роста, что приводит к более быстрому разрушению материала (рисунок 1, б);
- продвижение трещины по одной из ветвей (рисунок 1, б);
- механический долом (рисунок 1, в).



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Вид усталостной трещины и характер излома

Нефтегазовое оборудование работает в условиях малоцикловой коррозионной усталости, поэтому с точки зрения расчета усталостной

долговечности данный вид коррозионного разрушения представляет большой интерес [4].

Для описания процессов малоциклового разрушения используются три основные группы критериев:

- 1) деформационные (через коэффициенты интенсивности деформаций, величины локальных деформаций, раскрытие трещин и размер пластических зон);
- 2) энергетические (через J-интеграл, поверхностную или объемную энергию, плотность энергии деформаций);
- 3) силовые (через коэффициенты интенсивности напряжений).

Расчет прочности конструкций, оценка их ресурса и надежности проводятся во многих случаях с учетом возможного наличия в них технологических или эксплуатационных трещин (трещиноподобных дефектов). В соответствии с линейной механикой разрушения процедура определения условий роста трещины предусматривает расчет коэффициентов интенсивности напряжений вдоль контура (края трещины) при заданных нагрузках. Определение остаточного ресурса металлоконструкций с обнаруженными трещинами необходимо проводить с учетом формы реальной трещины и места ее появления на конструкции.

При обнаружении трещин треугольной или полуэллиптической формы на поверхности нефтегазового оборудования рекомендуется использовать схему, представленную на рисунке 2, для расчета коэффициента интенсивности напряжений.

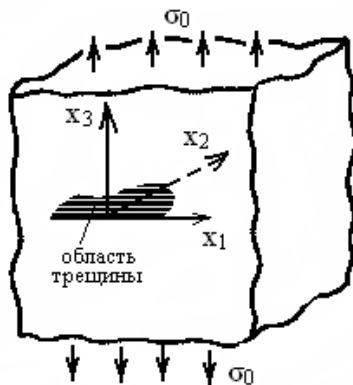


Рисунок 2 – Поверхностная трещина произвольной формы в полупространстве

Метод объемных сил применяется для определения коэффициента интенсивности напряжений. Точность полученных результатов составляет несколько процентов [5].

Для определения максимального значения коэффициента интенсивности напряжений вдоль фронта трещины используется формула 1:

$$K_{1\max} = 0.650 \cdot \sigma_0 \cdot \pi^{\frac{1}{2}} \cdot S^{\frac{1}{4}}, \quad (1)$$

где σ_0 – растягивающее напряжение на бесконечности, МПа;

S – площадь трещины, м².

Расчет остаточного ресурса металлоконструкции, имеющей усталостные трещины, производится численным интегрированием выражения

$$\frac{dL}{dN} = F(\Delta K), \quad (2)$$

где $\frac{dL}{dN}$ – скорость роста трещины, м/цикл;

ΔK – изменение коэффициента интенсивности напряжения за один цикл, МПа·м^{1/2} ($\Delta K = K$ при отнулевом цикле нагружения).

Эмпирическая модель, описывающая процесс роста усталостной трещины для сталей феррито-перлитного класса при испытаниях на воздухе и в карбонат-бикарбонатной среде представлена степенной зависимостью [6]:

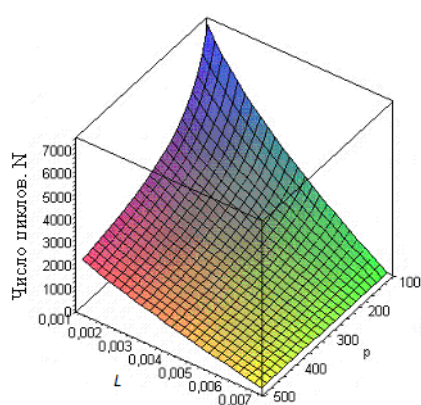
$$\frac{dL}{dN} = c + m \cdot \sqrt{K}. \quad (3)$$

В таблице 1 приведены коэффициенты c и m уравнения 3 при различных условиях испытаний.

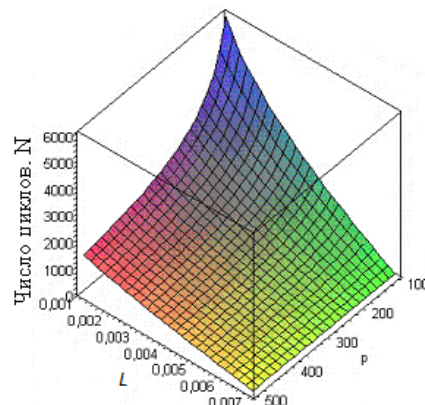
Таблица 1 – Значения коэффициентов c и m

Условия	c	m
На воздухе	$-8.05 \cdot 10^{-7}$	$3.50 \cdot 10^{-7}$
В карбонат-бикарбонатной среде	$-14.79 \cdot 10^{-7}$	$5.39 \cdot 10^{-7}$

На рисунке 3 представлены результаты расчета остаточного ресурса оборудования в зависимости от глубины трещины и величины действующих напряжений.



а



б

Рисунок 3 – Остаточный ресурс металлоконструкции: а – при испытаниях на воздухе, б – при испытаниях в карбонат-бикарбонатной среде

Расчеты остаточного ресурса оборудования в условиях усталости и коррозионной усталости показали снижение долговечности в карбонат-бикарбонатной среде в 1,2 раза. Воздействие циклических нагрузок сопровождается трением внутренних стенок трещин и механическим разрушением защитных пленок. Интенсивность развития трещины в коррозионной среде связана с неравномерной аэрацией дна и стенок трещины, накоплением продуктов коррозии, препятствующие закрытию трещины. При дальнейшем воздействии нагрузок происходит чередование выдавливания электролита из щелей и при последующем раскрытии трещины заполнение ее коррозионной средой. В связи с этим, постоянное разрушение пленки и интенсивное перемешивание раствора могут резко повысить эффективность специфических пар дно-стенка трещины при коррозионной усталости.

Список использованной литературы

1. Analysis of materials for hydrogen storage and transportation / G. I. Garifullina, Kh. N. Yagafarova, R. I. Azigamov, A. A. Gilmanov // Third International Scientific and Practical Symposium on Materials Science and Technology (MST-III 2023), Dushanbe. – Washington: SPIE-SOC PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS, 2024. – P. 1298616. – DOI 10.1117/12.3018055.
2. Garifullina, G. Causes of corrosion cracking of pipe metal and methods for their protection / G. Garifullina // VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023), Karshi, 14–16 июня 2023 года. – Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 1028. – DOI 10.1051/e3sconf/202341101028. – EDN FHICTD.
3. Гарифуллина, Г. И. Механохимическая коррозия магистральных нефтепроводов / Г. И. Гарифуллина // Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы: Материалы II Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Оренбург, 01–02 июня 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 120-125.
4. Гарифуллина, Г. И. Проблема коррозионной усталости нефтегазового оборудования / Г. И. Гарифуллина // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – 2010. – Т. 8. – С. 170-172. – EDN OOVBSV.
5. Гарифуллина, Г. И. Экспериментальное определение трещиностойкости стали ВСтЗсп / Г. И. Гарифуллина, Р. И. Азигамов // Трубопроводный транспорт –2023: Тезисы докладов XVIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 16–17 ноября 2023 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2023. – С. 59-60. – EDN RFVMVV.
6. Ягафарова, Х. Н. Виды коррозионных разрушений нефтегазового оборудования / Х. Н. Ягафарова, Г. И. Гарифуллина, А. В. Исаева // Материалы 50-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых,

аспирантов и студентов с Международным участием. – Уфа: УГНТУ, 2023. – С. 1100-1105. – EDN IMXСHE.

7. Кузеев, И. Р. Прогнозирование безопасности эксплуатации сварных конструкций в условиях нефтесодержащих сред / И. Р. Кузеев, Л. С. Диньмухаметова, Е. В. Пояркова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – № 6. – С. 254-262. – EDN RPFNDV.

8. Коррозия и защита изделий и конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. М. Кушнарченко [и др.]. – 2-е изд., стер. – Москва : Флинта, 2023. – 312 с – Загл. с тит. экрана. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54632172>

9. Влияние непрогнозируемых факторов на коррозионные повреждения трубопроводов и оборудования [Электронный ресурс] / Р. Н. Узяков, Ю. А. Чирков, В. М. Кушнарченко, Е. В. Пояркова // Электронный научный журнал нефтегазовое дело : электрон. науч. журнал . – 2019. – № 6. – С. 87-100.

CORROSION-FATIGUE DURABILITY THE MAIN OIL PIPELINE

**Gulnaz I. Garifullina, candidate of technical sciences, associate professor
Roman A. Igoshin, Ksenia P. Potapova, Rafael I. Azigamov**

*Institute of Oil and Gas of Ufa State Petroleum Technological University in the
City of Oktyabrsky*

Abstract. *The article discusses the problems of fatigue and corrosion-fatigue failures of oil and gas equipment. The factors on which the performance of the equipment depends on fatigue are given. The stages of development of corrosion-fatigue cracks are considered. The method of calculating the residual life of the equipment is given. Computational studies have established a decrease in the durability of equipment in a carbonate-bicarbonate electrolyte by 1.2 times.*

Keywords: *fatigue, corrosion fatigue, stress intensity coefficient, crack growth rate, residual life.*

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ

Свиденко Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент,
Григорьев Данила Сергеевич, обучающийся, 4 курс, Зверков Дмитрий
Андреевич, Ниткачева Елена Юрьевна, магистранты 1 курса

Оренбургский государственный университет

Аннотация. *Представлены результаты, в виде графика и структур, исследований влияния режимов термической обработки на изменение эксплуатационных свойств порошковой стали.*

Ключевые слова: *порошковые материалы, термическая обработка, смешивание, отжиг, закалка, свойства.*

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Как известно, порошковая металлургия – область науки и техники, охватывающая производство металлических порошков, а также изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками. Металлический порошок представляет собой совокупность частиц металла, сплава или металлоподобного соединения, находящихся во взаимном контакте и не связанных между собой.

В состав готовых порошковых сталей входят мартенсит, карбиды и различные неметаллические включения. Мартенситная основа более твердая и хрупкая, чем карбиды, поэтому именно плотность и равномерность распределения карбидов определяют прочность и надежность конечного изделия — лезвия ножа. В процессе производства порошковой стали все компоненты металла подвергаются кристаллизации, превращаясь затем в однородную сталь.

Основными операциями при подготовке порошков к формованию являются отжиг, классификация и смешивание. Эти дополнительные операции перед формованием порошков вводятся, прежде всего, потому, что при производстве порошков на специализированных предприятиях невозможно учесть многообразные требования различных потребителей к порошку. Почти всегда у потребителей возникает необходимость в специальных подготовительных операциях для придания порошку определенных химических и физических характеристик, обеспечивающих нужные конечные свойства продукции.

Нагрев порошка проводят в защитной среде (вакуум, инертный газ, восстановительная среда) при температуре 0,4-0,6 $T_{пл.}$ металла порошка. Чаще всего отжигают порошки, полученные механическим измельчением твердых материалов, распылением расплавов, электролизом и разложением карбониллов. Такие порошки наиболее наклепаны, содержат много оксидов и растворенных газов. Восстановленные порошки отжигают только тогда, когда требуется повысить чистоту порошка или укрупнить мелкие частицы.

Отжиг проводят в проходных печах. Для более полной очистки порошков от разных примесей часто применяют атмосферы с галогенсодержащими добавками. Так, например, при отжиге железного порошка в восстановительную атмосферу из водорода дополнительно вводят хлористый водород, что позволяет снизить содержание в порошке кремния и марганца. Наличие хлористого водорода способствует образованию легко испаряющихся хлоридов этих металлов.

Для повышения механических свойств и придания порошковым изделиям необходимых физико-механических свойств заготовки подвергают спеканию.

Спеканием называют процесс развития межчастичного сцепления и формирования свойств материала, полученного нагревом сформированного или свободно насыпанного порошка или волокна без расплавления основного компонента.

Формование деталей из порошков представляет собой получения изделия определенной формы и размеров. Прочностные характеристики деталей зависят от метода формования. При холодных методах формования деталь имеет относительно высокую пористость и малую прочность, но достаточную для извлечения ее от полости пресс-формы, дальнейшей транспортировки и обработки. Горячие методы формования обеспечивают получение плотной детали с высокими физико-механическими свойствами. Последовательность получения и формования порошка представлена на рисунке 1.

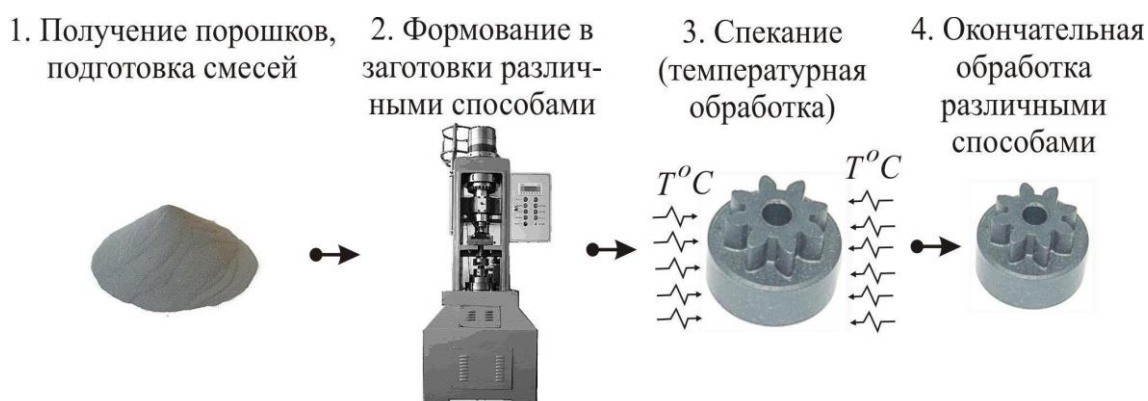
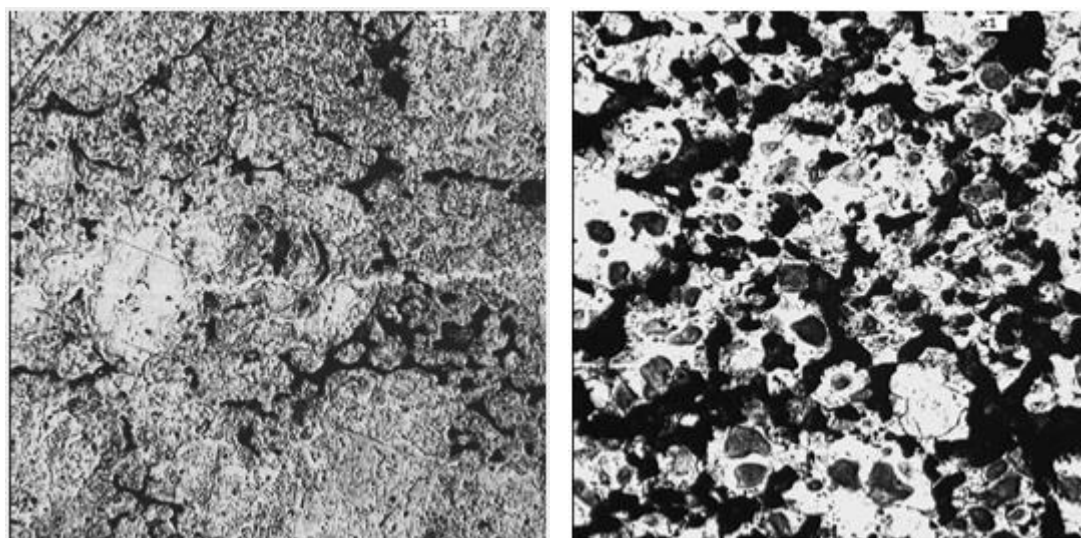


Рисунок 1 – Пример получения и формования порошка

Температура нагрева при термической обработке оказывает большое влияние на структуру и свойства обрабатываемых порошковых сталей, поэтому она устанавливается в зависимости от состава стали, её пористости и назначения обработки. Температура нагрева под закалку для углеродистых и низколегированных сталей выше точки A_{c3} на 60-80 °С. Оптимальная температура отпуска связана также с пористостью, с увеличением пористости сталей температура отпуска повышается.

Порошковые стали из-за наличия пор имеют повышенную склонность к коррозии по сравнению с литыми сталями. Снижение коррозии порошковых сталей достигается проведением термической обработки, например, в соляных ваннах, а также за счёт введения операций пассивации и маслопропитки после

термической обработки. Микроструктура порошковой стали в исходном состоянии и после термической обработки представлена на рисунке 2.



а –исходный образец; б – после термической обработки

Рисунок 2 – Микроструктура порошковой стали после термической обработки

Были проведены испытания на твердость порошковой стали. Зависимость твердости от режимов термической обработки представлена на рисунке 3.

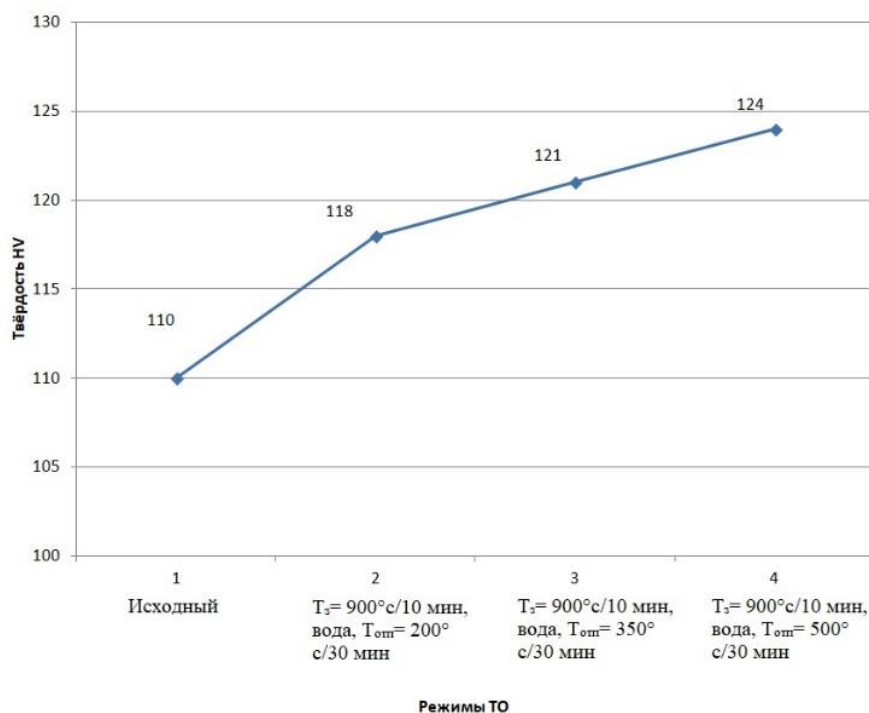


Рисунок 3 – Изменение твердости порошковой стали в зависимости от режимов термической обработки

Из графика, представленного на рисунке 3 видно, что твердость в результате термической обработки увеличивается в 1,5 раза.

Список использованной литературы

1. Порошковые легированные стали / В. Н. Анциферов, В. Б. Акименко, Л. М. Гревнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия. 1991. – 318 с.
2. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Ю. В. Левинский [и др.]. – М.: Экомет. – 2005. – 520 с.
3. Андриевский, Р. А. Порошковое материаловедение / Р. А. Андриевский. – М.: Металлургия. – 1991. – 207 с.
4. Металлургические композиты. Введение в феноменологическую теорию / Г. А. Бабушкин, В. Я. Буланов, И. А. Синицкий. – Свердловск: АНЦ АН СССР. – 1987. – 312 с.
5. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии: в 2-х т. / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. – М.: МИСИС. – 2001. – Т.1. – 368 с. – Т.2. – 320 с.
6. Ермаков, С. С. Порошковые стали и изделия / С. С. Ермаков, Н. В. Вязников. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение. – 1990. – 319 с.
7. Получение и свойства порошковых материалов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. И. Богодухов, А. Д. Проскурин, Е. С. Козик. – Оренбург : ГОУ ОГУ. – 2009. – 181 с.

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE PERFORMANCE PROPERTIES OF POWDER STEEL

Ekaterina V. Svidenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Danila S. Grigoriev, student, 4th year

Dmitry A. Zverkov, Elena Y. Nitkacheva, master's student, 1st year

Orenburg State University

Abstract. *The results of studies of the influence of heat treatment modes on changes in the operational properties of powder steel are presented in the form of graphs and structures.*

Keywords: *powder materials, heat treatment, mixing, annealing, quenching, properties.*

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Юршев Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент

Кириленко Александр Сергеевич, канд. техн. наук,

Дрозд Даниил Евгеньевич, Каипов Андрей Ринатович, магистранты 1 курса, Козлов Вячеслав Александрович, магистрант 2 курса

Оренбургский государственный университет

***Аннотация.** В работе изучен состав и структура образцов, изготовленных посредством 3D-печати из порошков металла. Проведен спектральный анализ с целью определения химического состава образцов. В ходе работы были изучены образцы, изготовленные методом печати на 3D-принтере. При исследовании микроструктуры было определено, что образец изготовлен из порошка, содержащего карбид титана и порошков, состоящих из ванадия и алюминия. Использование аддитивных технологий – технологичное и современное решение, но отказываться от традиционных методов обработки материалов в машиностроении невозможно, так как у всего есть свои недостатки.*

***Ключевые слова:** аддитивные технологии, спектральный анализ, микроструктура, металлопорошковые композиции, металл.*

***Код и рубрика:** 55.00.00 Машиностроение*

Печать при помощи металлических порошков является перспективным направлением развития, так как данный процесс безотходный. Для данного метода производства деталей применяют мелкодисперсные порошки, которые спекают по определенной траектории заданной по CAD-модели. После спекания получают детали определенной конфигурации, ее дорабатывают различными методами с целью придания точных размеров и параметров шероховатости [1].

Аддитивные технологии (AF – Additive Fabrication) – послойное нанесение материала и построения модели.

Существуют несколько методов соединения: спеканием, сплавлением, полимеризацией и склеиванием. Существуют стандарты, которые устанавливают основные принципы применения аддитивных технологий.

Комитетом F42 была сформирована классификация аддитивных технологий:

- 1) Material extrusion – печать происходит путем выдавливания материала;
- 2) Material jetting – материал разбрызгивается, наносится струйным способом;
- 3) Binder jetting – разбрызгивается связующий материал;
- 4) Sheet lamination – соединение материала в виде листов;
- 5) Vat photopolymerization – фотополимеры, керамику наносят в специальной ванне;

6) Powder bed fusion – формируют слой, в котором исходный материал расплавляют;

7) Directed energy deposition – от источника подводят энергию прямым в место формирования.

FDM (Fused Deposition Modeling) – моделирование, в котором основной особенностью является наплавка. Сущность метода заключается в наплавлении материала, который при нагреве становится пластичным, на подложку. Подложка обладает высокими адгезионными свойствами. Материал наносится послойно.

SLA (Stereolithography Apparatus) – метод поэтапного послойного отвердевания жидкого фотополимера лазером.

SLS-технология – метод послойного селективного лазерного плавления металлических порошков, осуществляя экономию материала и безотходного изготовления деталей по данным из 3D CAD-систем практически любой сложности из широкого спектра металлов. Принцип работы этой технологии заключается в расплавление тонкого слоя металлического порошка лучом лазера в соответствии с геометрией сечения детали, соответствующей каждому слою порошка. Селективное лазерное спекание изначально появилось, как усовершенствованный метод отверждения жидкого фото полимера. Материалом для осуществления процесса моделирования сыпучие, порошкообразные материалы, а лазер является не источником света, как в SLA-машинах, а источником тепла, посредством которого производится сплавление частичек порошка. Современные SLS-принтеры способны работать с керамической глиной, металлическим порошком, цементом и сложными полимерами.

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – метод спекания металлов на основе прямого лазерного излучения. Отличается от предыдущего метода тем, что частицы при спекании не переходят в жидкую фазу; камера, в которой происходит нагрев, нагревается не так сильно; внутренние напряжения не появляются, так как нагрев менее агрессивный, вследствие этого перепад температур минимален.

Binder 3DP (Indirect Inkjet Printing) – сущность метода заключается в нанесении на порошковый материал связующих материалов, таких как песок, пластик и др.

EBM (Electron Beam Melting) – метод основан на использовании энергии электронных излучателей.

Материалы, используемые для печати: термопластики, керамические суспензии, металлические пасты, фотополимеры, воск, полимерные порошки, керамические порошки, металлические порошки, металлические листы, полимерные пленки, керамические ленты, полиамиды, металлические проволоки.

Аддитивные технологии в последнее время все чаще и чаще начинают использовать в различных отраслях жизни. В машиностроении реализуется по следующим направлениям:

1) создание экспериментальных образцов при разработке новых деталей;

- 2) изготовление деталей сложной формы, которые невозможно произвести при помощи других методов;
- 3) создание формовочных элементов (пресс-формы);
- 4) разработка различных инструментов для изготовления деталей разных форм.

Детали в машиностроении в основном металлические, поэтому применяют технологии, основанные на получении детали напрямую из металла. Все это обходится дорого, поэтому только в ракетной, авиакосмической промышленности для производства деталей, имеющих сложную конфигурацию (камеры сгорания, сверхзвуковые сопла и др.), в малых количествах [2].

При помощи аддитивных технологий изготавливают ремонтные детали для различных узлов, ремонтируют и совершенствуют изношенные.

В электронике применяют 3D-печать для изготовления плат, корпусов, клавиатуры, датчиков. В строительстве используются для возведения жилых помещений. Через сопло принтера выходит бетонная смесь. В архитектуре для облегчения работы изготавливают макеты различных сооружений.

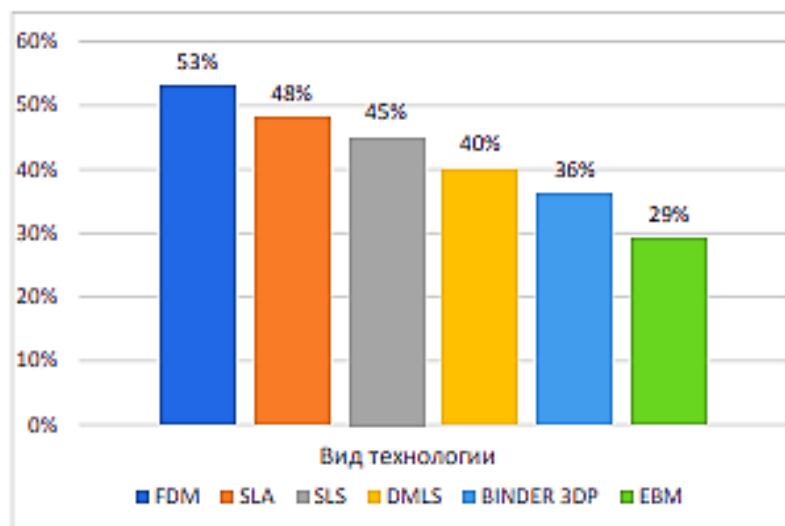


Рисунок 1 – Анализ использования видов технологии аддитивного производства

На примере мы рассмотрим два образца изготовленные методом печати из металлических порошков. Первый образец представлен на рисунке 2.

При увеличении (x300) в структуре видны не сплавленные частички порошка, представленные на рисунке 3.

На рисунке 4 представлено увеличение сплавленной части при увеличении (x1000), где мы можем наблюдать частицы порошка, не подвергнувшиеся сплавлению. На снимках предоставлены метки в 20 мкм, позволяющие установить приближенные размеры частиц.

Для сравнения изучался образец № 2, который изготовлен методом 3D-печати. Часть металлической конструкции была заполнена составом полимеров

посредством холодной сварки во втулке для облегчения изучения и подготовки шлифа.

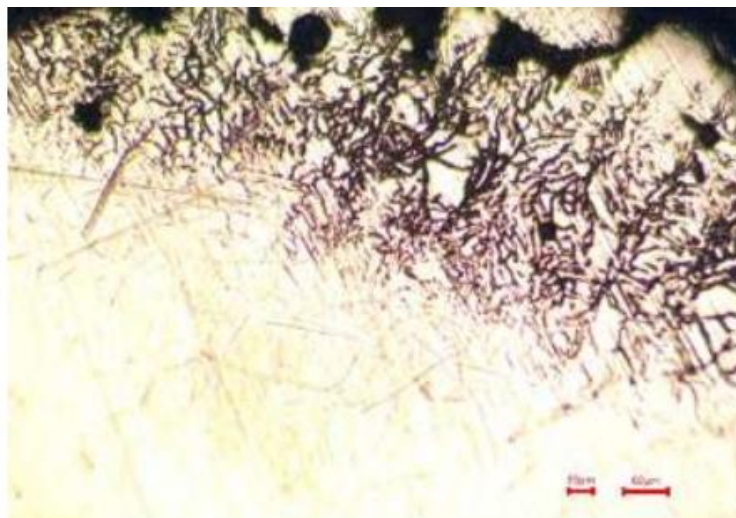


Рисунок 2 – Край образца № 1, имеющего пористость (x100)

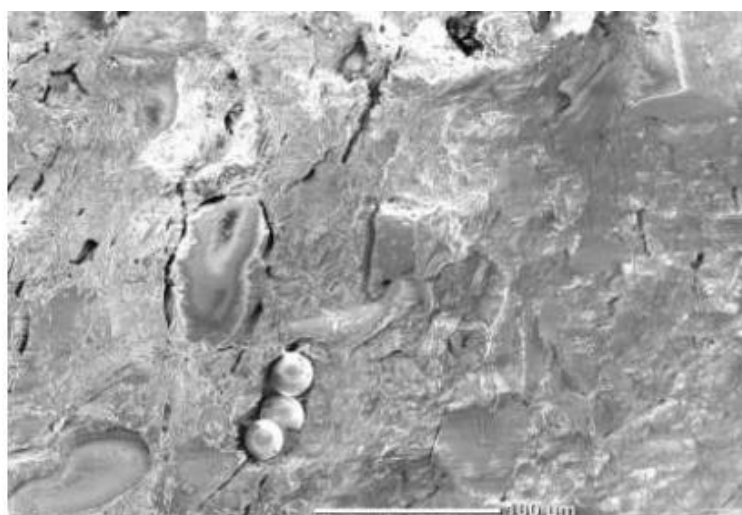


Рисунок 3 – Микроструктура образца № 1, при увеличении (x300)

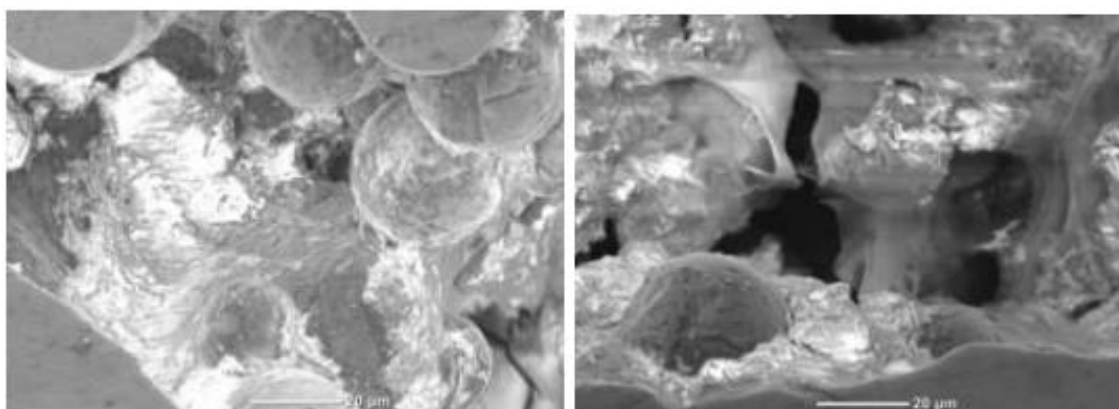


Рисунок 4 – Микроструктура образца при увеличении (x1000)

На рисунке 5 представлена микроструктура второго образца при увеличении (x1000). При рассмотрении рисунка можно наблюдать образование шейки, сплавления частицы порошка с основной массой изделия. Так образуется первичная стадия сплавления порошков.

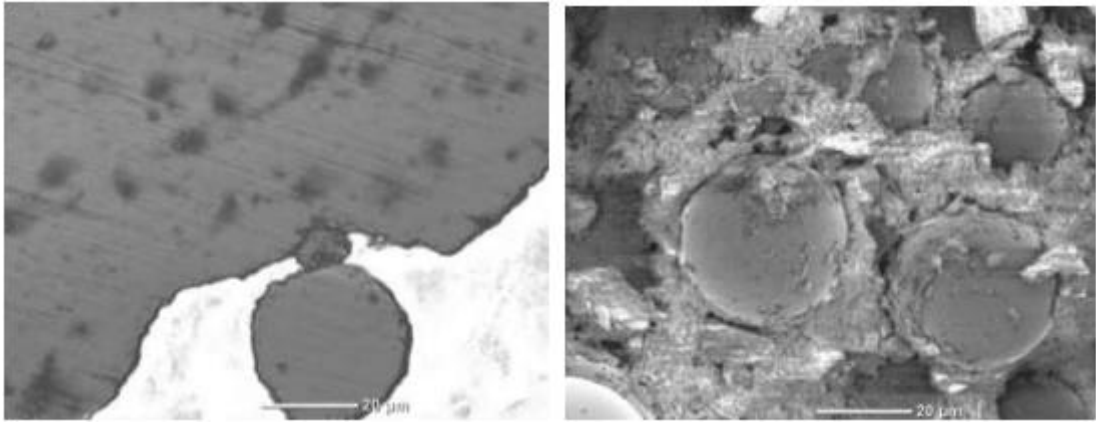


Рисунок 5 – Фрагмент образца № 2 при увеличении (x1000)

Методом спектрального анализа был установлен химический состав частиц, представленный на рисунке 6.

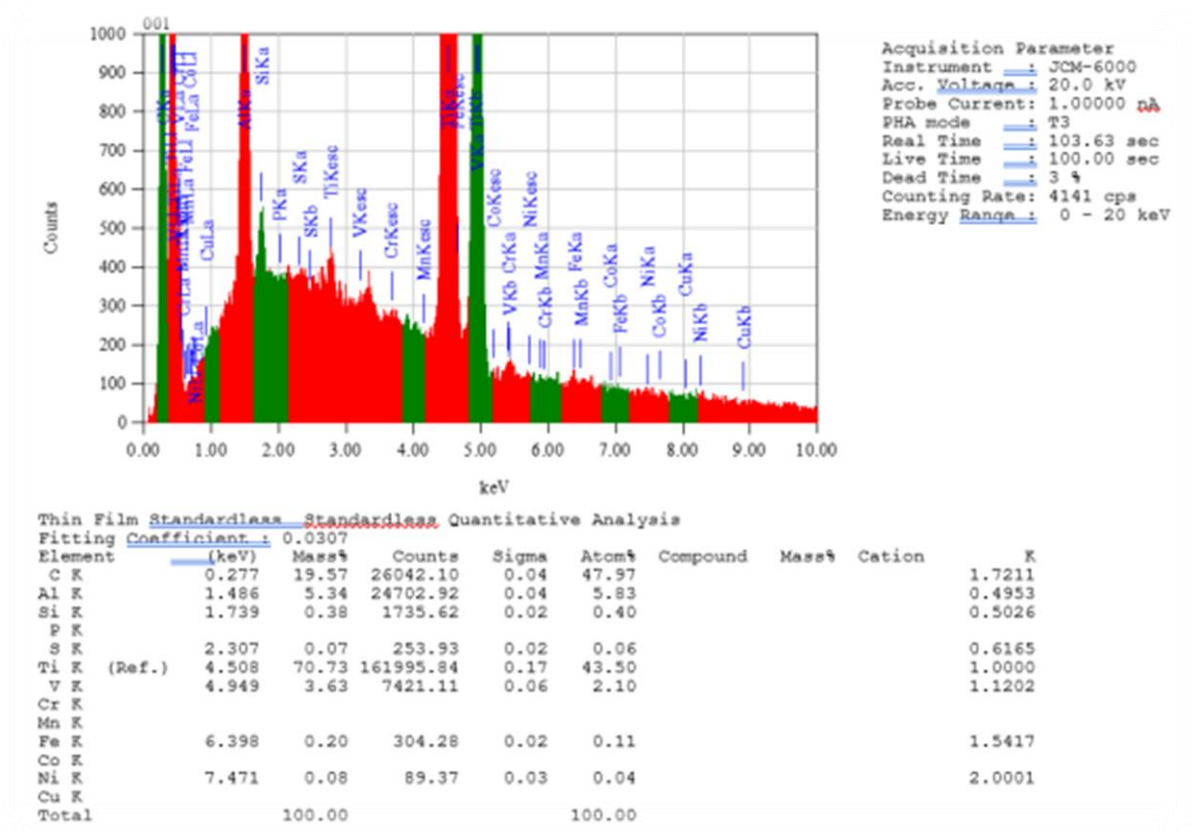


Рисунок 6 – Спектральный анализ частиц порошка

На основе результата, было установлено, что порошок является карбидом титана, также в большом количестве присутствует ванадий и алюминий.

Аддитивные технологии на данный момент не могут полностью заменить традиционные методы обработки металлов, так как имеют свои недостатки. Хорошим решением также является гибридное производство, когда примерная конфигурация изделия изготавливается методом аддитивных технологий, а после дорабатывается традиционными методами металлообработки [3].

Список использованной литературы

1. Либенсон, Г. А. Основы порошковой металлургии / Г. А. Либерсон. –М.: Металлургия. –1975. –200 с.
2. Герман, Р. Порошковая металлургия от А до Я / Р. Герман; пер. с англ. Г. А. Либенсона и О. В. Падалко; под ред. О. В. Падалко. – Долгопрудный: Интеллект. –2009. –336 с.
3. Лахтин, Ю. М. Материаловедение: учеб. для втузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. –5-е изд., стер. –М.: Альянс. –2009. –528 с.
4. Богодухов, С. И. Получение и свойства порошковых материалов / С. И. Богодухов, А. Д. Проскурин, Е. С. Козик // Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. –2009. – 180 с.
5. Гуляев, А. П. Металловедение. Учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. / А. П. Гуляев – М. Металлургия, 1986. – 544 с.

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

Vladimir I. Yurshev, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor
Alexander S. Kirilenko, Ph.D. tech. sciences,
Daniil E. Drozd, Andrey R. Kaipov, master's student, 1st year
Vyacheslav A. Kozlov, master's student, 2nd year

Orenburg State University

Annotation. *The composition and structure of samples made by 3D printing from metal powders will be studied in the work, specular analysis will be carried out in order to determine the chemical composition of the samples. In the course of the work, a sample made by printing on a 3D printer was studied. During the study of the microstructure, it was determined that the sample is titanium carbide with inclusions in the form of vanadium and aluminum. The use of additive technologies is a technological and modern solution, but it is impossible to completely abandon the traditional methods of processing materials in the machine building, since everything has its drawbacks.*

Key words: *additive technologies, spectral analysis, microstructure, metal powder compositions; metal.*

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗМОЛА И ПОДГОТОВКИ ПОРОШКА

Юршев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент,
Дрозд Даниил Евгеньевич, магистрант, 1 курс,
Гусева Нина Андреевна, магистрант, 2 курс,
Юршев Илья Владимирович, руководитель испытательной лаборатории

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В работе приводятся результаты измерения гранулометрического состава твердосплавной смеси марки ВК10-ХОМ, с помощью лазерного анализатора частиц с ультразвуковым воздействием и без него. Рассмотрена современная методика измерения гранулометрического состава.

Ключевые слова: гранулометрический состав, твердосплавная смесь, лазерный анализатор.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Гранулометрический состав – это распределение частиц по размерам в исходных порошках. Он определяется размерами и процентным содержанием частиц в различных фракциях. Как правило, гранулометрический состав выражается в виде гранулометрической кривой или таблицей, показывающей процентное содержание частиц различных размеров. Гранулометрический состав имеет большое значение, так как влияет на свойства порошковых материалов, такие как проницаемость, плотность, устойчивость и др. Знание гранулометрического состава позволяет определить пригодность материала для дальнейшего применения и выбрать необходимое оборудование и технологии для их выполнения [1].

В настоящее время науке известны следующие методы определения гранулометрического состава:

- механическое разделение частиц (ситовый и фильтрационный анализ);
- динамические методы (сепарация в потоке);
- пофракционное осаждение, отбор весовых проб (седиментационный анализ);
- оптические методы (микроскопический анализ);
- определение удельной поверхности (адсорбционный метод);
- лазерная дифракция [2].

Выбор метода основывается на физико-механических свойствах и дисперсности твердосплавной смеси. Как правило, для того что бы определить гранулометрический состав мелкодисперсных твердосплавных смесей, применяется метод лазерной дифракции. Диапазоны определения

гранулометрического состава твердосплавных смесей в зависимости от метода, представлены на рисунке 1.

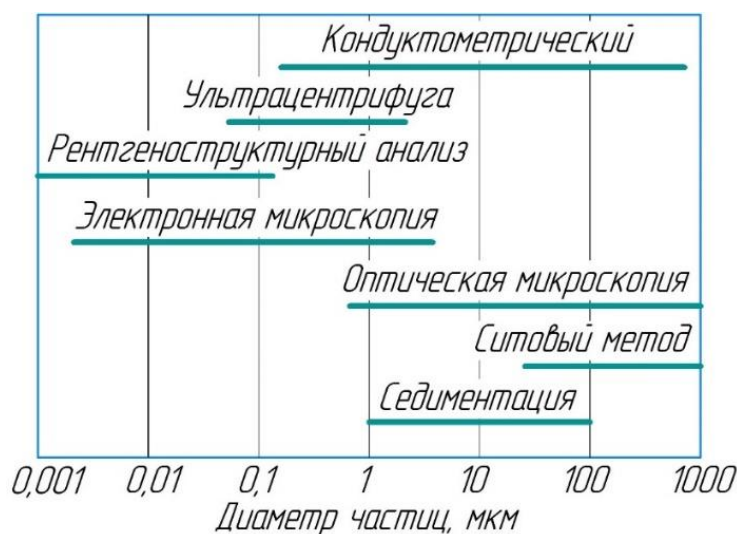


Рисунок 1 Диапазоны определения гранулометрического состава

Размер карбидной фазы твердого сплава зависит от нескольких факторов. Во-первых, он определяется способом получения порошков карбидов. Во-вторых, технологические режимы при спекании оказывают влияние на размер зерен. И, наконец, наличие ингибиторов роста карбидных зерен в составе также влияет на их размер. В частности, добавки VC и Cr₃C₂ в объеме не более одной целой процента, являются основными ингибиторами роста зерна. Используя зависимости между размером зерен и различными свойствами материала, такими как твердость, вязкость, износостойкость и сопротивление абразивному износу, можно создавать сплавы с нужными характеристиками, где уменьшение размера зерен приводит к увеличению всех перечисленных свойств, за исключением прочности, которая, напротив, уменьшается.

Перспективным методом определения гранулометрического состава твердосплавных смесей, является лазерная дифракция. Данный метод реализован на таком приборе, как анализатор размеров и формы частиц Bettersizer S3 Plus (рисунок 2), метод представляет собой объединение лазерного анализатора размеров частиц и автоматизированной системы фиксации и обработки изображений. Прибор автоматически определяет коэффициент преломления частиц и способен анализировать их размеры в диапазоне от 0,01 до 3500 мкм, а также предоставляет информацию о форме от 2 до 3500 мкм одновременно.

Bettersizer S3 Plus применяется для анализа формы, дисперсии и размерного распределения частиц порошков. Для этого он использует оптическое излучение, рассеянное суспензией порошка в кювете или, анализирует изображения, полученные с помощью оптического микроскопа [3]. На рисунке 3 изображена основная схема прибора для определения гранулометрического состава.



Рисунок 2 – Bettersize S3 Plus лазерный анализатор размера частиц

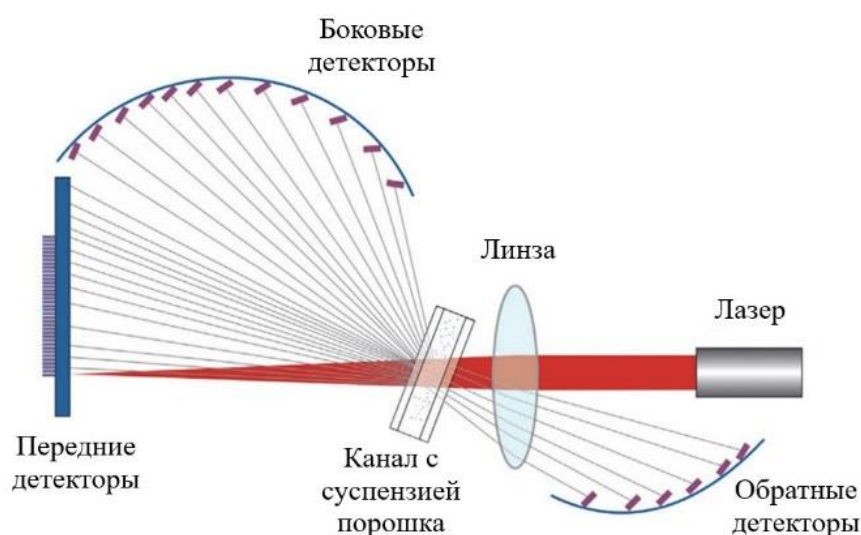


Рисунок 3 – Основная схема для технологии лазерной дифракции

Благодаря высокоскоростной камере с телецентрическим зумом, происходит фиксация формы частиц твердосплавной смеси, что также позволяет получить информацию о размере. Схема получения изображения формы частиц, изображена на рисунке 4.

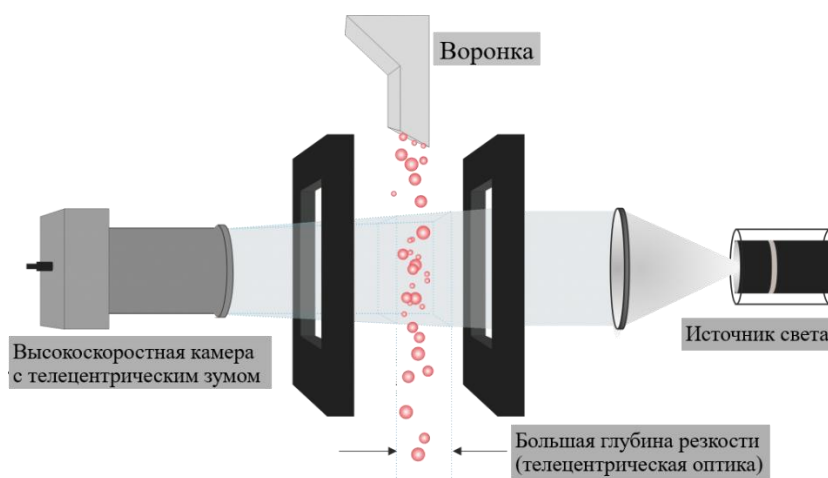


Рисунок 4 – Схема получения изображения частиц исходного порошка

Следует сказать, что в приборе реализовано дополнительное ультразвуковое диспергирование твердосплавных смесей с частотой 38 кГц, в процессе измерения гранулометрического состава, что положительно сказывается на общей дисперсии системы. На рисунке 5 можно наблюдать влияние ультразвукового воздействия на дисперсность твердосплавной смеси марки ВК10-ХОМ.

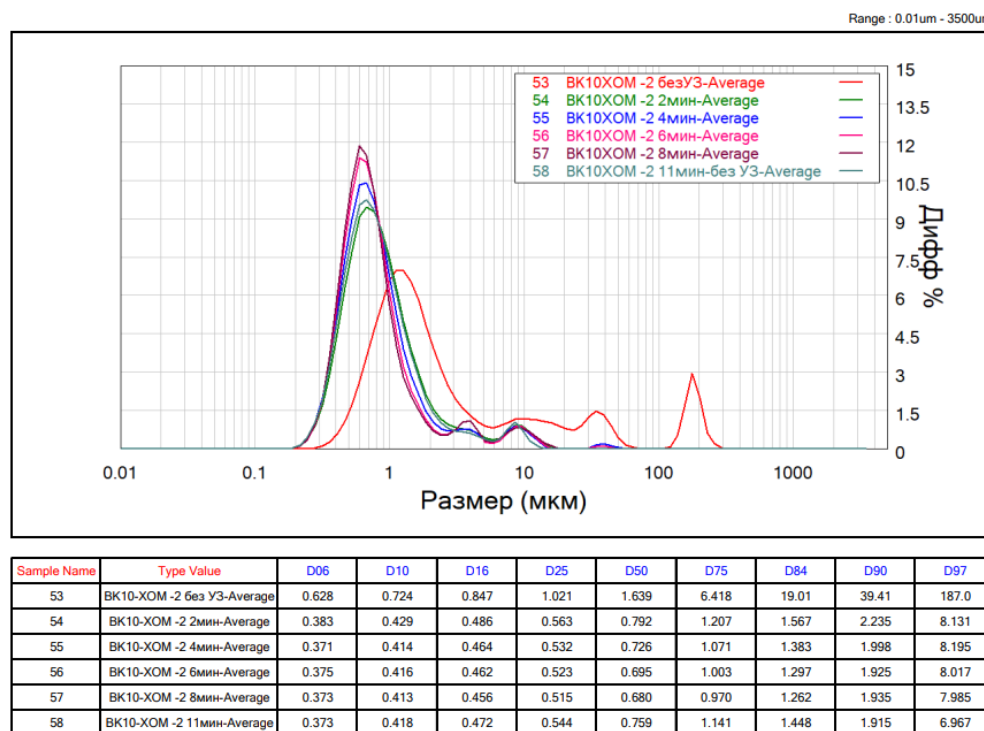


Рисунок 5 – Гранулометрический состав особо мелкозернистой твердосплавной смеси марки ВК10-ХОМ

Можно сделать вывод, что ультразвуковое воздействие на твердосплавную смесь марки ВК10-ХОМ с частотой 38 кГц сужает дисперсию порошка с диапазона от 0,63 до 187 мкм до диапазона от 0,37 до 6,97 мкм. Для получения особо мелкодисперсного твердого сплава ВК10-ХОМ необходим порошок крупностью от 0,5 до 0,9 мкм. При использовании ультразвукового диспергирования средний размер зерна D50 составил 0,73 мкм, согласно проведённым испытаниям.

Список использованной литературы

1. Богодухов, С. И. Получение и свойства порошковых материалов / С. И. Богодухов, А. Д. Проскурин, Е. С. Козик. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. –2009. – 180 с.
2. Королев, Д .В. Определение дисперсного состава порошков микроскопическим методом: методические указания к лабораторной работе / Д.

В. Королев, В. Н. Наумов, К. А. Суворов. – СПб.: ГОУ ВПО СПбГТИ(ТУ). 2005. Т. 41.

3. Bettersizer S3 Plus лазерный анализатор размеров и формы частиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bettersize.ru/catalog/bettersizer-s3-plus/>

4. Мальцев, М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов / М. В. Мальцев. – 2-е изд. – М.: Изд-во «Металлургия». – 1970. – 364 с.

5. Гуляев, А. П. Металловедение. Учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия. – 1986. – 544 с.

6. Анисович, А. Г. Практика металлографического исследования материалов / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцева. – Минск: Беларус. навука. – 2013. – 221 с.

GRANULOMETRIC COMPOSITION OF CARBIDE MIXTURES DURING GRINDING AND POWDER PREPARATION

**Vladimir I. Yurshev, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor,
Daniil E. Drozd, master's student, 1st year,
Nina A. Guseva, master's student, 2nd year,
Ilya V. Yurshev, head of the testing laboratory**

Orenburg State University

Annotation. *The paper presents the results of measuring the granulometric composition of a carbide mixture of the VK10-KHOM brand, using a laser particle analyzer with and without ultrasonic exposure. A modern technique for measuring particle size distribution is considered.*

Key words: *granulometric composition, carbide mixture, laser analyzer.*

ИСТОРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТАЛИ НА ПРИМЕРЕ СТАРИННЫХ ВЕСОВ

Юршев Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент,
Тавтилов Ильфат Шайдуллович, канд. техн. наук, доцент,
Дрозд Даниил Евгеньевич, Захаров Владимир Владимирович,
Иванова Ольга Алексеевна, магистранты 1 курса

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Проведен химический анализ состава стали старинных весов по цвету высекаемой искры, при обработке на абразивном круге. Приготовлен микрошлиф образца, исследована микроструктура с помощью микроскопа МЕТАМ – РВ 21. Статья может быть интересна для историков, металлургов и инженеров.

Ключевые слова: металлографический анализ, искровой анализ, микроструктура, термоупрочнение.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Ковка – это процесс, при котором металл постепенно изменяет свою форму и размеры под воздействием многократного и прерывного нажатия универсального инструмента, достигая заданных параметров [1].

В настоящей работе проведен экспресс анализ старинных весов, найденных в городе Оренбурге. Весы были изготовлены предположительно в 1915 году (рисунок 1).



Рисунок 1 – Старинные весы

На весах присутствует дефект, в виде изгиба подвесной части (рисунок 2).



Рисунок 2 – Дефект старинных весов

Использовался метод определения химического состава стали по цвету высекаемой искры при обработке на абразивном круге. Искры светло-желтые, разветвления присутствуют, звездочки отсутствуют, что говорит о минимальном содержании углерода. В начале получаем пучок искр от прикосновения заготовки к абразивному кругу. Путем сравнения с рисунком 3, определяем примерную марку стали [2].

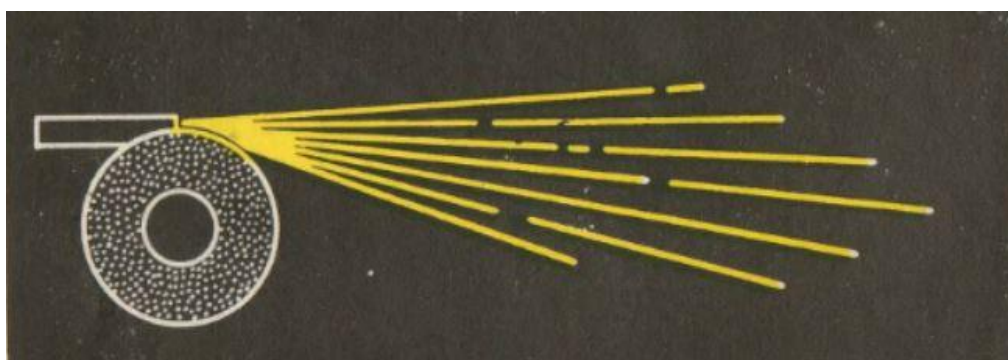


Рисунок 3 – Образец искры из справочника

Предположительно – сталь с содержанием углерода 0,10%. Отличить качественную сталь от стали обыкновенного качества не получится, так как примеси, из-за их малой концентрации, не оказывают значительного влияния на окраску и форму искр (рисунок 3) [2, 5].

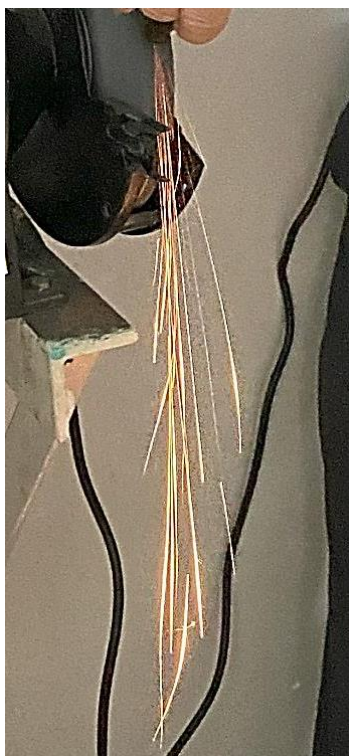
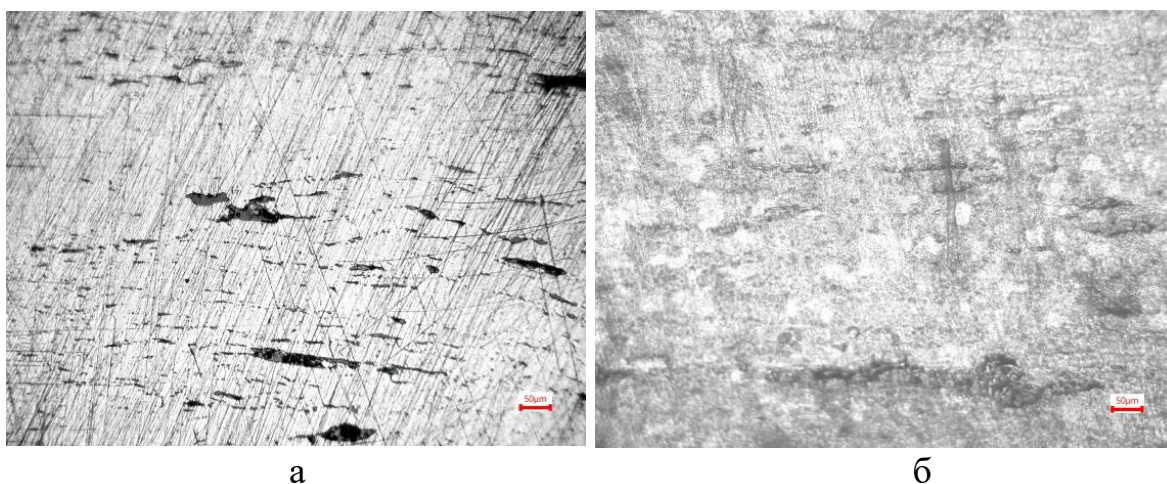


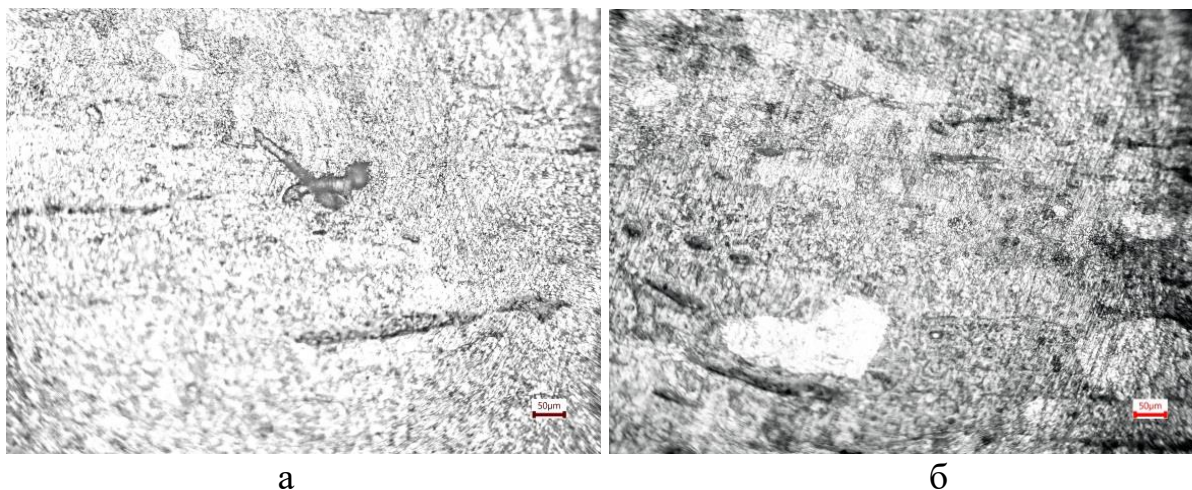
Рисунок 4 – Определение химического состава стали по цвету высекаемой искры с образца весов

Ввиду сохранения оригинальности весов сделать идеальный шлиф не удалось. Микроанализ проводили с помощью микроскопа МЕТАМ – РВ 21 при увеличении 100, 200 и 400, после полировки для наблюдения возможных дефектов и примесей с последующим травлением для изучения микроструктуры металла на фазовый состав. Травление проводилось раствором азотной кислоты HNO_3 в спирте (рисунок 5).



а – участок без травления; б – участок с травлением

Рисунок 5 – Микроструктура образца $\times 100$



а – участок без травления; б – участок с травлением

Рисунок 6 – Микроструктура образца $\times 200$



Рисунок 7 – Микроструктура образца после травления $\times 400$

Исследуемая сталь в данной обработке имеет ферритно-перлитную структуру, с явным преобладанием феррита. Феррит выражен светлыми участками, а перлит – темными (рисунок 7) [3].

На образце присутствуют дефекты пластического характера (вытянутые зерна в направлении течения металла при ковке), возникшие, предположительно, в процессековки (рисунок 6, а, б).

Также присутствуют такие дефекты, как неметаллические включения или окалина (рисунок 5, а)

Причинами появления дефектов может быть качество исходного материала и технологический режимковки. В таком случае могут образовываться наружные трещины, «заковывание окалины».

При обработкековки происходит термоупрочнение, что обеспечивает повышенные физико-механические свойства изделия. При этом используемая сталь обладает достаточно хорошей пластичностью из-за низкого содержания углерода [4].

Список использованной литературы

1. Каргин, В. Р. Теория и технологииковки: учебное пособие / В. Р. Каргин, Б. В. Каргин, Е. В. Арышевский. – Самара: Издательство Самарского университета, 2021 – 144 с.
2. Определение марки стали по искре: Брошюра для рабочих, И. Я. Ситанов – М., Машиностроение, 1968, 16 с.
3. Лахтин, Ю. М. Материаловедение: Учебник для машиностроительных вузов, Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
4. Арзамасов, В. Б. Материаловедение и технологии конструкционных материалов: Учебник для студентов высших учебных заведений / Арзамасов В. Б. и др., под редакцией Арзамасова В. Б. и Черепихина А. А. – М., Издательский центр «Академия», 2007, 446 с.
5. Шмаков, В. Г. Кузница в современном хозяйстве / Шмаков В. Г. – М.: Машиностроение. 1990. – 288 с.

HISTORICAL IDENTIFICATION OF STEEL ON THE EXAMPLE OF ANCIENT SCALES

Vladimir I. Yurshev, candidate tech. Associate Professor
Ilfat Sh. Tavtilov, candidate. tech. Associate Professor
Daniil E. Drozd, Vladimir V. Zakharov, Olga A. Ivanova, master's student,
1st year

Orenburg State University

Annotation. *A chemical analysis of the composition of the steel of ancient scales by the color of the spark being cut, when processed on an abrasive wheel, was carried out. A microplate of the sample was prepared, and the microstructure was studied using the METAM – PB 21 microscope. The article may be of interest to historians, metal scientists and engineers.*

Key words: *metallographic analysis, spark analysis, microstructure, thermal hardening.*

НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ИНСТРУМЕНТ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ PVD С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ PLATIT

Юршев Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент,

Кириленко Александр Сергеевич, канд. техн. наук,

Юршев Илья Владимирович, руководитель испытательной лаборатории

Климов Андрей Юрьевич, Бунина Вера Леоновна, магистранты 1 курса

Оренбургский государственный университет

***Аннотация.** Для изготовления изделий в машиностроении различной направленности, значительную часть занимает механической обработки резанием. В настоящее время, режущий инструмент изготавливается из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, или сверхтвердых синтетических материалов. Для обеспечения скоростей резания высоко применим инструмент из твердых сплавов. Это обусловлено тем, что твердый сплав имеет высокую твердость, высокую износостойкость и теплостойкость. Но несмотря на все достоинства твердосплавного инструмента, интенсификация производства, автоматизация процесса обработки, необходимость в обработке труднообрабатываемых материалов, предъявляют все более высокие требования к эксплуатационным свойствам режущего инструмента.*

Ключевые слова: покрытия, осаждение, CVD, PVD, DLC.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

В настоящее время быстрорежущие стали являются основным материалом для изготовления режущих инструментов, несмотря на то, что инструменты из твердых сплавов, минерало-керамики и сверхтвердых материалов обеспечивают более высокую производительность обработки. Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления быстрорежущего инструмента в виде фрез. Это связано с сочетанием высоких значений твердости (до 70 HRC) и теплостойкости (до 650°C) при высоком уровне механической прочности и ударной вязкости. Благодаря наличию в быстрорежущих сталях большого количества легирующих элементов, образующих с углеродом теплостойкие карбиды, образование карбидов железа практически не происходит и разупрочнение быстрорежущих сталей начинается при более высоких температурах по сравнению с углеродистыми и легированными сталями. Основной маркой группы быстрорежущих сталей нормальной теплостойкости является сталь Р6М5, которая пригодна для изготовления практически любых инструментов, предназначенных для резания сталей и сплавов нормальной обрабатываемости – углеродистых и низколегированных конструкционных сталей

Для изготовления режущих инструментов применяется широкая номенклатура инструментальных материалов, которые подразделяется на

четыре основные группы: инструментальные стали, твёрдые сплавы, керамика, сверхтвёрдые материалы.

В процессе обработки металлов резанием рабочие поверхности инструментов подвергаются сильному воздействию высоких контактных давлений и температур, а взаимодействие с обрабатываемым материалом и реагентами из окружающей среды приводит к протеканию интенсивных физико-химических процессов – адгезии, диффузии, окисления.

Для того чтобы режущий инструмент мог без контактной пластической деформации срезать необходимые объёмы обрабатываемого материала, твердость инструмента должна значительно превосходить твердость обрабатываемого материала. Поэтому одним из главных требований, предъявляемых к инструментальным материалам, является их высокая твердость.

При этом сильное увеличение твердости, как правило, приводит к увеличению хрупкости инструментальных материалов. Поэтому в зависимости от степени обработки существует оптимальное соотношение между твердостью инструментального и обрабатываемого материалов, которое обеспечивает необходимое соотношение твердости и других механических характеристик инструментальных материалов.

Чтобы режущие инструменты могли сопротивляться удалению частиц с их контактных площадок при взаимодействии с обрабатываемым материалом, инструментальные материалы должны обладать высокой износостойкостью. Этот показатель является комплексным свойством и зависит от всех вышеперечисленных свойств – твердости, прочности и теплостойкости.

Повышение износостойкости контактных площадок режущего инструмента может быть обеспечено применением различных методов поверхностной упрочняющей обработки (химико-термической, деформационной, нанесением износостойких покрытий, модификацией свойств поверхностного слоя инструмента и другими способами).

Работоспособность режущего инструмента во многом определяется свойствами его контактных площадок. Следовательно, повышение износостойкости контактных площадок режущего инструмента, изготовленных из традиционных инструментальных материалов, является эффективным направлением роста его работоспособности современные методы нанесения износостойких покрытий методом химического осаждения покрытий (CVD) и методом физического осаждения покрытий (PVD).

В основе методов CVD лежат реакции в парогазовой среде, окружающей инструмент, в результате которых образуются покрытия. Исходными продуктами служат газообразные галогениды, при взаимодействии которых с другими составляющими смесей (водородом, аммиаком, окисью углерода и т.д.) образуется покрытие. Разложение галогенида происходит за счет термической химической реакции при T равной от 1000 до 1100°C.

Так как реакция осаждения покрытий происходит при высоких температурах (T более 1000°C), то этим методом покрытие может наноситься только на инструменты из твердого сплава и режущей керамики.

Наибольшее распространение в качестве материала покрытий на твердых сплавах получили карбиды, нитриды, карбонитриды титана и оксид алюминия. Свойства покрытий сильно зависят от параметров процесса газозофазового осаждения. Наиболее существенную роль играет температура на границе раздела конденсата и инструментального материала. От температуры зависят структура покрытия, прочность его адгезии с твердым сплавом, причем последнее определяется также возможностью диффузионного взаимодействия пары «покрытие-твердый сплав». Взаимная диффузия повышает прочность сцепления покрытия и твердого сплава.

Методы PVD основаны на физическом испарении или распылении вещества в вакуумное пространство камеры с последующей подачей реакционного газа (N_2 , O_2 , CN_4 и др.). В результате плазмохимической реакции ионизированного потока металлической плазмы и реакционного газа на поверхности инструмента конденсируется покрытие.

Среди методов наибольшее распространение получили: конденсация вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ) и магнетронное распыление (метод МИР).

Широкие возможности варьирования температурой от $20^{\circ}C$ до $1000^{\circ}C$ в зонах нанесения покрытий позволяет использовать методы PVD в качестве универсальных для нанесения покрытий на режущий инструмент из быстрорежущей стали и твердого сплава. Методы PVD универсальны также и с точки зрения возможности нанесения гаммы многослойных, многослойных и композиционных покрытий.

Необходимо отметить, что несмотря на более высокую стоимость инструментов с покрытием, затраты потребителя на обработку единицы продукции по сравнению с аналогичными затратами при применении непокрытых инструментов ниже благодаря повышению либо стойкости инструмента, либо скорости резания и производительности обработки.

Компания «PLATIT» была создана фирмой «W. Blösch AG» в 1992 г. Фирма «Blösch AG» входит в группу компаний «BCI Blösch Corporation Group», основанную в 1947 г. в качестве поставщика материалов в сфере промышленности Швейцарии (рисунок 1).

Контроль макроструктуры формируемых многокомпонентных покрытий различного состава иллюстрирует рисунок 2 после обработки поверхности покрытия вращающимся шариком с абразивом. В результате контролируется послойно покрытие и его толщина, что важно для экспресс диагностики каждого процесса нанесения покрытия на образцах свидетелях.

Перед нанесением износостойких покрытий, режущий инструмент проходит несколько этапов.

На первом этапе режущий инструмент подвергается притуплению режущих кромок.

Цель подготовки кромок:

1. С подготовкой кромок:

- увеличение стабильности кромок;
- стабильная форма кромок;

- стабильная невысокая шероховатость поверхностей кромок;
- стабильный материал: например, для предотвращения выщелачивания кобальта.

2. Без подготовки кромок:

- низкие рабочие характеристики.

3. Различные требования к материалам заготовки:

- разные способы подготовки кромок.

4. Превышение оптимальной подготовки кромок:

- резкое снижение рабочих характеристик.

5. Оптимальная подготовка кромок:

- возможность существенного повышения стойкости.

Вторым этапом идет замер претупления режущих кромок при $\times 100$ увеличении на установке RMSKP-00200, где показывает радиус скругления, изображенный на рисунке 3.



Рисунок 1 – Общий вид вакуумно-плазменной установки для нанесения композиционных износостойких покрытий методом PVD модели Platit 411 plus

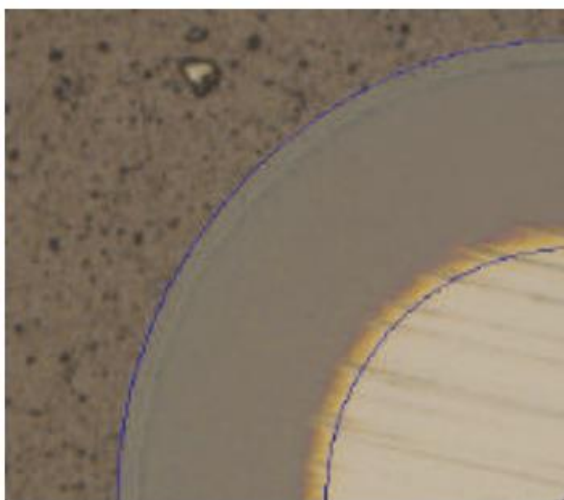


Рисунок 2 – Изображение макроструктуры формируемых многокомпонентных покрытий различного состава посредством их анализа на приборе Calotest

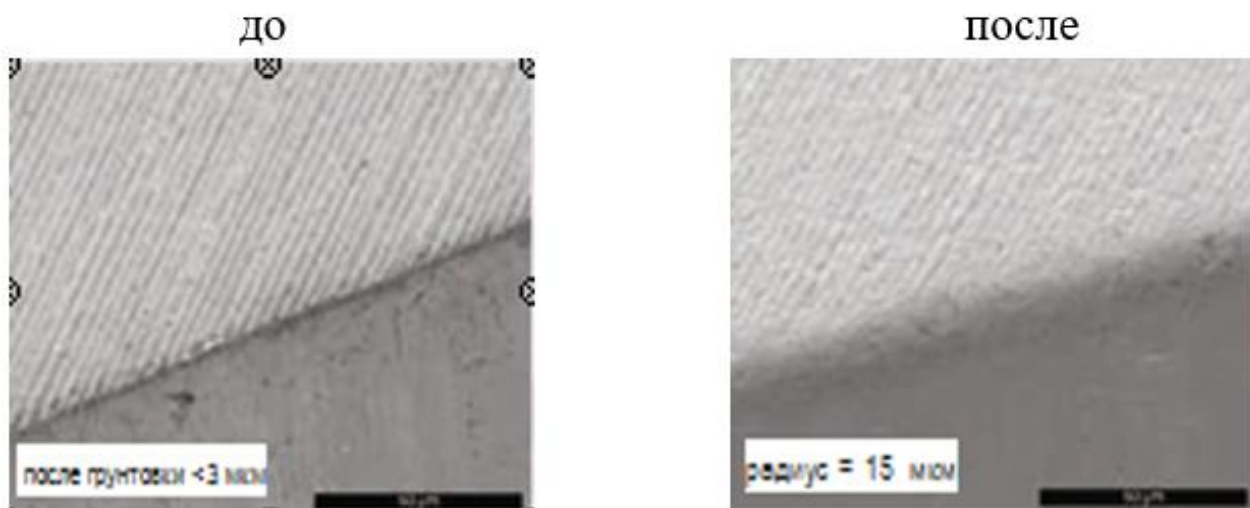


Рисунок 3 Радиус скругления режущих кромок

Третьим этапом идет ультразвуковая очистка режущего инструмента от масляных загрязнений. Мойка происходит в ванне. Обезжиривающее средство с защитой от коррозии для металлов. Состав средства: щелочь, поверхностно-активные вещества, ингибитор коррозии.

Четвертым этапом проходит мойка в однокамерной моечной машине, при температуре 80 градусов с использованием моющих средств. Мойка проводилась примерно 40 мин по определенной программе. После этого проводилось струйное промывание инструмента очищенной водой. Далее проводилась сушка.

Пятый этап включает в себя непосредственное покрытие инструмента износостойкими покрытиями.



Рисунок 4 – Образец из быстрорежущей стали с покрытием

Твердые покрытия PLATIT снижают абразивный, адгезионный и луночный износ инструментов при стандартной влажной, сухой и высокоскоростной обработке.

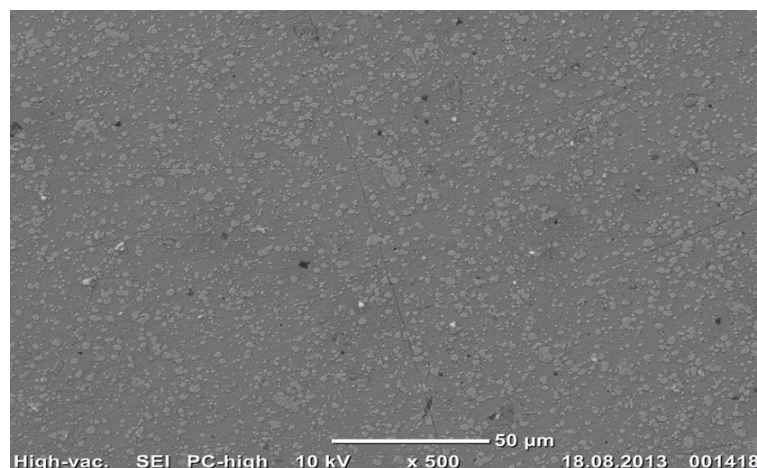


Рисунок 5 – Микроструктура Р6М5К5 при х500-кратном увеличении

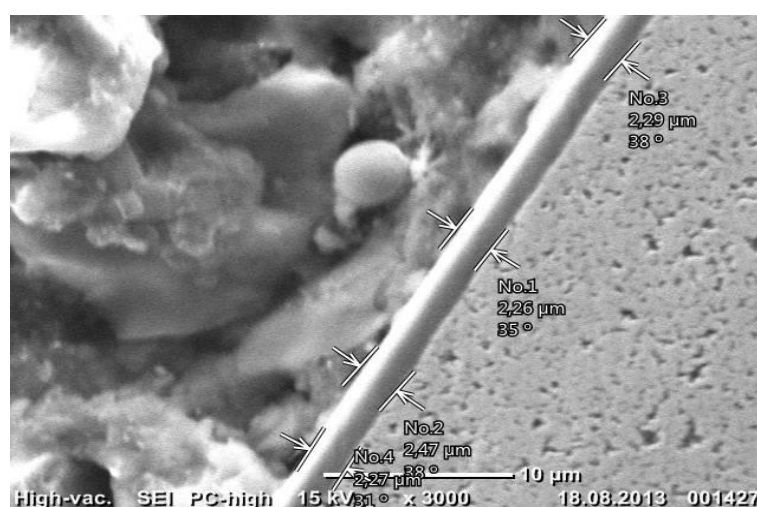


Рисунок 6 –Область с нанесенным покрытием и толщины покрытого слоя

Список используемых источников

1. Розанов, Л. Н. Вакуумная техника: Учеб. для вузов по спец. «Вакуумная техника» / Л.Н. Розанов. –2-е изд., перераб. и доп. –М.: Высш. шк. 1990. –320 с.
2. Мальцев, М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. 2-е изд / М.В. Мальцев. – М: Изд-во «Металлургия». –1970. –364 с.
3. Бойназаров, У. Р. Некоторые свойства нитридооксидных диффузионных покрытий / У. Р. Бойназаров, Ш. М. Тураев, Ж. С. Ибрагимов/ O‘zbekiston Kompozitsion Materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali (Toshkent-2023). –2023.– №2. – С. 73-76.
4. Бойназаров, У.Р. Коррозионная стойкость оксинитридных защитных покрытий с последующем оксидированием в парах воды и в растворах медного купороса / У. Р. Бойназаров, А. С. Хасанов // Jornal Of Advances In In Engineering Tecynology. –20.12.2023. –Per. №0158.

5. Бойназаров, У.Р. Влияния оксидирования на водяных парах и в растворе медного купороса на формирование нитридных диффузионных защитных слоев / У. Р. Бойназаров, А. С. Хасанов // Journal Of Advances In Engineering Technology. –20.12.2023. –Рег. №0159.

6. Properties of oxynitride steel coatings obtained through three-stage processes of nitriding combined with oxidation / U. R. Boynazarov, L. G. Petrova, A. A. Brezhnev and P. S. Bibikov // Metallurgist. –2021. –Vol. 65. –Nos. 7-8. November, (Russian Original Nos. 7-8, July–August, 2021).

APPLYING WEAR-RESISTANT COATINGS TO TOOLS MADE OF HIGH-SPEED STEEL USING PVD METHOD USING THE PLATIT INSTALLATION

Vladimir I. Yurshev, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor

Alexander S. Kirilenko, Ph.D. tech. sciences,

Ilya V. Yurshev, head of the testing laboratory

Andrey Yu. Klimov, Vera L. Bunina master's student, 1st year

Orenburg State University

Annotation. *For the manufacture of products in mechanical engineering of various directions, a significant part is occupied by mechanical cutting. Currently, cutting tools are made of high-speed steels, hard alloys, or super-hard synthetic materials. To ensure cutting speeds, tools made of hard alloys are highly applicable. This is due to the fact that the carbide alloy has high hardness, high wear resistance and heat resistance. But despite all the advantages of carbide tools, the intensification of production, automation of the processing process, and the need for processing difficult-to-cut materials place ever higher demands on the performance properties of cutting tools.*

Key words: *coatings, deposition, CVD, PVD, DLC.*

НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Юршев Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент,
Кириленко Александр Сергеевич, канд. техн. наук,
Юршев Илья Владимирович, руков. испытательной лаборатории,
Климов Андрей Юрьевич, магистрант, 1 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Для изготовления изделий в машиностроении различной направленности, значительную часть занимает механической обработки резанием. В настоящее время, режущий инструмент изготавливается из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, или сверхтвердых синтетических материалов. Для обеспечения скоростей резания высоко применим инструмент из твердых сплавов. Это обусловлено тем, что твердый сплав имеет высокую твердость, высокую износостойкость и теплостойкость. Но несмотря на все достоинства твердосплавного инструмента, интенсификация производства, автоматизация процесса обработки, необходимость в обработке труднообрабатываемых материалов, предъявляют все более высокие требования к эксплуатационным свойствам режущего инструмента.

Ключевые слова: покрытия, осаждение, CVD, PVD, DLC.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Значительную часть в изготовлении изделий различной направленности в машиностроении занимает механическая обработка резанием. В настоящее время для обеспечения высоких скоростей резания в машиностроении применяются режущие инструменты, изготовленные из быстрорежущих сталей, твердых сплавов или сверхтвердых синтетических материалов [4].

Особенно эффективным в этом случае является использование инструментов из твердых сплавов. Твердосплавный инструмент имеет высокую твердость, износостойкость и теплостойкость, что делает его особенно привлекательным для использования в производстве. Однако, с увеличением интенсивности производства, автоматизации процесса обработки и необходимости обрабатывать труднообрабатываемые материалы, возрастают требования к эксплуатационным свойствам режущего инструмента. Мы ищем способы улучшить его характеристики, чтобы соответствовать всем более высоким требованиям. В настоящее время использование различных технологий нанесения износостойких покрытий на поверхность режущего инструмента является современным подходом к улучшению его эксплуатационных свойств. Такое нанесение упрочняющих покрытий на инструмент становится все более актуальным и перспективным направлением развития [1].

Для упрочнения твердосплавных инструментов широко применяются различные способы, среди которых наибольшие успехи достигнуты в следующих методах:

- метод физического осаждения (PVD);
- метод химического осаждения покрытий (CVD);
- метод осаждения покрытий - алмазоподобных (DLC), использующий как химическое осаждение (CVD), так и физическое осаждение (PVD).

Метод физического осаждения покрытий, PVD (Physical Vapor Deposition), основан на осаждении элементов покрытия в парообразном агрегатном состоянии с предварительной ионизацией на твердой подложке. Однако, у этой технологии есть некоторые недостатки. Во-первых, требуется сложное технологическое оборудование, включая вакуумную технику. Во-вторых, форма покрываемых изделий ограничена. Также, толщина покрытий, полученных этим методом, обычно невелика, и в некоторых случаях требуется нанесение многослойных покрытий [2].

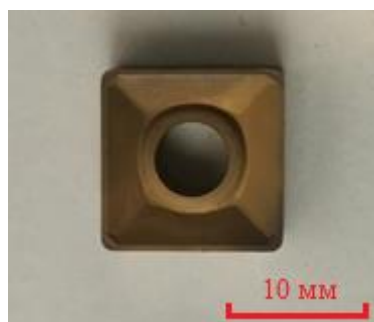


Рисунок 1 – Твердосплавная пластина с PVD покрытием

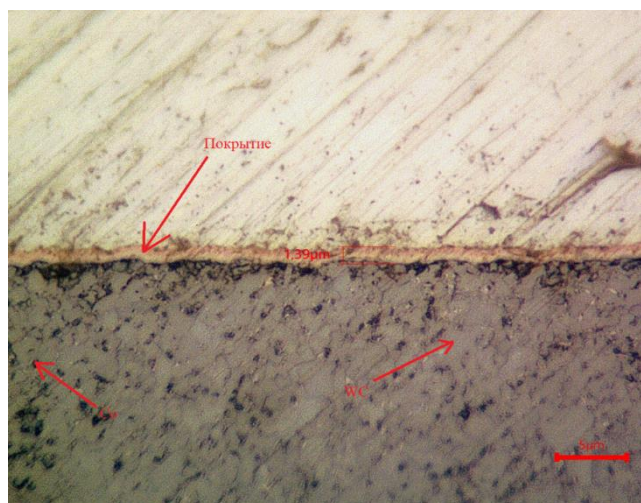


Рисунок 2 – Образец с покрытием TiN травленный, x1000

Метод химического осаждения покрытий, CVD (Chemical Vapor Deposition), основан на гетерогенных химических реакциях в парогазовой среде, которые приводят к образованию различных покрытий на поверхности инструмента [3].

Основной элемент покрытия восстанавливается из галогенидов металла водородом в присутствии других компонентов газовой смеси, таких как аммиак, окись углерода и т.д. В использовании CVD наиболее распространены соединения, такие как TiC, TiCN, TiN, CrAlSi. Однако, у CVD технологий есть некоторые общие недостатки. Во-первых, требуется сложное оборудование. Во-вторых, для этого метода необходимо использование ядовитых и взрывоопасных газов и соединений.

На рисунке 3 показаны изображения поперечных сечений образцов с покрытием МОС БАРХОС. Представленные фотографии дают общее представление о структуре исследуемых покрытий и толщине их слоев, сформированных при выбранном сочетании технологических режимов.

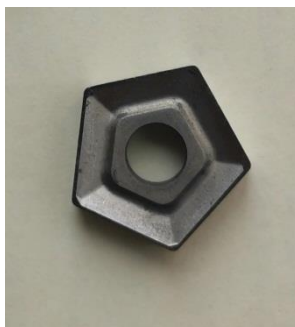


Рисунок 3 – Твердосплавная пластина с CVD покрытием

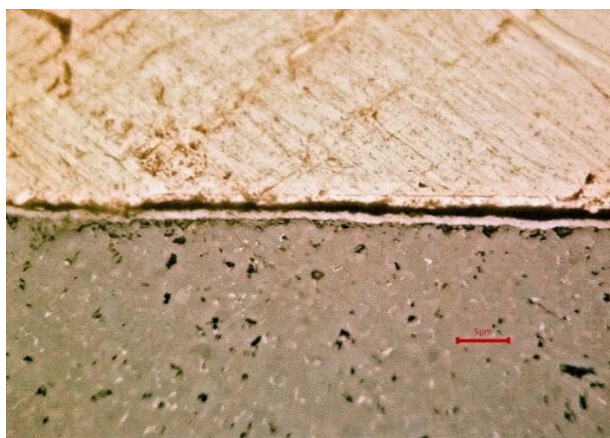


Рисунок 4 – Образец с покрытием МОС БАРХОС не травленный,
x1000

Рекомендуемые режимы осаждения покрытий выбираются с учетом необходимости получения заданного набора физико-механических свойств покрытия при максимальной эффективности процесса. Покрытия с горизонтально-слоистыми структурами обладают наилучшими комплексами эксплуатационных свойств при температурах от 410 °С до 470 °С. Поэтому для выбора материала подложки необходимо учитывать отпускные процессы и отсутствие компонентов, которые испаряются при температурах выше 400 °С в вакууме. Для обеспечения высоких скоростей роста, оптимальная температура

подложки составляет от 430 °С до 450 °С. Толщина наносимого покрытия зависит от условий эксплуатации. Например, для режущего инструмента оптимальная толщина составляет 3-5 мкм.

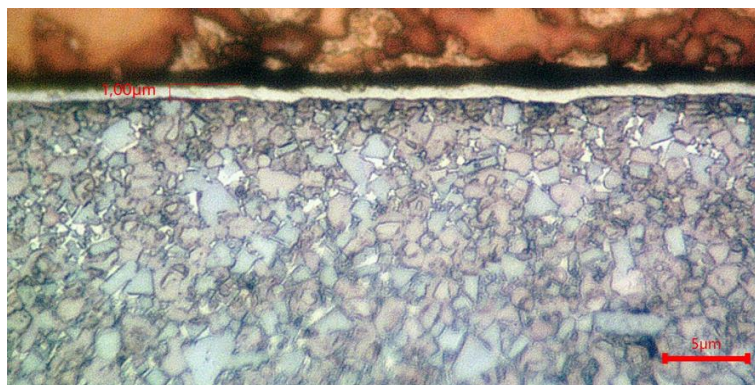


Рисунок 5 – Покрытие МОС БАРХОС

Покрытие толщиной 1-3 мкм не будет значительно повышать износостойкость режущего инструмента. Однако для сверл диаметром 1 мм оптимальная толщина покрытия составляет 1 мкм.

Покрытие толщиной 5-10 мкм является достаточно толстым и может значительно изменить размеры и шероховатость пластины, что в свою очередь может негативно сказаться на обработке металлов инструментом и изменить геометрию режущего инструмента. При увеличении толщины покрытия также снижается твердость каждого последующего слоя. Увеличение толщины покрытия также снижает адгезию покрытия. Однако, для деталей, работающих в условиях коррозии, необходима толщина покрытия 10-15 мкм.

На нетравленной микроструктуре с покрытием МОС БАРХОС видно четко выраженные карбиды вольфрама. Также можно заметить темную область в форме треугольника, которая образовалась при вырывании карбида в процессе шлифования. Это свидетельствует о недостаточной адгезионной прочности карбидов в этой области твердого сплава [5].

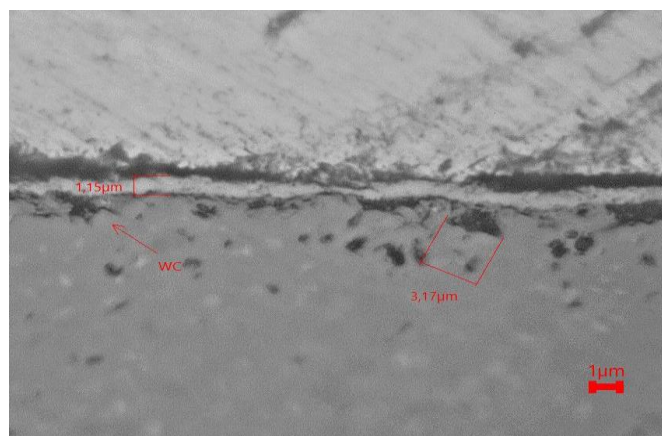


Рисунок 6 – Микроструктура МОС БАРХОС (не травленная), x1000

Покрытие МОС БАРХОС применяется для равномерного износа и сопротивления сколам благодаря его высокой термостойкости и отличной производительности в сложных условиях резания, даже без применения СОЖ.

Существует метод упрочнения инструмента на агрегате Piatit. По физико-механическим параметрам он схож с методом CVD, но более трудоемкий. Скорость осаждения при использовании метода CVD составляет около 1 микрона в минуту, в то время как на установке Piatit скорость составляет 1-1,5 микрона в час. Для метода CVD требуется средний вакуум, в то время как для Piatit требуется высокий вакуум.

На рисунке 7 изображена фреза с покрытием Piatit.

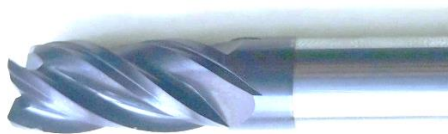


Рисунок 7 – Фреза с покрытием Piatit

На рисунке 8 изображена фреза с применением метода CVD.



Рисунок 8 – Фреза с покрытием CVD

Чтобы количественно оценить величину критических нагрузок, при которых покрытия отрываются от твердосплавной подложки, и на каком участке траектории движения индентора это произошло, производят метод царапания образцов.

Датчики акустической эмиссии регистрировали пиковые нагрузки, указывающие на начало проникновения индентора в покрытие, начало первой трещины, отслаивание локальных участков покрытия от подложки и критической (разрушающей) нагрузки. Можно видеть, что для образцов пиковые нагрузки смещены вправо. В частности, критическая нагрузка соответствует значительно более высоким силам.

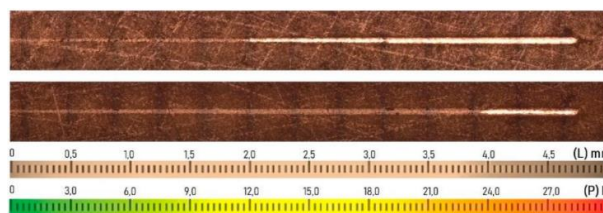


Рисунок 9 – Следы перемещений индентора на поверхности образцов из твердого сплава и соответствующими нагрузками от 1 до 30 Н

Для проверки адгезионного соединения проводится вдавливание индентора Роквелла. На рисунке 10 показаны микроизображения области введения индентора в образцах. Видно, что проникновение индентора в образец без подслоя сопровождается отслаиванием микросечений покрытия по окружности на определенном расстоянии от области вдавливания (рисунок 10).

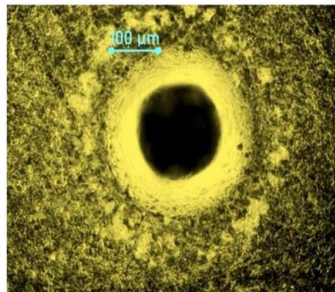


Рисунок 10 – Область вдавливания индентора Роквелла в поверхностном слое образцов из твердого сплава

Нанесение упрочняющего покрытия на твердый сплав является важной частью процесса изготовления режущего инструмента. Покрытие значительно повышает эрозионную стойкость, устойчивость к ударам и трещинам, а также износостойкость твердосплавного инструмента.

Среди различных методов нанесения покрытий, метод химического осаждения покрытий (CVD) является наиболее эффективным и менее трудоемким. Он позволяет создавать тонкие и равномерные покрытия с высокой адгезией к поверхности инструмента. Метод CVD основан на химической реакции в газовой фазе, при которой покрытие формируется из испаренных реактивных газов.

Благодаря методу CVD можно достичь высокой твердости и прочности покрытия, а также контролировать его состав и структуру. Это позволяет создавать инструменты с оптимальными свойствами для различных видов обработки материалов.

Выводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что метод химического осаждения покрытий (CVD) является наиболее эффективным и предпочтительным для нанесения упрочняющих покрытий на твердые сплавы режущих инструментов.

Список использованной литературы

1. Соколов, А. Г. Технологии формирования требуемых механических и физико-химических свойств поверхности изделий (покрытия в машиностроении): Технические науки Евразийский научный журнал 5 учебное пособие для студентов, магистров и аспирантов направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / А. Г.

Соколов, В. В. Иосифов, А. Г. Схиртладзе. –Краснодар: Издательский Дом –Юг, 2016. –212 с.

2. Ильин, А. А. Покрытия различного назначения для металлических материалов: Учебное пособие / А. А. Ильин, Г. Б. Строганов, С. В. Скворцова. – М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013. –144 с.

3. Мальцев, М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. 2-е изд./ М. В. Мальцев.–М.: Изд-во «Металлургия», 1970. –364 с.

4. Бойназаров, У. Р. Некоторые свойства нитридоксидных диффузионных покрытий / У. Р. Бойназаров, Ш. М. Тураев, Ж. С. Ибрагимов/ O‘zbekiston Kompozitsion Materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali (Toshkent-2023). –2023.– №2. – С. 73-76.

5. Бойназаров, У.Р. Коррозионная стойкость оксинитридных защитных покрытий с последующем оксидированием в парах воды и в растворах медного купороса / У. Р. Бойназаров, А. С. Хасанов // Jornal Of Advances In Engineering Tecynology. –20.12.2023. –Рег. №0158.

6. Бойназаров, У.Р. Влияния оксидирования на водяных паров и в растворе медного купороса на формирование нитридных диффузионных защитных слоев / У. Р. Бойназаров, А. С. Хасанов // Jornal Of Advances In Engineering Tecynology. –20.12.2023. –Рег. №0159.

7. Properties of oxynitride steel coatings obtained through three-stage processes of nitriding combined with oxidation / U. R. Boynazarov, L. G. Petrova, A. A. Brezhnev and P. S. Bibikov // Metallurgist. –2021. –Vol. 65. –Nos. 7-8. November, (Russian Original Nos. 7-8, July–August, 2021).

APPLICATION OF WEAR-RESISTANT COATINGS ON CARBIDE TOOLS

**Vladimir I. Yurshev, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor,
Alexander S. Kirilenko, Ph.D. tech. sciences,
Ilya V. Yurshev, head of the testing laboratory,
Andrey Yu. Klimov, master's student, 1st year**

Orenburg State University

Annotation. *For the manufacture of products in mechanical engineering of various directions, a significant part is occupied by mechanical cutting. Currently, cutting tools are made of high-speed steels, hard alloys, or super-hard synthetic materials. To ensure cutting speeds, tools made of hard alloys are highly applicable. This is due to the fact that the carbide alloy has high hardness, high wear resistance and heat resistance. But despite all the advantages of carbide tools, the intensification of production, automation of the processing process, and the need for processing difficult-to-cut materials place ever higher demands on the performance properties of cutting tools.*

Key words: *coatings, deposition, CVD, PVD, DLC.*

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФИЛАМЕНТА PLA

**Бикмухаметова Марина Александровна, кандидат экономических наук,
доцент**

Коваль Артем Александрович, магистрант, 2 курс

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация: настоящая статья посвящена изучению физико-механических свойств образцов, изготовленных из филамента PLA, по аддитивной технологии, путем проведения испытания на растяжение (по ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение).

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, нефтегазовая отрасль, испытания, филамент, физико-механические характеристики.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

Аддитивное производство, известное как 3D-печать, представляет собой трансформационный подход к промышленному производству, позволяющий создавать более легкие и прочные детали, и активно использующийся в последнее десятилетие в строительстве, машиностроении, изготовлении медицинских приборов и других сферах деятельности [1].

Материалы, применяемые в аддитивном производстве, включают в себя полимеры, металлы и их композиты. В настоящей работе проводилось исследование физико-механических свойств филамента PLA двух российских производителей, с целью рассмотрения возможности импортозамещения отдельных деталей или узлов в производственных условиях предприятий нефтегазовой отрасли.

Филамент или 3D пластик – это материал на основе базовых полимеров или их сочетаний, он вытянут в виде твердой нити и размещен на бобину для удобства 3D-печати данных материалов, а также перевозки и хранения. К базовому материалу может быть добавлен какой-либо состав или вещество для придания напечатанным моделям тех или иных свойств [2].

Поскольку в составе филамента PLA присутствует кукуруза и сахарный тростник, принято решение рассмотреть влияние воды на изменение физико-механических свойств данного материала, для чего образцы разделили на 5 групп и погрузили в воду на разные промежутки времени. Информация по группам образцов представлена в таблице 1.

Для испытания на растяжение изготовлены пропорционально плоские образцы Тип 1 – Плоские образцы с головками. Чертеж образца представлен (рисунок 1) в соответствии с ГОСТ 11262-2017 [3].

Таблица 1 – Характеристики образцов для исследования

Номер группы	1	2	3	4	5
Количество испытываемых образцов, шт.	6	6	6	6	6
Контакт со средой	без помещения в воду	1 неделя в воде	2 недели в воде	1 месяц в воде	2 месяца в воде

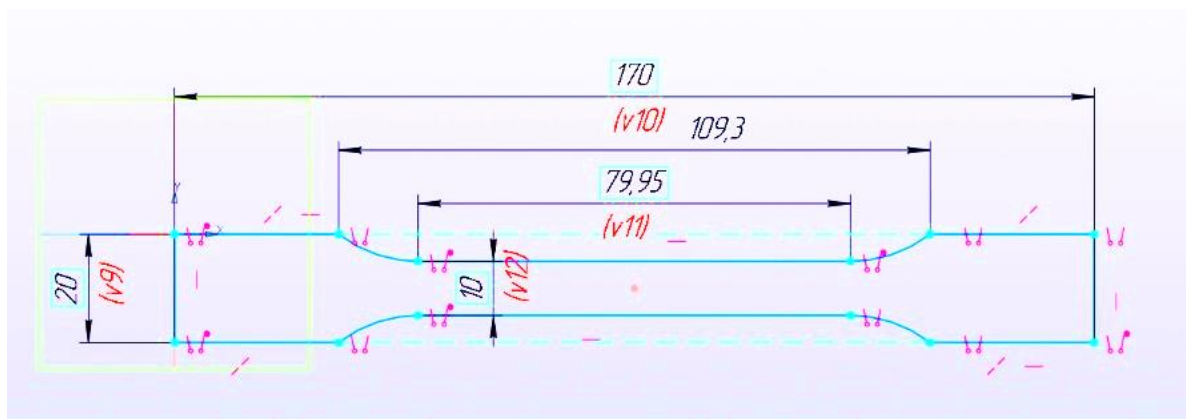


Рисунок 1 – Чертеж образца

Для проведения испытаний были учтены требования ГОСТ 28840 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб» [4], ГОСТ 166 «Штангенциркули. Технические условия» [5] и ГОСТ 427 «Линейки измерительные металлические» [6]. Закрепление образца на Сервогидравлической испытательной системе Instron модели 8801 представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Сервогидравлическая испытательная система Instron, модель 8801

Результаты исследования двух производителей филамента PLA представленных на Российском рынке представлены на рисунках 3-4.

Как показали исследования, при прочих равных условиях физико-механические свойства одного типа филамента, но разных производителей, имеют разницу по значениям в 5-10%. В данной работе филамент №2 является наиболее прочным.

На следующем этапе проведено исследования свойств филамента №2 с различной наполняемостью (30, 60 и 100%). Результаты представлены на рисунке 5.

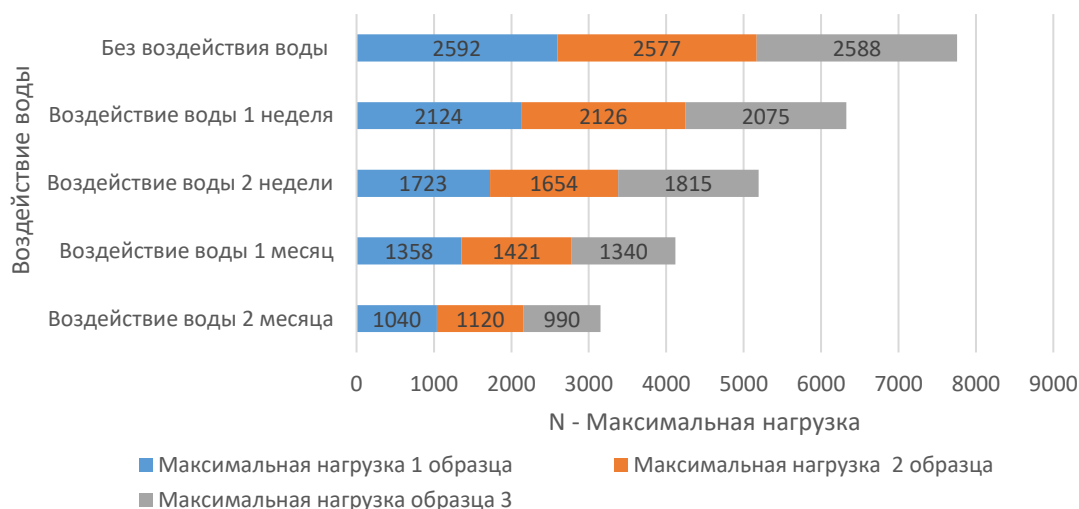


Рисунок 3 – Максимальная нагрузка образцов филамента PLA №1

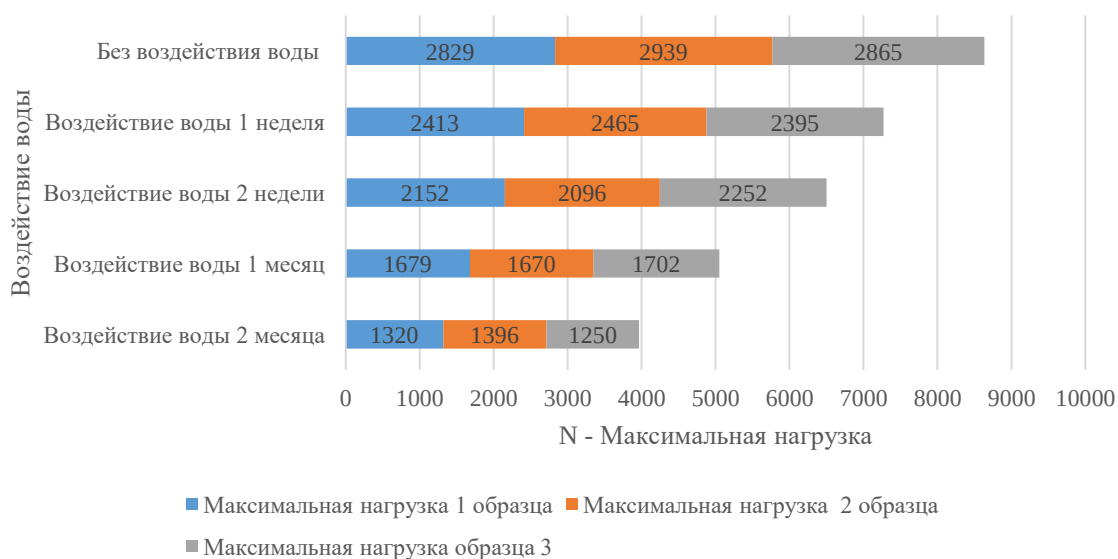


Рисунок 4 – Максимальная нагрузка образцов филамента PLA №2

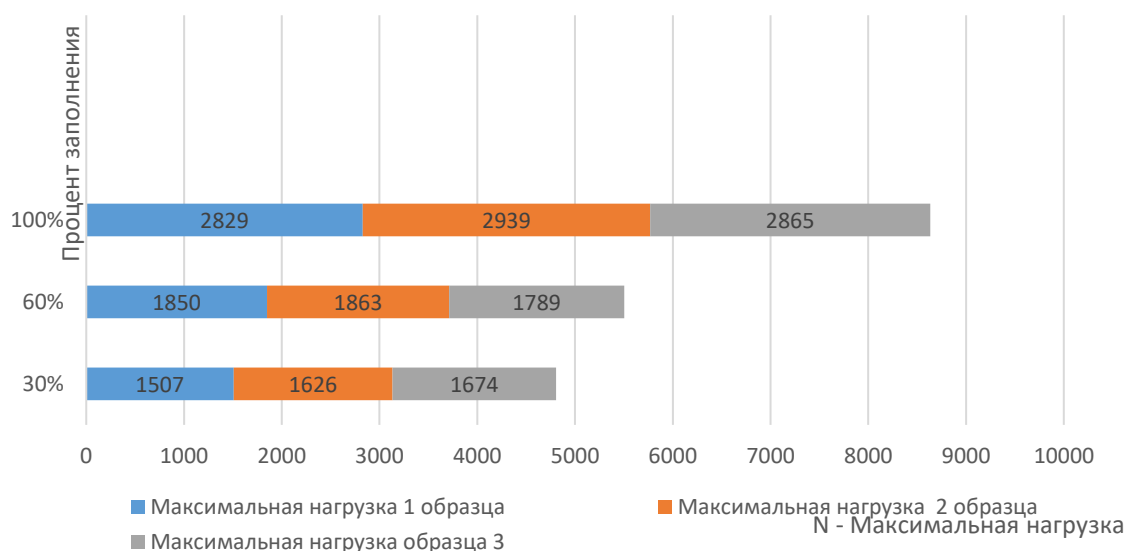


Рисунок 5 – Максимальная нагрузка образцов филамента PLA в зависимости от его объема заполняемости

Полученные результаты позволили оценить возможность применения филамента PLA в качестве конструкционного материала изделий (объектов) нефтегазовой отрасли и перед исследователем поставлены новые задачи.

Список использованной литературы

1. Новиков, С.В. Аддитивные технологии: состояние и перспективы : учебное пособие [Электронный ресурс] / С.В. Новиков, К.Н. Рамазанов // Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2022. – URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2022-41.pdf (дата обращения 25.05.2023).
2. Технические термины, используемые в 3D печати: [Электронный ресурс] // «База знаний Мультизмол». URL: <https://multismol.ru/tekhnicheskie-terminy/> (дата обращения 25.05.2023)
3. ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Методы испытания на растяжение. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158280> (дата обращения 25.05.2024).
4. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжении, сжатие и изгиб. Общие технические требования. [Электронный ресурс]. – URL <https://docs.cntd.ru/document/1200023577> (дата обращение 12.09.2023).
5. ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012675> (дата обращение 25.10.2023).
6. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия. [Электронный ресурс]. – URL <https://docs.cntd.ru/document/1200004030> (дата обращение 15.11.2023).

INVESTIGATIONS OF THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF THE PLA FILAMENT

Marina A. Bismukhametova, Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor

Artyom A. Koval, undergraduate, 2nd year

Ufa State Petroleum Technical University

Abstract: *this article is devoted to the study of the physico-mechanical properties of samples made of PLA filament using additive technology, by conducting a tensile test (according to GOST 11262-2017). The tensile test method).*

Keywords: *additive technologies, 3D printing, oil and gas industry, testing, filament, physical and mechanical characteristics.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОДРАЗДЕЛЕНИИ

Кравцов Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент,
Корнилов Владимир Витальевич, Климов Андрей Юрьевич, магистранты,
1 курс,
**Алмагамбетов Салават Ахметуллинович, Друговская Наталья
Николаевна**, магистранты, 2 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье рассмотрены главные аспекты модернизации технологического процесса, а также производственного подразделения термической обработки

Ключевые слова: термическая обработка, технологический процесс, модернизация, лазерная термообработка.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Термическая обработка материалов широко применяется во многих отраслях производства, таких как автомобилестроение, авиастроение, энергетическая отрасль, инструментальное производство и другие. Она позволяет улучшать свойства материалов, используемых в этих отраслях, такие как прочность, твёрдость, долговечность [1 – 6].

Модернизация технологического процесса и производственного подразделения термической обработки, в частности, является одной из главных целей предприятия. Это позволит предприятию улучшить свою производительность и быть более конкурентноспособным на рынке. Первым и наиболее важным аспектом модернизации является внедрение новых методов и технологий в термическую обработку материалов. Новые методы и технологии позволяют сократить время обработки, повысить качество и точность процесса, а также расширить диапазон обрабатываемых материалов. Подробнее рассмотрим некоторые из них. Лазерная термообработка, также известная как лазерное поверхностное упрочнение, представляет собой процесс модификации поверхности, используемый для увеличения износостойкости или продления срока службы элементов. Лазерная термообработка является высоко-технологичным методом модернизации. Её суть заключается в быстром нагреве зоны обработки выше температуры фазового перехода и последующем охлаждении за счет теплоотвода во внутренние объёмы материала (рисунок 1). Это меняет микроструктуру и свойства материала. Используется преимущественно для металлов, но также обработке может быть подвержен пластик и керамика. Одно из преимуществ лазерной термообработки заключается в её точности. Лазерный луч концентрируется на очень маленькой площади, что позволяет осуществлять точную и глубокую термическую

обработку. Это позволяет использовать этот вид термообработки для таких областей, как микроэлектроника и медицинская промышленность. В настоящее время все большее применение находит плазменная поверхностная термообработка. Она основана на использовании плазменного пучка для нагрева и обработки поверхности материала. Плазма обеспечивает высокую переносимость энергии, что позволяет достичь большей глубины нагрева. Сначала происходит предварительный нагрев поверхности до высокой температуры, затем уже происходит нагрев с использованием плазменного пучка. Это позволяет получить желаемые свойства материала, такие как повышенная прочность, твердость и структура. Данный метод является очень точным и надежным, так как хорошо контролируется.

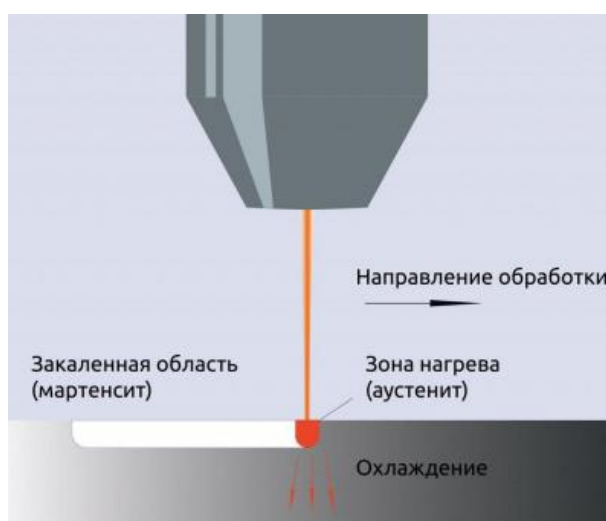


Рисунок 1 – Лазерная термообработка

Автоматизация и цифровизация производства также являются важной частью модернизации и оптимизации производства. Они позволяют улучшить эффективность и надежность процесса, а также экономить большое количество времени, потому что ведется более точный контроль над параметрами обработки. Рассмотрим подробнее эти методы.

Автоматизированные системы загрузки и выгрузки являются одним из вариантов модернизации технологического процесса. Использование роботов и автоматизированных систем в цехах способствует повышению производительности и снижению времени цикла. Роботы могут быть использованы для загрузки и выгрузки обрабатываемых деталей на термическом оборудовании (рисунки 2, 3). Они обладают высокой точностью, скоростью и надежностью работы, что позволяет сократить время цикла и улучшить качество процесса. Автоматизированные системы также предоставляют возможность мониторинга и контроля процесса, что способствует более эффективной и надежной работе.

Цифровая система мониторинга и контроля параметров процесса обработки является очень значимым элементом. Система позволяет практически

полностью следить за процессом, оперативно реагировать на изменения в процессе и контролировать его (рисунок 4).

Система собирает и анализирует большие объемы данных о параметрах процесса, таких как температура, время, давление и другие показатели. Это позволяет операторам следить за процессом удаленно, а также проводить автоматическую диагностику и оптимизацию процесса. Цифровая система контроля также предоставляет возможность записи и анализа данных для последующего применения в качестве источника знаний и улучшения процесса.



Рисунок 2 – Антропоморфный промышленный робот



Рисунок 3 – Робот ARKODIM и конвейер

Необходимым шагом в нынешних реалиях является модернизация технологического процесса, чтобы быть конкурентоспособным на рынке и производить продукцию, удовлетворяющую запросам потребителей. Внедрение новых технологий, автоматизация и цифровизация процессов, а также

повышение квалификации персонала – все это способствует повышению эффективности, качества и конкурентоспособности предприятий. Результатом модернизации будет улучшение производственных показателей, снижение затрат и повышение уровня обслуживания клиентов.

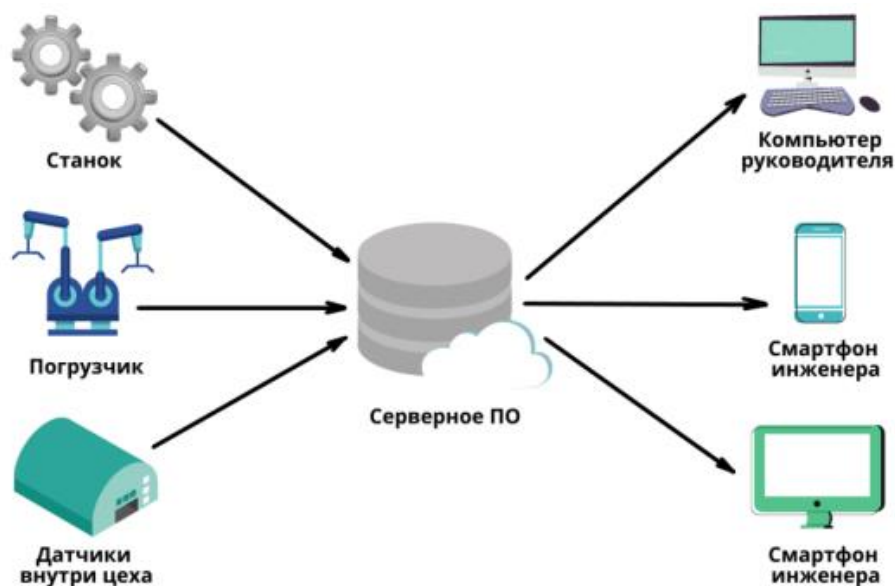


Рисунок 4 – Схема работы системы мониторинга и контроля

Список использованной литературы

- 1 Соколов, А.Г. Технологии формирования требуемых механических и физико-химических свойств поверхности изделий (покрытия в машиностроении) / А.Г. Соколов, В.В. Иосифов, А.Г. Схиртладзе // Евразийский научный журнал. – Краснодар: Издательский дом «Юг», 2016. – 212 с.
- 2 Ильин А.А. Покрытия различного назначения для металлических материалов: учебное пособие / А.А. Ильин, Г.Б. Строганов, С.В. Скворцова. – М.: Альфа-М, 2013. – 144 с.
- 3 Лахтин, Ю.М. Химико-термическая обработка металлов: учебное пособие для вузов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
- 4 Shmatov, A.A. Low-temperature and high-temperature thermochemical hardening technologies for hard alloys / A.A. Shmatov // ESDA 2006: Proceedings of the International Conference. –Turin, Italy, 2006. – P.127-132.
- 5 Иващенко, А.П. Анализ способов повышения стойкости материалов режущих инструментов / А.П. Иващенко // Международный журнал фундаментальных и прикладных исследований. –2015. – № 12.– С. 389-392.
6. Термическая обработка в машиностроении. Справочник./ Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF HEAT TREATMENT IN A PRODUCTION DEPARTMENT

**Alexander G. Kravtsov, Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,**

**Vladimir V. Kornilov, Andrey Yu. Klimov, undergraduates, 1st year,
Salavat A. Almagambetov, Natalia N. Drugovskaya, undergraduates, 2nd
year**

Orenburg State University

Annotation. *This article discusses the main aspects of the modernization of the technological process, as well as the production unit of heat treatment*

Keywords: *heat treatment, technological process, modernization, laser heat treatment.*

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Репях Виталий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент

Рудницкий Александр Васильевич, обучающийся, 4 курс

Чадин Андрей Юрьевич, Кашаева Алиса Халиловна магистранты 1 курса

Оренбургский государственный университет

***Аннотация.** В статье представлены некоторые материалы, применяемые для газотермического метода нанесения покрытий, а также охарактеризованы покрытия, получаемые в результате газотермического напыления.*

***Ключевые слова:** материалы, напыление, покрытие, пористость*

***Код и рубрика:** 55.00.00 Машиностроение*

Покрытия, получаемые газотермическим методом напыления, имеют разное назначение. Существуют защитные, технологические и конструкционные покрытия. Защитные предназначены для обеспечения длительной работы узлов и деталей в различных условиях эксплуатации. Технологические защищают поверхности деталей при технологическом переделе. Конструкционные предназначены для восстановления геометрической формы и размеров, установленных рабочим чертежом изделия или детали, а также для придания новых или восстановления старых свойств поверхностного слоя [1].

В зависимости от того, в каких условиях будет работать и эксплуатироваться деталь, необходимо выбирать такие материалы, которые обеспечат выполнение данных задач. В качестве износостойких покрытий применяют антифрикционные материалы на основе олова (баббиты, бронзы). При работе в условиях сухого трения используют связку карбид вольфрама – кобальт. При температурах до 900 °С используют связку карбид хрома – нихром. При температурах выше 900 °С используют материалы, которые образуют устойчивые оксиды: нихром, покрытия с твердыми смазочными материалами, такими как нитрид бора, дисульфид молибдена. В условиях абразивного изнашивания используют самофлюсующиеся покрытия, имеющие высокую твердость, в составе которых преобладают бориды и карбиды.

Детали, восстановленные газотермическим методом и имеющие высокую пористость 10-15%, имеют более высокую устойчивость к изнашиванию в отличие от новых деталей. В пример можно привести вал двигателя внутреннего сгорания, который при прекращении смазывания в течение определенного времени выйдет из строя. Напыленное покрытие, ввиду своей высокой пористости, прослужит дольше, так как в поры забивается смазочный материал и в условиях недостаточного смазывания он будет обеспечивать тонкую масляную пленку, которая ненадолго защитит поверхностный слой. Заедание и

задир заводского вала происходит в течение 2-3 часов, в то время как вал с нанесенным покрытием прослужит примерно в 8-10 раз дольше.

Жаростойкие покрытия классифицируются образованием окалины, которая обеспечивает надежную защиту подложки и самого покрытия. Жаростойкими являются Ni-Al, Ni-Cr, Ni-Cr-Al, Ni-Co-Cr-Al и др.

Теплозащитные покрытия (ТЗП) должны обладать следующими свойствами:

- низкое значение коэффициента теплопроводности λ ;
- высокая температура плавления.

На рисунках 1 и 2 представлены зависимость теплопроводности плотных оксидных покрытий от температуры и зависимость теплопроводности покрытий разной плотности от температуры [2].

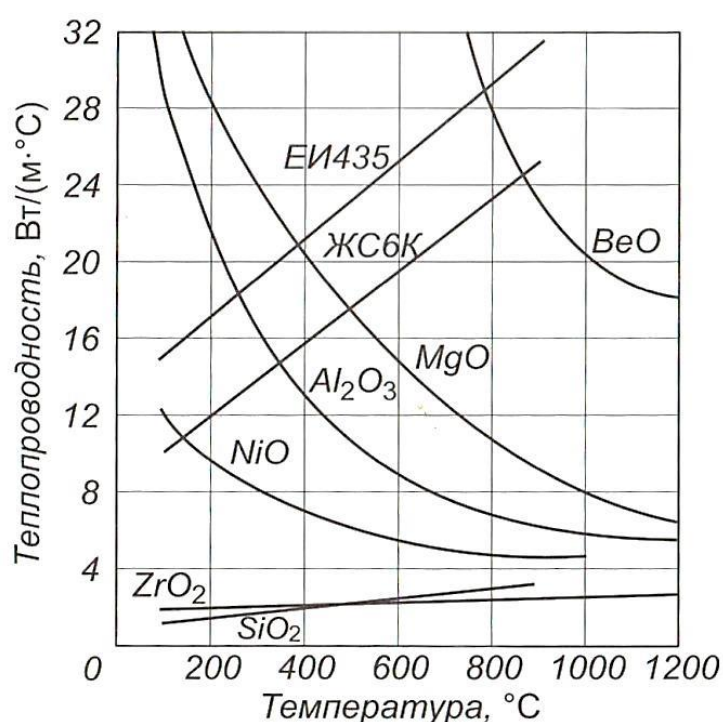


Рисунок 1 – Зависимость теплопроводности плотных оксидных покрытий от температуры

Из рисунков 1, 2 следует, что в качестве ТЗП следует использовать керамические материалы. Наиболее подходящим материалом является оксид циркония.

Основным порошковым материалом для напыления является порошок на основе никеля. Такие порошки обладают высокой твердостью 35-60 HRC, низкой температурой плавления от 900 до 1000 °С, а также высокой устойчивостью к изнашиванию. В таблицах 1, 2, 3 представлены некоторые марки порошков на основе никеля [3].

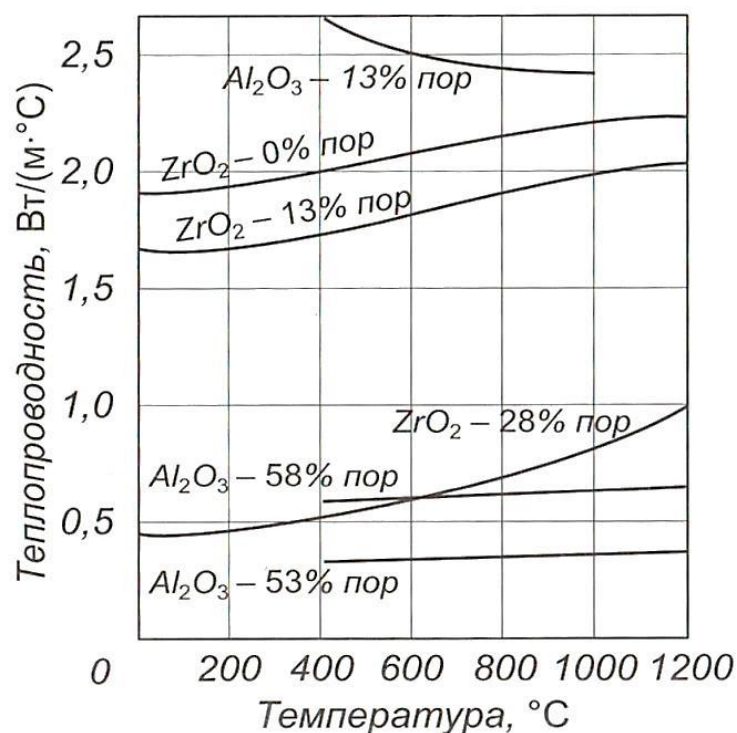


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности покрытий разной плотности от температуры

Таблица 1 – Порошковые сплавы для напыления на основе никеля (ГОСТ 21448-75)

Марка порошка	Химический состав, %					Твердость HRC
	Железо	Хром	Кремний	Углерод	Бор	
ПГ-СР2	<5,0	12-15	2-3	0,2-0,5	1,5-2,1	>35
ПГ-СР3	<5,0	13,5-16,5	2,5-3,5	0,4-0,7	2,0-2,8	>45
ПГ-СР4	<5,0	15-18	3,0-4,5	0,6-1,0	2,8-3,8	>55

Таблица 2 – Порошковые самофлюсующихся сплавов для напыления на основе Никеля (ГОСТ 21448-75)

Марка порошка	Химический состав, %				Твердость HRC
	Хром	Кремний	Бор	Железо	
ПР-Н80Х13С2Р	12-14	2,0-2,8	1,2-1,6	<5,0	25-35
ПР-Н77Х15С3Р2	14-16	2,8-3,5	1,8-2,3	<5,0	35-45
ПР-Н73Х16С3Р3	15-17	2,7-3,7	2,3-3,0	<5,0	>45
ПР-Н70Х17С4Р4	16-18	3,8-4,5	3,1-4,0	<5,0	>55
ПР-Н67Х18С5Р5	16-19	4-5	4,0-4,7	<5,0	>60
ПР-Н65Х25С3Р3	23-26	2,1-2,3	2-3	<5,0	>45
ПР-Н68Х21С5Р	20-27	4-5	1,0-1,3	<5,0	>40

Таблица 3 – Порошки на основе никеля, применяемые в качестве подслоя при напылении

Марка порошка	Химический состав, %		Температура плавления, °С	Твердость HRC	Прочность сцепления, кгс/см ²
	Титан	Алюминий			
ПН-70Ю30	–	28-33	1600	>40	300-350
ПН-85Ю15	–	12-15	1400	>40	400-450
ПН-55Т45	43-47	–	1240	50-60	450-500

Список использованной литературы

1. Сидоров, А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. –М.: Машиностроение; 1987. – 192 с.: ил;
2. Балдаев, Л.Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления / Л. Х. Балдаев. –Москва : КХТ, 2004 (ООО Тест-объект). –134 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 5-9900345-1-2.
3. Восстановление деталей машин : справочник / Пантелеенко Ф. И. [и др.]; под ред. Иванова В. П. –М. : Машиностроение, 2003. –672 с. –ISBN 5217-03188-3
4. Бойназаров, У.Р. Коррозионная стойкость оксинитридных защитных покрытий с последующим оксидированием в парах воды и в растворах медного купороса / У. Р. Бойназаров, А. С. Хасанов // Jornal Of Advances In Engineering Tecynology. –20.12.2023. –Per. №0158.

MATERIALS USED FOR THE GAS-THERMAL COATING METHOD

Vitaly S. Repyakh, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Alexander V. Rudnitsky, bachelor's degree, 4th year

Andrey Yu. Chadin, Alisa Kh. Kashaeva master's student, 1st year

Orenburg State University

Abstract. *The article presents some materials used for the gas-thermal coating method, as well as describes the coatings obtained as a result of gas-thermal spraying.*

Keywords: *materials, spraying, coating, porosity.*

АКТУАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МАРКИ Т14К8, ПОВЫШАЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРИ РЕЗАНИИ

**Свиденко Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доцент
Мосиенко Анастасия Сергеевна**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

***Аннотация:** Твердые сплавы в основном применяются для оснащения режущих инструментов, что позволяет повысить режущие свойства инструмента и увеличить производительность труда при резке материала.*

Надо отметить то, что появление твердых сплавов произвело переворот в машиностроительной промышленности. Скоростное резание – это результат длительного анализа и грамотного использования твердосплавного инструмента. Большей производительности труда можно добиться с помощью правильного выбора марки твердого сплава и режима резания.

Физические и механические свойства также во многом определяют его режущие свойства.

Твердые сплавы отличаются высоким содержанием карбидов тугоплавких металлов. Карбиды тугоплавких металлов, таких как титан, вольфрам, придают твердым сплавам высокую красностойкость. Они обладают способностью сопротивляться истиранию и износу при высоких температурах в зоне резания.

***Ключевые слова:** твердость, микротвёрдость, отпечаток, микроструктура, твердый сплав, четырехгранная пластина.*

Основной критерий, который используют при сравнении сменных твердосплавных пластин – стойкость. Стойкость пластины – способность материала, из которого она изготовлена, дольше сохранять свои исходные физические свойства. Период стойкости сменной пластины зависит от марки материала, геометрии, покрытия, а также от условий резания [1-4].

Испытания на износ проводили в лаборатории кафедры МТМ. Испытывали неперетачиваемые твердосплавные пластины методом поперечного течения. Испытания проводились на токарно-винторезном станке 16А16 [5-6].

Скорость вращения заготовки составляла 285 об/мин, глубина резания 1 мм, подача $S = 0,1$ мм/об. Время одного прохода составляло 4 минуты. На рисунке 1 представлен внешний вид пластины и державки вместе с пластиной.



Рисунок 1 – Внешний вид четырехгранной пластины марки T14K8 и державки вместе с закрепленной пластиной

Процесс торцевого точения представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Процесс торцевого точения на станке 16A16

Результаты испытаний твердого сплава на резание в результате термической обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение износа при резании твердого сплава T14K8 после термической обработки

№	Режимы	Число проходов	Износ по передней поверхности	Износ по задней поверхности
1	2	3	4	5
1	Исх. образец	5	0,1	0,14
2	Исх. образец		0,1	0,1
3	800°C		0,08	0,08
4	800°C, отпуск 600°C		0,06	0,08
5	900°C		0,06	0,08

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
6	900°C, отпуск 600°C		0,06	0,08
7	1200°C		0,04	0,06
8	1200°C, отпуск 600°C		0,04	0,04
9	1250°C		0,02	0,04
10	1250°C, отпуск 600°C		0,02	0,04

Износы по передней и задней поверхности представлены на графиках (рисунок 3, 4).

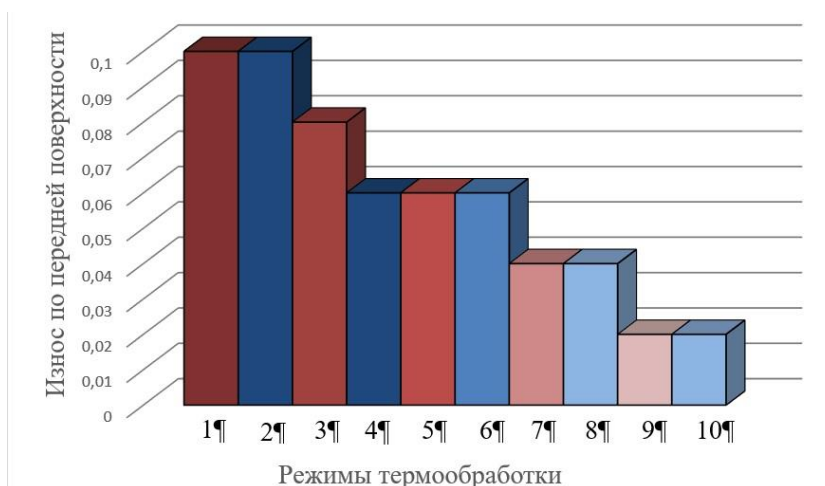


Рисунок 3 – Износ по передней поверхности

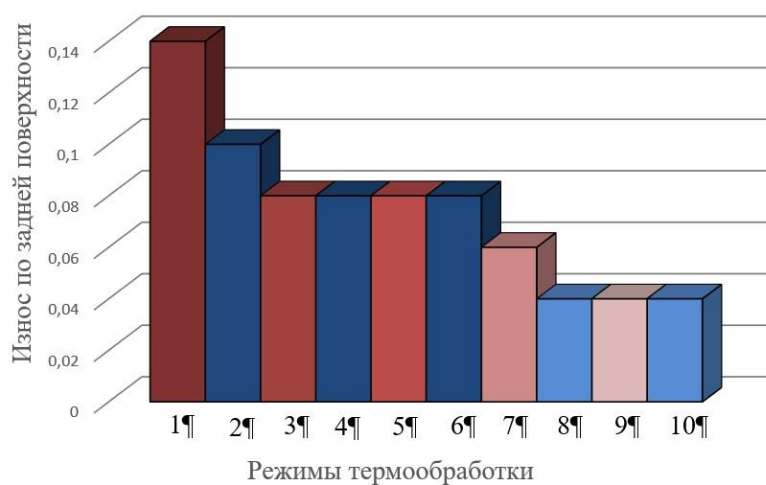


Рисунок 4 – Износ по задней поверхности

Из анализа графика видно, что в результате термической обработки износостойкость четырехгранных твердосплавных пластин возрастает в 1,5-2 раза.

Список использованной литературы

1. Панов В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них/ В.С. Панов, А.М. Чувилин // М.: МИСИС. – 2001. – 428 С.
2. Пантелеенко, Ф.И. Восстановление деталей машин: справочник / Ф. И. Пантелеенко под ред. В. П. Иванова// М.: Машиностроение. – 2003. – 672 С.
3. Схиртладзе, А. Г. Ремонт технологических машин и оборудования: учеб. пособие для вузов / А. Г. Схиртладзе, В. А. Скрябин, В. П. Борискин // Старый Оскол: ТНТ. – 2011. – 431 С.
4. Воронкин, Ю. Н. Методы профилактики и ремонта промышленного оборудования: учебник / Ю. Н. Воронкин, Н. В. Поздняков// М.: Академия. – 2008. – 240 С.
5. Молодык, Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин// М.: Машиностроение. – 1989. – 480 С.
6. Лахтин, Ю. М. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева// М.: Альянс. – 2014. – 528с.

CURRENT MODES OF HEAT TREATMENT OF HARD ALLOY PLATES OF GRADE T14K8, WHICH INCREASE STRENGTH AND WEAR RESISTANCE DURING CUTTING

Ekaterina Valeryevna Svidenko, Mosienko Anastasia Sergeevna

Orenburg State University, Orenburg

Abstract. *Hard alloys are mainly used to equip cutting tools, which makes it possible to increase the cutting properties of the tool and increase labor productivity when cutting material. It should be noted that the emergence of hard alloys revolutionized the engineering industry. High-speed cutting is the result of long-term analysis and competent use of a carbide tool. Greater productivity can be achieved by proper choice of cemented carbide grade and cutting mode.*

Physical and mechanical properties also largely determine its cutting properties. Hard alloys are characterized by a high content of carbides of refractory metals. Carbides of refractory metals, such as titanium, tungsten, give hard alloys high red resistance. They have the ability to resist abrasion and wear at high temperatures in the cutting zone.

Keywords: *hardness, microhardness, imprint, microstructure, hard alloy, tetrahedral plate.*

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ, ПОЛУЧЕННЫХ РОТАЦИОННОЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ

Приймак^{1,2} Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, Сёмка^{1,2} Ярослав
Сергеевич

Оренбургский государственный университет,
АО «Завод бурового оборудования», г. Оренбург

Аннотация. В работе приведены результаты механических испытаний на разрыв разнородных сварных соединений, образованных в результате процесса ротационной сварки трением трубных заготовок из низкоуглеродистой стали 32Г2 и аустенитной стали 10Х11Н23Т3МР при изменении усилия на этапе разогрева заготовок при сварке. МикродюрOMETрическими исследованиями произведена оценка свойств зоны термомеханического влияния. Показан характер разрушения при растяжении образцов сварных соединений с гратом, образованным при сварке фрагментов труб из исследуемых сталей.

Ключевые слова: ротационная сварка трением (РСТ), сварное соединение, механические свойства, зона термомеханического влияния (ЗТМВ), микротвердость, среднеуглеродистая сталь, аустенитная сталь.

Потребность современной техники в соединениях из разнородных материалов велика, например при создании биметаллических конструкций технологических труб для капитального ремонта нефтяных и газовых скважин. Ротационная сварка трением (РСТ) является технологией, которая позволяет соединять разнородные материалы, так как процесс осуществляется в твердой фазе. Во время ротационной сварки трением высокие температуры и деформации воздействуют на сварное соединение, создавая зону термомеханического влияния (ЗТМВ). Эта зона имеет различную протяженность и свойства в зависимости от различных параметров сварки [1, 2]. Ранними исследованиями установлено, что одним из параметров, оказывающим влияние на механические свойства сварного соединения является сила на этапе трения заготовок или сила при разогреве. Данная работа посвящена оценке влияния силы при разогреве на механические свойства сварных соединений из низкоуглеродистой стали и аустенитной стали, предполагаемых к применению для технологических труб.

Исследованию подлежали сварные соединения в сочетании сталей 32Г2 и 10Х11Н23Т3МР, полученные при сварке трубной заготовки и замковой детали диаметром 73 мм и толщиной стенки 9 мм. Заготовки предварительно были подвергнуты закалке и высокому отпуску, полученные механические свойства

составили: 32Г2- $\sigma_{02}=722$ МПа, $\sigma_B=808$ МПа, $\delta=12\%$; 10X11Н23Т3МР - $\sigma_{02}=686$ МПа, $\sigma_B=971$ МПа, $\delta=18\%$. Сварка трением экспериментальных образцов осуществлялась на сварочном оборудовании Thompson-60, которое оснащено программным комплексом, позволяющим задавать и контролировать параметры сварки. При сварке варьировалась сила при разогреве, которая составила 70 кН, 140 кН и 210 кН при неизменных остальных параметрах сварки (сила проковки 280 кН, частота вращения при разогреве 800 об/мин, осадка при нагреве 6 мм).

Металлографические исследования продольных микрошлифов сварных соединений позволили установить протяженность образованной ЗТМВ, которая составила 13 мм, 10 мм и 8 мм соответственно при увеличении силы при разогреве. Распределение микротвердости в исследуемых образцах сварных соединений представлено на рисунке 1.

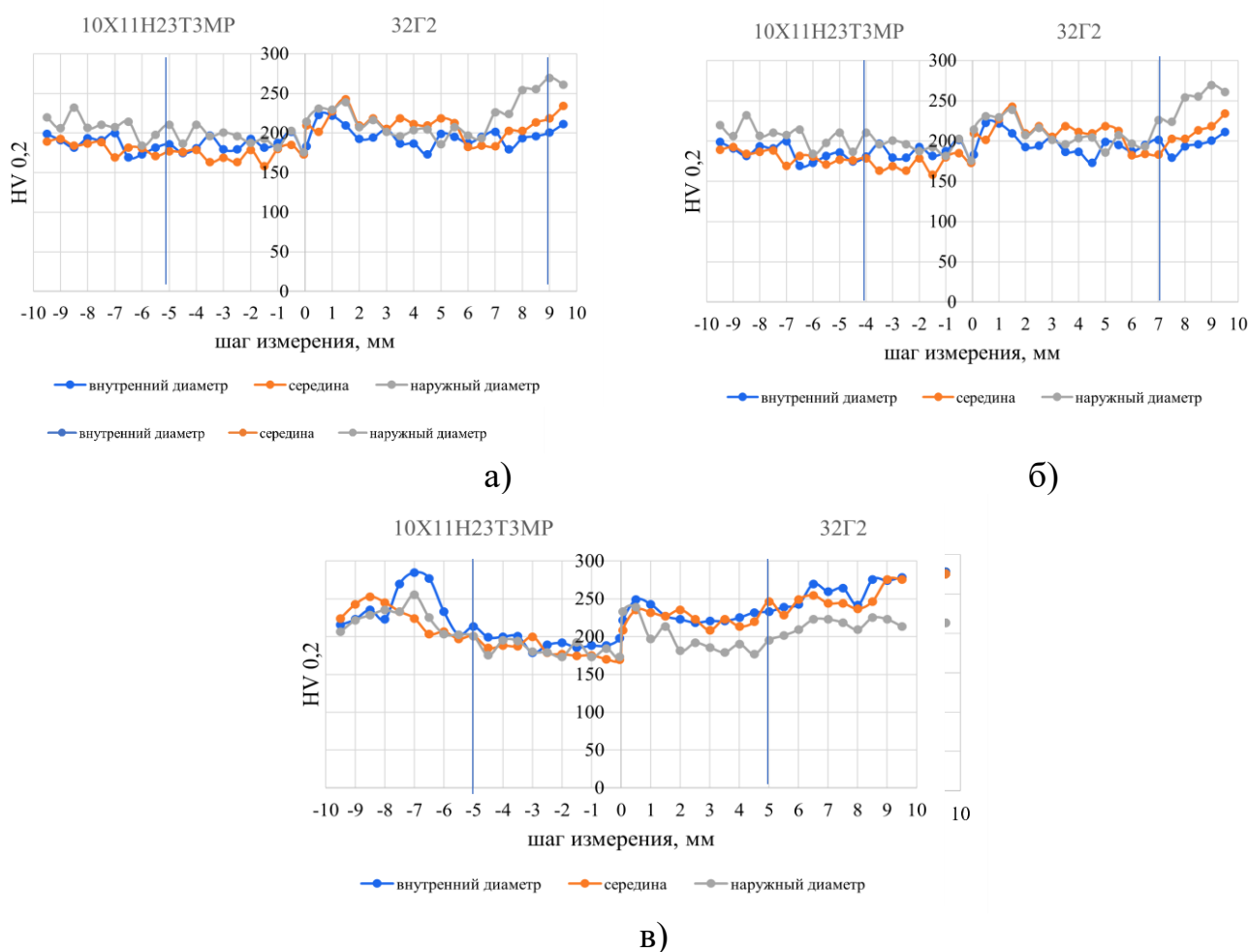


Рисунок 1 – Изменение микротвердости по протяженности ЗТМВ в сварных соединениях сталей 32Г2-10X11Н23Т3МР, выполненных РСТ при различном усилии при разогреве: а) 70 кН; б) 140 кН; в) 210 кН

В стали 32Г2 значения микротвердости в приконтактных областях немного ниже, чем у зоны основного материала данной стали за счет образования преимущественно бейнитной структуры в ЗТМВ. При этом значения микротвердости стали 10X11Н23Т3МР в ЗТМВ и зоне основного металла существенно не различаются. Также изменений микротвердости по толщине

стенки трубы не наблюдается. Сила при разогреве оказывает преимущественное влияние только на протяженность ЗТМВ. Более существенное сокращение ЗТМВ с увеличением силы при нагреве наблюдается со стороны стали 32Г2, что объясняется более низкими механическими свойствами данной стали при высокой температуре и увеличением объема металла, выдавленного в грат.

Результаты механических испытаний на разрыв образцов сварных соединений низкоуглеродистой стали 32Г2 и аустенитной стали 10Х11Н23Т3МР, содержащих грат, представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

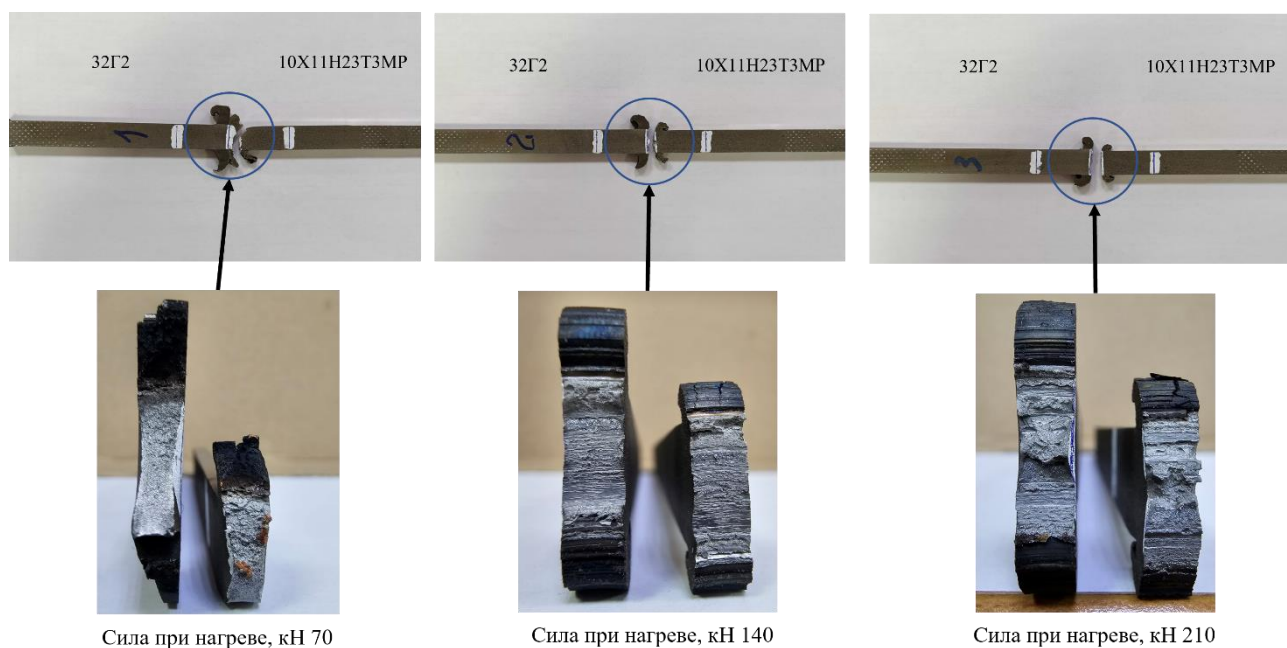


Рисунок 2 – Внешний вид разрушенных образцов сварных соединений сталей 32Г2-10Х11Н23Т3МР в результате испытаний на растяжение

Таблица 1 – Механические свойства образцов сварных соединений сталей 32Г2 и 10Х11Н23Т3МР

Сила при нагреве, кН	Предел текучести σ_{02} , МПа	Предел прочности σ_B , МПа
70	509,3	669,1
140	534,6	687,7
210	523,3	595,1

Результаты показали при усилии нагрева 70 кН разрушение началось в зоне грата, имеющего дефект в виде трещины. Характер разрушения хрупкий.

В других образцах разрушение произошло по стыку с образованием хрупкого излома, внутри которых наблюдается следы деформационного течения металла. При этом значения механических свойств при силе разогрева 140 кН имеют наибольшие значения, сопоставимые со значениями основного металла стали 32Г2.

Исходя из полученных результатов рекомендуемыми параметрами сварки для данного сочетания сталей являются: сила при разогреве 140 кН, сила проковки 280 кН, частота вращения при разогреве 800 об/мин, осадка при нагреве 6 мм. После реализации данных параметров требуется более детальный анализ механического поведения сварных соединений на стандартных образцах в условиях как статического, так и усталостного нагружения.

Список использованной литературы

1. Виль В. И. Сварка металлов трением / В. И. Виль. // М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.
2. Лебедев, В. К. Сварка трением: Справочник / В. К. Лебедев, И. А. Черненко, В. И. Виль [и др.]. – Л.: Машиностроение. – 1987. – 236 с.

MECHANICAL PROPERTIES AND NATURE OF DESTRUCTION OF SAMPLES OF WELDED JOINTS OF DISSIMILAR STEELS UNDER TENSION OBTAINED BY ROTARY FRICTION WELDING

Priymak Elena Yurievna, Syomka Yaroslav Sergeevich

Abstract. *The paper presents the results of mechanical tests for rupture of dissimilar welded joints formed as a result of the process of rotary friction welding of pipe blanks made of low-carbon steel 32G2 and austenitic steel 10Kh11N23T3MR with a change in force at the stage of heating the blanks during welding. Microdurometric studies assessed the properties of the thermomechanically affected zone. The nature of tensile fracture of samples of welded joints with flash formed during welding of pipe fragments from the steels under study is shown.*

Keywords: *rotary friction welding (RFW), welded joint, mechanical properties, thermomechanically affected zone (TMAZ), microhardness, medium carbon steel, austenitic steel*

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ РУД

Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Махновская Ангелина Сергеевна, аспирант 4 года обучения

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В данной работе представлен комплексный анализ термически активных процессов и их влияния на механическое поведение гидромагнезиальных минеральных материалов — гипса, доломита, магнезита и карбоната магния. Используя данные термогравиметрического анализа (ТГА) и порошковой рентгеновской дифрактометрии (РРД), исследуются механизмы разрушения и структурные трансформации, влияющие на прочностные характеристики материалов. Рассматриваются ключевые этапы дегидратации, декарбонизации и образования вторичных фаз, а также их влияние на внутренние напряжения и дефекты. Предложены подходы к прогнозированию механического поведения с использованием цифровых методов анализа.

Ключевые слова: механическое поведение, разрушение, термогравиметрия, рентгеновская дифрактометрия, гидромагнезиальные руды, структурные трансформации, прогнозирование.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

Введение

Механическое поведение минеральных материалов определяется их структурными особенностями и изменениями, возникающими под воздействием внешних факторов, включая температуру [3, 4]. Гидромагнезиальные руды — важный класс материалов в строительной и химической промышленности [5], однако их эксплуатационные характеристики во многом зависят от процессов разрушения, связанных с термическими трансформациями [6].

Для прогнозирования долговечности и надежности конструкций, использующих данные материалы, необходимо детально изучить механизмы дегидратации, декарбонизации и фазовых преобразований, а также их влияние на формирование дефектов и внутренних напряжений.

Методика исследования

В работе использовался калориметр Flash DSC 1 (Mettler Toledo, Швейцария) с микросенсором UFS 1. Термогравиметрия проводилась при нагреве образцов от 30 до 1000 °С со скоростью 5 °С/мин и шагом сканирования 0,02°.

РРД анализ выполнялся с применением детектора Dtex-Ultra методом Θ -2 Θ для определения фазового состава и кристаллической структуры. Методики изложены в [1, 2].

Результаты исследования и анализ процессов разрушения

Гипс (гидрат сульфата кальция) демонстрирует на термограммах несколько ключевых температурных пиков, связанных с удалением сорбционной и кристаллизационной воды. При температуре около 96,4 °С происходит испарение сорбционной воды, сопровождаемое потерей массы около 20 %, что приводит к увеличению пористости и снижению прочности материала. Следующий этап дегидратации, связанный с удалением кристаллизационной воды, обычно наблюдается при температуре около 150–180 °С, однако в нашем исследовании он проявился при 258,3 °С, что может быть связано с особенностями образца или методики измерений. Этот процесс дополнительно снижает механическую прочность и повышает хрупкость.

Доломит (карбонат кальция-магния), магнезит (оксид магния) и карбонат магния также демонстрируют характерные температуры дегидратации и декарбонизации, влияющие на формирование микротрещин и снижение прочности. Например, при нагревании доломита до 820 °С происходит потеря 44,3 % массы, сопровождающаяся образованием вторичных фаз и микротрещин, что снижает устойчивость материала к механическим нагрузкам. Магнезит, нагреваемый до 600 °С, теряет 46,5 % своей массы, что также связано с изменениями в структурной организации, приводящими к образованию пор и увеличению хрупкости. Карбонат магния демонстрирует два температурных пика, связанные с выделением связанной воды и декарбонизацией, с потерей массы около 59,5 %, что приводит к изменению его кристаллической структуры и механических свойств.

Подробные характеристики термических процессов и соответствующие механические изменения для исследованных минералов (гипс, доломит, магнезит и карбонат магния) представлены в таблице 1.

Таблица 1 Характеристики термических процессов и механических свойств гидромагнезиальных руд

Минерал	Температура дегидратации, °С	Потеря массы, %	Основные механические изменения	Примечания
Гипс	96,4	20,0	Увеличение пористости, снижение прочности	Хрупкость увеличивается при потере воды
Доломит	820	44,3	Образование микротрещин, снижение прочности	Появление вторичных фаз
Магнезит	600	46,5	Снижение прочности, образование пор	Высокая прочность до декарбонизации
Карбонат магния	700	59,5	Изменение структуры, возможное разрушение	Переход к стабильным фазам

Механизмы разрушения и формирование дефектов

Основными процессами, влияющими на механическое поведение исследуемых минералов, являются:

- дегидратация – удаление кристаллизационной и сорбционной воды приводит к изменению объёма и формированию пористой структуры, что снижает связность и прочность;
- декарбонизация – выделение CO_2 сопровождается увеличением внутреннего давления и образованием микротрещин;
- фазовые переходы – перестройка кристаллической решётки может как укреплять, так и ослаблять материал в зависимости от условий.

Эти процессы вызывают накопление дефектов, которые служат концентраторами напряжений и инициируют микротрещины, приводящие к макроскопическому разрушению.

Прогнозирование механического поведения

На основе экспериментальных данных можно построить модели, учитывающие влияние термических процессов на прочностные характеристики:

- использование цифровых двойников и конечных элементов для моделирования внутренних напряжений, возникающих при дегидратации и декарбонизации;
- прогнозирование накопления повреждений и времени до разрушения с учётом циклических температурных нагрузок;
- внедрение данных РРД для учета фазовых переходов в моделях механического поведения.

Такой подход позволяет повысить точность оценки долговечности и надёжности минеральных материалов в реальных условиях эксплуатации.

Заключение

Проведённые исследования показали, что термические процессы дегидратации и декарбонизации существенно влияют на механические свойства гидромагнезиальных минеральных материалов. Формирование пористой структуры, микротрещин и фазовых переходов приводит к снижению прочности и устойчивости к разрушению.

Прогнозирование механического поведения на основе комплексного анализа ТГА и РРД данных с применением цифровых моделей является перспективным направлением для повышения эффективности использования минерального сырья в промышленности и строительстве.

Список использованной литературы

1. Buchanan, D. H., & McCarthy, A. (2010). Thermogravimetric Analysis of Minerals: A Review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 100(3). – 897-903. – DOI: 10.1007/s10973-010-0692-6.

2. Chakraborty, S., & Ghosh, S. (2015). *Mechanics of Materials: An Introduction*. Springer. – ISBN: 978-3-319-22944-4.
3. Hassan, A. M., & Hassanein, M. A. (2018). Thermal Behavior of Gypsum and Its Role in Building Materials. *Journal of Building Physics*, 42(2). –145-160. – DOI: 10.1177/1744259117726895.
4. Liu, X., & Wang, J. (2016). Thermal Stability and Decomposition of Dolomite. *Journal of Materials Science*, 51(15), 6880-6890. – DOI: 10.1007/s10853-016-0115-8.
5. Riemann, A., & Scherer, G. W. (2017). *Mechanics of Materials: Theory and Applications*. Wiley. – ISBN: 978-1-119-13594-9.
6. Zhou, C., & Zhang, Y. (2019). Mechanical Properties of Magnesite and Its Thermal Stability. *Minerals*, 9(12), 748. – DOI: 10.3390/min9120748.

INFLUENCE OF THERMAL PROCESSES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HYDROMAGNESIAN ORES

Poyarkova Ekaterina V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Makhnovskaya Angelina S., 4th Year PhD Student

Orenburg State University

Abstract. *This paper presents a comprehensive analysis of thermally activated processes and their influence on the mechanical behavior of hydromagnesian mineral materials — gypsum, dolomite, magnesite, and magnesium carbonate. Using data from thermogravimetric analysis (TGA) and powder X-ray diffractometry (XRD), the mechanisms of destruction and structural transformations affecting the strength characteristics of the materials are investigated. Key stages of dehydration, decarbonation, and formation of secondary phases are considered, as well as their impact on internal stresses and defects. Approaches to predicting mechanical behavior using digital analysis methods are proposed.*

Keywords: *mechanical behavior, destruction, thermogravimetry, X-ray diffractometry, hydromagnesian ores, structural transformations, prediction.*

Code and rubric: *81.00.00 General and complex problems of technical and applied sciences and sectors of the national economy*

СЕКЦИЯ 4



«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЧНОСТИ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бикмаева Ангелина Рафаэлевна

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Работа выполнена под руководством **Поярковой Екатерины Васильевны**, заведующего кафедрой механики материалов, конструкций и машин Оренбургского государственного университета, доктора технических наук, доцента. В статье проанализированы основные методы диагностики технического состояния строительных конструкций. В примере железобетонных конструкций проведен сравнительный анализ различных методов определения количественных характеристик технического состояния зданий.

Ключевые слова: диагностика строительных конструкций, железобетонных конструкций, тип бетона, механические методы неразрушающего контроля.

Код и рубрика: 67.00.00 Строительство. Архитектура

В настоящее время распространение ветхих зданий привело к увеличению сложности диагностики технического состояния строительных конструкций. Техническое состояние строительных конструкций определяется путем изучения показателей их состояния, что позволяет выявить возможные нарушения и не допустить вмешательства в нормальную эксплуатацию.

Основной целью диагностики конструкций зданий является определение фактического технического состояния, способности выдерживать расчетные нагрузки при эксплуатации в течение определенного периода времени и обеспечение нормальной эксплуатации здания. В ходе диагностики будут выявлены конструктивные дефекты, отклонения от проекта, а также действующих технических норм и условий, а также уточнена фактическая работа конструкций под нагрузкой [1].

В практике проведения диагностики технического состояния строительных конструкций существует множество методов оценки дефектов и повреждений конструкций (например, вследствие силовых, коррозионных, температурных или иных воздействий, в том числе неравномерных просадок фундаментов), которые могут снизить прочностные и деформационные характеристики конструкций и ухудшить эксплуатационное состояние здания в целом. Однако не все эти методы могут дать объективную оценку количественную и качественную оценку степени поврежденности и дефектности строительных конструкций [2].

Нет конкретной статистики об использовании методов оценки дефектов и повреждений строительных конструкций, так как это зависит от конкретных

проектов и предпочтений специалистов. Однако, среди самых распространенных методов можно выделить:

1. Визуальный осмотр конструкций, как самый простой и доступный метод, который позволяет обнаружить явные дефекты и повреждения.

2. Использование различных оборудования для неразрушающего контроля, таких как ультразвуковые дефектоскопы, радиография, тепловизионные камеры и прочее.

3. Лабораторные исследования образцов материала на прочность, стойкость к различным воздействиям и т.д.

4. Компьютерное моделирование и расчеты для определения прочности и устойчивости конструкций.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, поэтому чаще всего специалисты используют комплексный подход к оценке дефектов и повреждений строительных конструкций.

Проведенное исследование бетона на определенном участке конструкции может включать в себя следующие статистические данные:

1. Прочностные характеристики бетона, такие как среднее значение прочности на сжатие, растяжение и изгиб, а также их дисперсия.

2. Плотность бетона и его изменение в зависимости от уровня уплотнения и влажности.

3. Размеры и форма включений в бетоне, такие как крупные и мелкие камни, песок, цемент и воздушные поры.

4. Уровень усталостной прочности бетона и его способность к деформации при повторном нагружении.

5. Износостойкость бетона и его устойчивость к воздействию агрессивных сред, таких как химические реагенты или морская вода.

6. Результаты вибрационных и ударных испытаний, позволяющих оценить поведение бетона при динамических нагрузках.

Полученная статистика может быть использована для оценки качества бетона, определения его долговечности и принятия решений о необходимости ремонта или замены конструкции.

При проведении диагностики технического состояния строительных конструкций наиболее распространенными методами определения класса бетона являются механические методы неразрушающего контроля, к которым относятся склерометрический метод или метод пластических деформаций, метод упругого отскока, метод ударного импульса. Неразрушающие методы предусматривают такое воздействие на конструкцию, которое не отражается на ее эксплуатационной способности.

Все вышеуказанные методы не дают объективной оценки прочности бетона всей конструкции в целом, а только лишь характеристику прочности поверхностного слоя бетона монолитной железобетонной конструкции [3].

Ударно-импульсный метод определения прочности бетона проводится для оценки прочностных показателей, твердости, упругопластических свойств, а также выявления неоднородности, областей недостаточного уплотнения бетона.

В основе методики лежат замеры энергии удара и ее изменения при ударе бойка о бетонную поверхность.

Способ относится к числу косвенных и будет считаться недостоверным без градуировочной зависимости. Без нее погрешности может достигать $\pm 50\%$, что неприемлемо и может применяться исключительно для грубой оценки прочностных характеристик. Чтобы получить градуировочную зависимость, помимо ударно-импульсного метода требуется проведение и прямого способа измерения прочностных показателей бетона

Более применимыми в этом плане являются методы локального разрушения, которые основаны на исследовании бетона на определенном участке конструкции.

Одним из самых объективных методов является метод отрыва со скалыванием (определение усилия, необходимого для вырывания анкерного стержня от прочности бетона), который является единственным методом контроля прочности (из методов локального разрушения), для которого в стандартах прописаны градуировочные зависимости. Метод отрыва со скалыванием характеризуется наибольшей точностью, к тому же не требует обязательного наличия ровной поверхности бетона испытываемой строительной конструкции. Метод отрыва со скалыванием основан на использовании зависимости величины усилия, необходимого для выдергивания из бетона анкерного стержня, от прочности этого бетона [4].

В настоящее время существуют электронные приборы для определения прочности бетона методом отрыва со скалыванием, которые позволяют определять не только косвенную характеристику, но и непосредственно прочность бетона.

В процессе проведения сравнительных экспериментальных исследований была проведена диагностика технического состояния железобетонной конструкции фундамента башни связи.

В ходе экспертного обследования для обеспечения доступа экспертов к исследуемому бетону фундаментов была произведена их откопка. Верхний слой бетона был зачищен. Для оценки прочности бетона применялся метод отрыва со скалыванием с использованием анкерного устройства $\varnothing 16 \times 35$ мм, входящего в состав прибора «ОНИКС-ОС».

На основании [5], определение класса бетона осуществлялось по среднему значению предела прочности на сжатие, рассчитанного по результатам пяти замеров. Места для определения прочности отбирались после изучения проектной документации и визуального осмотра монолитного фундамента.»

Согласно данным проектной и исполнительной документации прочность бетона фундамента башни связи должна соответствовать классу В15. Результирующие данные экспериментальных исследований, отображенные в протоколах испытаний, свидетельствуют о том, что средняя прочность бетона в конструкции монолитного фундамента башни сотовой связи, определенная методом отрыва со скалыванием, составляет 21,2 МПа, что соответствует классу бетона В15. При этом средняя прочность, определенная методом ударного импульса, равняется 37,3 МПа, что соответствует классу бетона В25.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что метод ударного импульса, в отличие от метода отрыва со скалыванием, не обеспечивает объективную оценку прочности бетона конструкции в целом, а характеризует лишь прочностные свойства поверхностного слоя бетона в монолитной железобетонной конструкции.

Проведенные исследования подтверждают достоверность и точность диагностики прочности бетона методами локального разрушения, в частности методом отрыва со скалыванием. Это свидетельствует о том, что данный метод по праву занимает ведущее положение в современной практике диагностики технического состояния строительных конструкций.

В Европейских странах и США сегодня все большее распространение получают мониторинговые системы для проведения оценки технического состояния. Значение приобретают такие методы исследования, которые связаны с применением оборудования и технологий, с проведением расчетов и ВІМ-моделей. Важно разработать подходящий метод для определения износа. Он базируется на следующих факторах:

- комплексное проведение мониторинговых методов;
- прогнозирование дефектов.

После использования полученной информации относительно того, в каком техническом состоянии находится недвижимость, можно подобрать максимально подходящую методику, которая позволит определить физический износ основных элементов сооружения.

Мониторинг предполагает формирование комплексной системы диагностики и оценки технического состояния здания, с учетом большого количества факторов, влияющих на здание и его технические характеристики, определенных временных этапов и характеристик, а также с возможностью формирования прогноза относительно технического состояния здания [6].

Мониторинг технического состояния строительных конструкций является сложным и многогранным процессом, требующим комплексного подхода. Он предполагает создание системы диагностики, способной учитывать множество факторов, влияющих на здание и его технические характеристики. Система должна быть разработана с учетом определенных временных этапов и характеристик объекта. Ее важнейшей функцией является прогнозирование технического состояния здания, что позволяет своевременно принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций и продлению срока эксплуатации сооружения.

Использование современных методов диагностики, таких как методы неразрушающего контроля, позволяет проводить регулярный мониторинг и выявлять скрытые дефекты и повреждения на ранних стадиях их развития. При этом выбор конкретных методов диагностики должен осуществляться с учетом типа конструкции, условий эксплуатации здания и поставленных задач.

Таким образом, комплексная система диагностики и оценки технического состояния здания, основанная на современных методах, позволяет обеспечить безопасность и надежность эксплуатации сооружения на протяжении всего его жизненного цикла. Регулярный мониторинг и своевременное проведение

ремонтных работ способствуют продлению срока службы здания, повышению его энергоэффективности и снижению затрат на его содержание.

Список использованной литературы

1. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. – М., 2003. – 167 с.
2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих конструкций зданий и сооружений. – М., 2003. – 154 с.
3. Ланкина, Ю.А. Современные методы диагностики технического состояния строительных конструкций / Ю.А. Ланкина, И.А. Митрошин, А.С. Сарайкин // Огарёв-Online. – 2014. – № С2 (40). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-dagnostiki-tehnicheskogo-sostoyaniya-stroitelnyh-konstruktsiy> (дата обращения: 19.05.2024)
4. Краснощеков, Ю.В. Модель прочности бетона на отрыв со скалыванием / Ю.В. Краснощеков, // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2021. – №2 (78). – С. 216-224.
5. Букин, А.В. Определение прочности бетона методами разрушающего и неразрушающего контроля / А.В. Букин, А.Н. Патраков // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2010. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-prochnosti-betona-metodami-razrushayuschego-i-nerazrushayuschego-kontrolya> (дата обращения: 14.05.2024)
6. Лихачев, А.А. Обзор и сравнение современных отечественных и зарубежных методов оценки технического состояния зданий и сооружений / А.А. Лихачев, О.А. Усольцева // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №10 (94). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-sravnenie-sovremennyh-otechestvennyh-i-zarubezhnyh-metodov-otsenki-tehnicheskogo-sostoyaniya-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 20.05.2024).

MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDING STRUCTURES

Angelina R. Bikmaeva

Orenburg State University

Annotation. *The work was carried out under the supervision of Ekaterina V. Poyarkova, Head of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines of Orenburg State University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. The article analyzes the main methods of diagnosing the technical condition of building structures. In the example of reinforced concrete structures, a comparative analysis of various methods for determining the quantitative characteristics of the technical condition of buildings is carried out.*

Keywords: *diagnostics of building structures, reinforced concrete structures, type of concrete, mechanical methods of non-destructive testing.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

**Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Едыгеева Альбина Темирбулатовна, Рябова Анастасия Александровна,
студенты 2 курса**

Оренбургский государственный университет

Аннотация: В статье рассмотрены различные наноматериалы, используемые для создания современных конструкций и сооружений. Показано, что применение нанотехнологий позволяет придавать обычным строительным материалам новые уникальные свойства, а также способствует решению проблемы обеспечения прочности, устойчивости и износостойкости материалов конструкций. В работе рассмотрено использование таких наноматериалов, как нанобетон, наносталь и нанокompозиты. Выделены преимущества данных наноматериалов и проведен анализ их развития.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, свойства наноматериалов, применение, перспективы.

Код и рубрика: 67.00.00 Строительство. Архитектура

Как известно, Россия обладает обширной незаселенной территорией, расположенной в различных климатических поясах. Это создает уникальные вызовы для строительства сооружений и конструкций, поскольку существующие и доступные строительные материалы часто не соответствуют требованиям, предъявляемым суровыми климатическими условиями.

Нанотехнологии предлагают решение этой проблемы, поскольку они позволяют создавать новые материалы с улучшенными характеристиками, адаптированными к конкретным климатическим условиям и удовлетворяющие уникальным требованиям строительства в них, повышая при этом прочность, долговечность, огнестойкость, теплоизоляцию, устойчивость к коррозии и экологичность сооружений и конструкций.

Некоторый интерес к нанотехнологиям зародился в России лишь в конце XX века, однако их финансирование оставалось скудным, а исследования ограничивались рамками отраслевых программ. И даже в начале текущего столетия, по мнению И.В. Козловой, «существовало в целом скептическое отношение к нанотехнологиям, характеризующееся непониманием и недоверием, а иногда просто безразличием. Обществу в полной мере не показана широта, значимость и перспективы применения нанотехнологий под знаком социальной эффективности, особенно в привязке к переходу мира на новый технологический уклад. Слабо обсуждаются пути решения этических проблем применения нанотехнологий, связанных с сопутствующими возможными рисками» [1].

В связи с этим возникла насущная необходимость в разработке федеральной программы, учитывающей стратегическую значимость нанотехнологий на высшем государственном уровне. Эта потребность была обусловлена следующими факторами:

- растущее признание потенциала нанотехнологий для строительной отрасли, включая повышение долговечности, энергоэффективности и функциональности зданий и сооружений;
- необходимость преодоления фрагментации и разобщенности усилий в области исследований и разработок нанотехнологий в строительном секторе;
- международная конкуренция и потребность в укреплении положения России в качестве лидера в области нанотехнологий, имеющих отношение к строительству.

В ответ на эти императивы правительство РФ инициировало разработку и реализацию масштабной программы по развитию нанотехнологий, предусматривающую значительное увеличение финансирования и создание централизованных механизмов координации и поддержки исследований, разработок и коммерциализации нанотехнологий для строительной отрасли. Вместе с тем, основные аргументы в пользу развития нанотехнологий в строительстве в Российской Федерации приведены в таблице 1.

Целью данного исследования стало повышение осведомленности среди будущих инженеров-строителей и специалистов, чья деятельность связана с обеспечением техносферной безопасности, о наноматериалах и их применении в строительной отрасли для стимулирования инноваций и прогресса в этой сфере.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- обзор существующих видов наноматериалов, применяемых в конструкции и сооружениях, в том числе механизмов действия и свойств наноматериалов, влияющих на характеристики строительных материалов;
- оценка преимуществ наноматериалов перед традиционными материалами;
- анализ развития нанотехнологий и оценка перспектив и вызовов для дальнейшего внедрения наноматериалов в строительную практику.

В настоящее время ученые выделяют 5 основных направлений в использовании наномолекулярных материалов в строительстве:

- 1) создание фундамента с саморегулирующей усадкой грунта (разработка наноматериалов, способных стабилизировать грунт под фундаментом, предотвращая неравномерную осадку и повреждения конструкции);
- 2) разработка конструктивных элементов, реагирующих на повреждение или деформацию (создание самовосстанавливающихся конструкций, содержащих наноматериалы);
- 3) применение солнечных батарей в качестве ограждающих конструкций (также интеграция нанофотовольтаических материалов в ограждающие конструкции зданий, позволяя им генерировать возобновляемую энергию);
- 4) создание функциональных покрытий (разработка нанопокровов с улучшенными свойствами, такими как антимикробная активность, самоочистка

и регулирование температуры, для использования на фасадных панелях, кровле и других поверхностях зданий и сооружений);

5) увеличение показателей прочности и надёжности конструкций (использование наноматериалов для укрепления и повышения долговечности строительных материалов, таких как бетон, сталь и композиты, что приводит к более безопасным и прочным зданиям и сооружениям).

Таблица 1 – Инновационный потенциал нанотехнологий в строительной отрасли

Критерий развития нанотехнологий	Основные аргументы в пользу развития нанотехнологий	Географическая заинтересованность
Улучшенная прочность и долговечность	Нанотехнологии позволяют создавать композитные материалы, которые сочетают прочность нескольких материалов, что приводит к созданию более прочных и долговечных конструкций	Важно в регионах с экстремальными температурами, ветрами и другими суровыми погодными условиями
Повышенная огнестойкость	Нанотехнологии могут использоваться для создания огнестойких материалов, которые выдерживают высокие температуры и предотвращают распространение огня	Имеет решающее значение для зданий, расположенных в районах с высоким риском пожаров, таких как лесные массивы и городские районы
Улучшенная теплоизоляция	Наноматериалы могут быть разработаны для обеспечения превосходной теплоизоляции, что снижает потребность в энергии для отопления и охлаждения зданий	Важно для регионов с холодными зимами и жарким летом
Устойчивость к коррозии	Нанотехнологии позволяют создавать материалы, устойчивые к коррозии, что продлевает срок службы зданий и конструкций, подверженных воздействию влаги, солей и других агрессивных сред	Важно в прибрежных районах и регионах с повышенной влажностью
Снижение экологического воздействия	Нанотехнологии могут использоваться для создания экологически чистых строительных материалов, которые производятся с меньшим потреблением энергии и ресурсов и имеют более низкий углеродный след	Важно для всех территорий РФ, так как способствует устойчивому развитию и сохранению окружающей среды

Все способы получения наноразмерных частиц разделяются на две группы: методы диспергирования и агрегирования. По первому методу необходимо различными способами измельчить макротело до наночастиц, затратив при этом значительное количество энергии. Во втором способе наночастицы образуются в результате химического превращения соединения-предшественника с

последующей агрегацией молекул или атомов продукта реакции в матрице-носителе. Эти способы приводят к формированию частиц с высокой поверхностной энергией, что предопределяет их слипание (агрегирование) [2].

Существует несколько видов строительных материалов, созданных на основе нанотехнологий, которые обладают улучшенными свойствами: нанокompозиты, нанобетон, наносталь [3, 4]. Ниже рассмотрены эти материалы подробнее.

Нанокompозит

Нанокompозит – это твердое вещество, состоящее из двух или более фаз, одна из которых имеет по меньшей мере одно измерение в нанометровом масштабе (от 1 до 100 нанометров). Эти отдельные области или наноразмерные фазы физически или химически различаются и равномерно распределены в матрице или основной фазе. При этом ключевыми характеристиками нанокompозитов считаются:

- наноразмерные фазы, которые придают нанокompозитам уникальные свойства, отличающиеся от свойств исходных материалов;
- диспергированность, при которой наноразмерные фазы равномерно распределены в матрице, что обеспечивает улучшенные свойства по сравнению с макро- или микрокомпозитами;
- границы раздела между наноразмерными фазами и матрицей, влияющие на общие свойства нанокompозита, предоставляют возможности для настройки и оптимизации материалов.

Основные типы нанокompозитов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные типы нанокompозитов

Основа	Состав
Полимеры	из полимерной матрицы, в которую введены наночастицы: нанотрубки, наночастицы металлов или оксидов
Металлы	из металлической матрицы с наноразмерными включениями, такими как углеродные нанотрубки или наночастицы других металлов
Керамика	из керамической матрицы с наноразмерными включениями, такими как наночастицы оксидов или других керамических материалов

Физические и механические свойства нанокompозитов зависят от типа наночастиц, их концентрации, размера, формы и распределения в матрице. Свойствами нанокompозитов считаются:

- увеличенная прочность и жесткость;
- улучшенная связь между матрицей и наполнителем, приводящая к более однородному распределению напряжений и улучшенным механическим свойствам;
- повышенная устойчивость к коррозии в агрессивных средах и износу;
- улучшенные тепло- и электропроводность;

–улучшенные оптические свойства, в том числе способность к управлению светопропусканием.

Нанобетон

Нанобетон – композиционный материал на основе минеральных вяжущих, получаемый с применением различных наноразмерных инструментов.

Нанобетон не является узко конкретным строительным материалом какого-то одного специального назначения, а представляет собой группу новых возможностей для создания широкой гаммы бетонов новых поколений на основе эффектов управления параметрами этих композитов, задаваемых на наноразмерном уровне [5].

Получение нанобетона может осуществляться различными способами, представленными в таблице 3.

Таблица 3 – Основные способы получения нанобетона

Способ	Особенности
Введение углеродистого наноматериала в смесь	это увеличивает прочность при сжатии бетона на 15-20% по сравнению с контрольным бездобавочным составом. Комплексное воздействие углеродистого наноматериала на разных этапах твердения бетона обеспечивает создание высокоплотной структуры, изменение характера пористости и улучшение гидрофизических и эксплуатационных показателей модифицированного бетона [6]
Механосинтез	наночастицы получают путем механического измельчения материалов до нанометрового размера
Электрохимическое осаждение	наночастицы образуются на электродах в результате электрохимических реакций
Использование наномодификаторов	используются различные нанопорошки – нанокремнезем, наноалмазы, наноуглеродные нанотрубки и другие
Биоминеральный синтез	используются биологические процессы для образования наночастиц. Например, некоторые бактерии способны продуцировать силикатные наночастицы, которые могут быть использованы в бетоне

Физическими и механическими свойствами нанобетона считаются:

- увеличенная прочность на сжатие по сравнению с обычным бетоном;
- улучшенная износостойкость;
- повышенная трещиностойкость за счет введения наночастиц в состав бетона (обуславливающего уменьшение образования микротрещин);
- уменьшенная усадка по сравнению с традиционным бетоном и сниженная вероятность образования деформаций в процессе твердения;
- улучшенные звукоизоляционные свойства и низкая теплопроводность;
- повышенная устойчивость к агрессивным средам (к кислотам и солям).

Наносталь

Наносталь – это сплав на основе стали, армированный наноразмерными частицами или фазами, что придает ему улучшенные механические, физические и химические свойства по сравнению с традиционными сталями. Наноразмерные частицы или фазы равномерно распределены в матрице стали, что приводит к улучшенным свойствам, таким как прочность, твердость и износостойкость и делает их подходящими для требовательных применений.

Наносталь может быть получена различными методами, такими как механическое легирование, электрохимическое осаждение, химическое осаждение из газовой фазы и другие. В результате этих процессов образуются нанокристаллические структуры, которые могут значительно улучшить свойства стали.

Сегодня очень сложно представить современные здания без использования стальных элементов, ведь они обладают такими важными свойствами, как прочность, коррозионная устойчивость [7], за счет того, что наноразмерные частицы действуют как барьеры, препятствующие проникновению коррозионных сред в сталь.

Наносталь также широко применяется в строительстве ввиду своей особой прочности и увеличенной износостойкости. Исследования ученых в области наномодификаций металлов и их сплавов позволили получить высокопрочную сталь, которая не имеет в настоящее время аналогов по параметрам прочности и вязкости.

Вместе с тем, применение наностали подходит и для строительства различных гидротехнических и дорожных объектов. При этом нанотехнологии в строительстве позволяют создать на стальных конструкциях полимерные и композитные нанопокрывтия, которые в десятки раз повышают стойкость стали от коррозии и в несколько раз увеличивают срок службы металла.

В свете многочисленных преимуществ, описанных выше, развитие нанотехнологий в строительной отрасли представляется весьма перспективным направлением, которое окажет значительное влияние не только на свойства строительных материалов, но и на различные аспекты повседневной жизни.

Технологии, упомянутые ранее, уже внедряются в строительный сектор, что дает основания полагать, что в ближайшем будущем мы увидим революционные изобретения, которые сегодня кажутся почти невероятными.

Интеграция нанотехнологий в строительную отрасль привела к появлению новых материалов и технологий, которые значительно улучшили характеристики конструкций. Эти передовые материалы демонстрируют превосходные механические свойства, долговечность, энергоэффективность и устойчивость. Однако для полной реализации потенциала нанотехнологий в строительстве необходимы постоянные исследования и разработки. Будущие направления исследований должны быть сосредоточены на разработке новых наноматериалов с еще более улучшенными свойствами, оптимизации методов производства и применения наноматериалов для снижения стоимости и повышения эффективности, исследовании долгосрочной производительности и долговечности наноматериалов в различных условиях эксплуатации, разработке

стандартов и норм для безопасного и надежного использования наноматериалов в строительстве.

При этом, выше обозначенная интеграция нанотехнологий в строительную сферу, открывает также и новые возможности для повышения безопасности (таблица 4) и устойчивости зданий и сооружений.

Таблица 4 – Потенциальные преимущества использования нанотехнологий в строительной отрасли

Показатель	Повышение безопасности
Повышенная прочность и долговечность	Наноматериалы значительно улучшают механические свойства строительных материалов, делая здания более устойчивыми к землетрясениям, ураганам и другим стихийным бедствиям
Улучшенная огнестойкость	Наноразмерные добавки повышают огнестойкость материалов, что снижает риск пожаров и обеспечивает дополнительное время для эвакуации
Повышенная устойчивость к коррозии и химическим веществам	Нанопокрывтия защищают строительные конструкции от коррозии и химического воздействия, продлевая срок их службы и снижая затраты на техническое обслуживание
Улучшенная сейсмостойкость	Наноматериалы усиливают конструктивные элементы зданий, повышая их сейсмическую стойкость и снижая риск обрушения во время землетрясений

Однако, вместе с такими преимуществами появляются и потенциальные риски для техносферной безопасности (табл. 5), которые необходимо тщательно оценивать и управлять ими.

В качестве рекомендаций применения нанотехнологий в строительной отрасли с позиции обеспечения техносферной безопасности можно выделить следующее:

- необходимость в проведении тщательной оценки рисков и разработке соответствующих мер по смягчению последствий;
- становление строгих правил обращения с наноматериалами на всех этапах их жизненного цикла, от производства до утилизации;
- продвижение исследований для оценки долгосрочного воздействия наноматериалов на здоровье человека и окружающую среду;
- разработка всеобъемлющих нормативно-правовых актов, обеспечивающих безопасное и ответственное использование нанотехнологий в строительной отрасли.

Принимая эти меры предосторожности, строительная отрасль может использовать преимущества нанотехнологий, повышая безопасность и устойчивость зданий и сооружений, сводя к минимуму потенциальные риски для техносферной безопасности.

Посредством непрерывных инноваций и совершенствования нанотехнологии продолжают революционизировать строительную отрасль, приводя к созданию более прочных, устойчивых и функциональных конструкций и сооружений.

Таблица 5 – Потенциальные риски использования нанотехнологий для техносферной безопасности в строительной отрасли

Показатель	Риск
Воздействие на здоровье	Некоторые наноматериалы могут иметь негативное воздействие на здоровье человека при вдыхании или контакте с кожей, что требует разработки надлежащих мер предосторожности для обеспечения безопасности рабочих и жителей
Поведение в окружающей среде	Существует неопределенность относительно долгосрочного поведения наноматериалов в окружающей среде, и необходимы дальнейшие исследования для оценки их потенциального воздействия на экосистемы и здоровье человека
Производственные риски	Производство наноматериалов может быть сложным и потенциально опасным, что требует внедрения строгих мер безопасности для защиты работников и предотвращения непреднамеренных выбросов
Отсутствие нормативно-правовой базы	Регулирование наноматериалов в строительстве все еще находится на начальной стадии, и необходимы четкие руководства и стандарты для обеспечения их безопасного и ответственного использования

Список использованной литературы

1. Козлова, И. В. Наносистемы в строительном материаловедении / И. В. Козлова // Строительные материалы: научно-технический и производственный журнал. – 2010. – №6. – С. 47.
2. Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: материалы XV Академических чтений РААСН - Международной научно-технической конференции / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Т. 2. –Казань, 2010. – 404 с.
3. Пичугина Е. В. Наноматериалы в строительстве // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» / [Электронный ресурс] // scienceforum.ru [сайт]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016024354>. (дата обращения: 17.05.2024).
4. Стрельченко, О. В. Использование нанотехнологий в строительстве. Их виды, перспективы и безопасность применения / О. В. Стрельченко, П. Н. Саньков // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016024354> (дата обращения: 17.05.2024).

5. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Magazine of Civil Engineering. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokokachestvennye-betony-analiz-vozmozhnostey-i-praktika-ispolzovaniya-metodov-nanotehnologii> (дата обращения: 17.05.2024).
6. Урханова, А.А. Модификация цемента и бетона углеродными наноматериалами, полученными из угольного кека / Л.А. Урханова, С.Л. Буянтуев, С.А. Лхасаранов, А.Б. Хмелев // Строительные материалы. – 2017. – № 1-2. – С. 19-25.
7. Веселова К.А. Нанотехнологии и перспективы их применения в строительстве // Инженерные исследования. – 2021. – № 1 (1). – С. 26-32.

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF NANOMATERIALS IN MODERN STRUCTURES AND BUILDINGS

**Poyarkova Ekaterina Vasilievna, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Doctor of Engineering sciences, associate
professor,**

**Edygeeva Albina Temirbulatovna, Ryabova Anastasia Aleksandrovna,
2nd year students of training direction 20.03.01 Technosphere Safety**

Orenburg State University

Abstract: *In this article various nanomaterials used for creation of modern structures and constructions. It is shown, that the application of nanotechnologies allows to give to usual building materials new unique properties, as well as contributes to solving the problem of providing strength, stability and wear resistance of structural materials. The work considers the use of such nanomaterials as nanoconcrete, nanosteel and nanocomposites. The advantages of these nanomaterials are highlighted and their development is analysed.*

Keywords: *nanotechnology, nanomaterials, properties of nanomaterials, application, prospects.*

УПРОЧНЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПРИ ПОМОЩИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Репях Виталий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент,
Калмагамбетов Амир Нурланович, студент бакалавриата, 4 курс,
Исаева Галина Сергеевна, **Бикмаев Рафаэль Ханафиевич**, **Зиннурова**
Маргарита Геннадьевна, магистранты 2 курса

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье рассмотрены основные теоретические сведения и химико-термической обработке. Помимо этого, в конце статьи были сделаны сравнительные выводы.

Ключевые слова: химико-термическая обработка (ХТО), цементация, нитроцементация, азотирование.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Для обеспечения высоких эксплуатационных свойств зубчатые колеса подвергают химико-термической обработке (ХТО). Химико-термическая обработка это процессы теплового и химического воздействий, которые изменяют химический состав и структуру поверхностного слоя зубчатых колес. Этот процесс включает введение металла в поверхностный слой за счет реакции разных элементов из окружающей среды: углерода, азота, кислорода, кремния и прочих. В результате образуется твердый диффузионный слой на поверхности зубчатых колес, который постепенно уменьшается по мере углубления и уменьшения концентрации диффундирующих элементов и микротвердости. Чтобы эффективно упрочнить поверхность зубчатых колес, часто применяют цементацию и нитроцементацию, иногда – азотирование.

Цементацией (науглероживанием) называется процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали углеродом при нагревании в карбюризаторе. Обычно цементацию проводят при высоких температурах выше 930-950 °С, когда аустенит становится стабильным и способен растворять углерод в больших количествах. Для цементации используются низкоуглеродистые стали с содержанием углерода 0,1-0,18% (ст1, ст2, ст3), а также легированные стали, такие как хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевые (15Х, 18ХГТ, 20ХГМ, 15ХГН2ТА и другие). Детали подвергаются цементации после механической обработки с припуском на шлифование 50-100 мкм. Иногда цементации подвергается только часть деталей, в этом случае участки, не требующие упрочнения, защищаются тонким слоем малопористой меди (0,02-0,05 мм), который наносят электролитическим способом или специальными обмазками.

Нитроцементация – поверхностное упрочнение слоя не только углеродом, но и азотом за счёт добавления аммиака в печную атмосферу в процессе цементации. Нитроцементацию проводят в газовой среде при атмосферном и

пониженном давлении. В таблице 1 приведены следующие стали, используемые для нитроцементации.

Таблица 1 –Химические составы некоторых сталей для нитроцементации, в %

Тип стали	Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Pb
Сталь для холодно-катанной полосы	15	около 0,15	$\leq 0,40$	около 0,45	$\leq 0,035$	$\leq 0,035$	–
Автоматная сталь	11SMn30	$\leq 0,14$	$\leq 0,05$	около 1,1	$\leq 0,11$	около 0,30	–
	11SMnPb30	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$	около 1,1	$\leq 0,11$	около 0,30	около 0,25
Конструкционная сталь	17ГС	$\leq 0,20$	$\leq 0,5$	около 1,3	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	–

Азотирование – процесс ХТО, в ходе которого поверхность стали насыщается атомами азота.

Азотирование проводят для следующих целей:

- повысить износостойкость;
- повысить трибологические свойства;
- повысить усталостную прочность;
- повысить статическую прочность.

Азотирование происходит при температуре от 500 до 550 °С, глубина упрочненного слоя при азотировании составляет от 0,05 до 0,08 мм, а твердость поверхности достигает от 350 до 1300 НV_{0.98}.

Процесс азотирования проводится при температурах ниже, чем цементация и нитроцементация. Под более низкой подразумевается температура ниже A_{c1} , то есть ниже температуры образования аустенита.

Для улучшения сопротивления износу поверхности зубьев под воздействием контактных напряжений также важно наличие в поверхностных слоях зубьев остаточных внутренних напряжений сжатия толщиной до 0,02 мм.

Область применения различных материалов и химико-термических процессов при изготовлении зубчатых колес, а также достигаемая контактная выносливость зубьев в соответствии со стандартом ISO 6336 приведены ниже, на рисунке 1.

Помимо контактной выносливости шестерни из легированной сталей после цементации имеют хорошую изгибную выносливость, а именно в пределах 320 – 540 Н/мм².

Ниже, на рисунке 2, изображена зависимость изгибной выносливости от твердости поверхности.

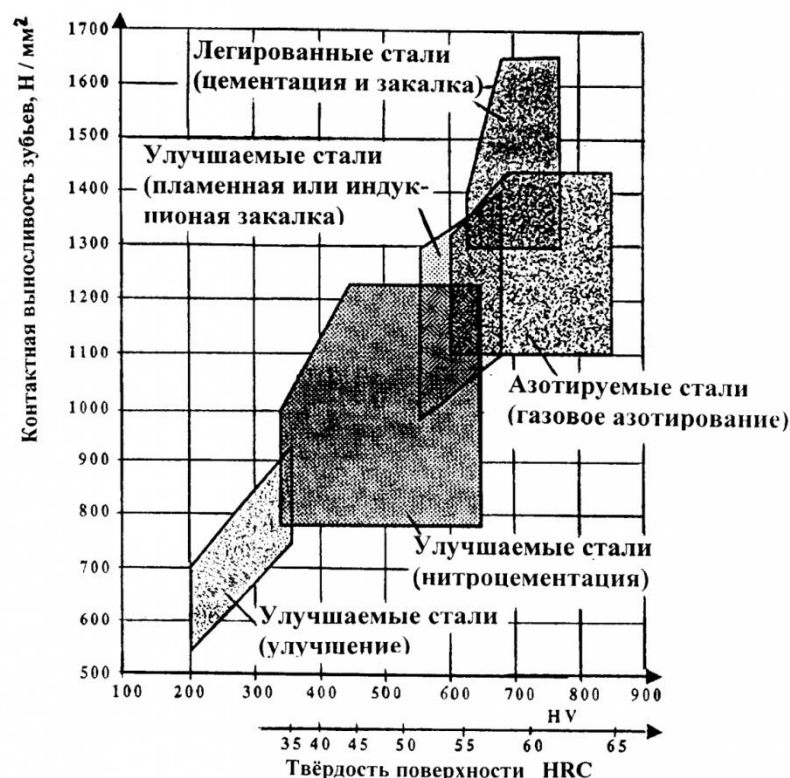


Рисунок 1 – Значения поверхностной твердости и контактной выносливости при некоторых методах ХТО

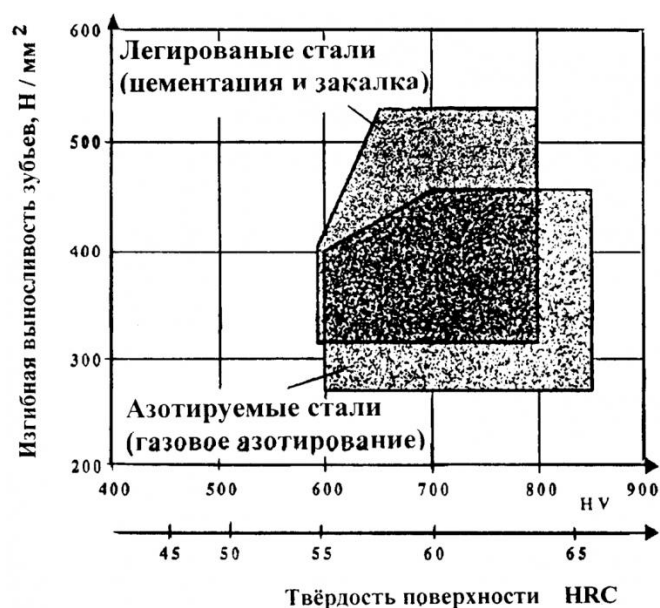


Рисунок 2 – Свойства зубчатых колес при различных упрочнениях

По вышеприведенной информации можно зафиксировать следующие выводы:

- цементация и нитроцементация имеет более высокие показатели изгибной и контактной выносливости по сравнению с азотированием;
- при проведении цементации и нитроцементации можно регулировать толщину упрочненного слоя в более больших диапазонах;

– более экономным являются процессы цементации и нитроцементации, так как в данном случае используются более экономные стали (низко- и среднелегированные)

Список использованной литературы

1. Майсурадзе, М. В. Цементация, нитроцементация и азотирование / М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, С. В. Беликов [и другие]. – учебное пособие; М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та. –2021. – 102 с.
2. Румянцева, К. Е. Термическая и химико-термическая обработка: учеб. пособие / К. Е. Румянцева. –Иван. гос. хим. – технол. ун-т. – Иваново. –2015. – 103 с.
3. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. –М.: Металлургия. –1985. –256 с.
4. Бойназаров, У. Р. Некоторые свойства нитридоксидных диффузионных покрытий / У. Р. Бойназаров, Ш. М. Тураев, Ж. С. Ибрагимов/ O‘zbekiston Kompozitsion Materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali (Toshkent-2023). –2023.– №2. – С. 73-76.
5. Бойназаров, У. Р. Влияния оксидирования на водяных паров и в растворе медного купороса на формирование нитридных диффузионных защитных слоев / У. Р. Бойназаров, А. С. Хасанов // Jurnal Of Advances In Engineering Tecynology. –20.12.2023. –Рег. №0159.

STRENGTHENING OF GEARS BY MEANS OF CHEMICAL AND THERMAL TREATMENT

**Vitaly S. Repyakh, candidate of technical sciences, associate professor,
Amir N. Kalmagambetov, bachelor's degree, 4th year,
Galina S. Isaeva, Rafael H. Bikmaev, Margarita G. Zinnurova, graduate
student, 2nd year**

Orenburg State University

Abstract. *The article discusses the basic theoretical information and chemical and thermal treatment. In addition, comparative conclusions were drawn at the end of the article.*

Keywords: *chemical and thermal treatment (CTO), cementation, nitrocementation, nitriding.*

ГИДРОИСПЫТАНИЕ КЛИНОВОЙ ЗАДВИЖКИ ИЗГОТОВЛЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕНИЯ

**Бикмухаметова Марина Александровна, кандидат экономических наук,
доцент**

Коваль Артем Александрович, магистрант, 2 курс

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация: *В настоящей статье представлены результаты проведения гидроиспытаний клиновой задвижки, изготовленной по аддитивной технологии. Выполнено моделирование и изготовление клиновой задвижки, с последующим проведением гидроиспытания в условиях ремонтного производства в соответствии с ГОСТ 33257-2015 Арматура трубопроводная. Методы контроля и испытания.*

Ключевые слова: *моделирование, аддитивные технологии, 3D-печать, нефтегазовая отрасль, гидроиспытания, филамент PLA.*

Код и рубрика: *81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства*

Технологическое развитие нефтеперерабатывающей промышленности всегда проходит по консервативному сценарию. Предпочтение отдается проверенным на практике в сложных промышленных условиях технологиям и оборудованию, обеспечивающему надежную многолетнюю безаварийную эксплуатацию и не требующему сложного и дорогого обслуживания.

Современные реалии диктуют изменение подхода к обеспечению работоспособности в сторону снижения металлоемкости, уменьшения ремонтного периода, повышения надежности и безопасности, сокращения сроков поставки комплектующих деталей и изделий в целом и других факторов, направленных на производственную эффективность.

Аддитивные технологии, позволяющие создать трехмерные объектов путем послойного добавления материала- композита, пластика или металла, и активно входящие в нашу жизнь становятся привлекательными, а том числе и для создания производственных объектов.

Настоящая работа проводилась в несколько этапов. На первом этапе была смоделирована клиновая задвижка в ПК КОМПАС. Следующим этапом было макетирование и сборка узлов задвижки в единый объект. Данный этап представляет собой процесс, в рамках которого осуществляется создание и согласование дизайн-макета, позволяющего визуализировать и оценить конечный вид и функциональность задвижки, а также комплектация проекта всеми необходимыми компонентами для сборки узлов и достижения единого функционального целого.

После макетирования и ранее проведенных исследований, связанных с выбором филамента, проводилось изготовление макетов задвижек по

аддитивной технологии FDM. Было изготовлено 6 макетов (рисунок 1а), 3 из которых с заполнением 100%, и 3- с наполнением 60%.

Изготовленные задвижки тестировались на герметичность в лабораторных условиях, путем заполнения корпуса водой. Все изготовленные изделия, независимо от степени заполнения, пропускали воду. На следующем этапе принято решение обработать корпусные детали (внутреннюю и наружную поверхности) - эпоксидной смолой, а на диски запорного органа наклеить полиэтилен высокого давления толщиной 0,3 мм. После полного высыхания (48 часов) повторное тестирование показало герметичность изделий.

Следующий этап исследования был проведен в производственных условиях ремонтного цеха. Проведены следующие работы: набивка сальниковой камеры; проверка на герметичность соединения «корпус-крышка» при помощи паронитовой прокладки, полное закрытие клина в корпусе задвижки; набор в воды в одну часть корпуса.

Заключительные и основные результаты (таблица 1) показало гидравлическое испытание задвижек на стенде ремонтного производства АО «Нефтехимремонт-1» (г. Уфа) (рисунок 1, б).

Таблица 1 – Результаты гидроиспытаний

Образец	Выдержанное давление, МПа	Место разрыва
1 (100 %)	0,33	Стык при замене материала в корпусе
2 (100 %)	0,325	Стык при замене материала в корпусе
3 (100 %)	0,3	Стык при замене материала в корпусе
4 (60 %)	0,242	Стык при замене материала в корпусе
5 (60 %)	0,22	Стык при замене материала в корпусе
6 (60 %)	0,235	Стык при замене материала в корпусе

Испытания 6 макетов клиновых задвижек были проведены:

- на плотность и прочность всех деталей, находящихся под давлением;
- на герметичность соединений, сальников и затвора.

В результате эксперимента был отмечен следующий эффект – все образцы, независимо от плотности наполнения, теряли прочность (имели разрыв) в месте замены нити (рисунок 2).

В заключении можно констатировать следующее: средний результат выдержанного давления при полном заполнении составил 0,318 МПа, при 60% заполнении – 0,232 МПа, а нарушение целостности корпуса произошло в месте замены материала. Эта особенность указывает на ограниченную прочность и надежность данного типа материала в качестве конструкционного.



а- до испытания



б- на стенде для
гидроиспытаний

Рисунок 1 – Макеты клиновой задвижки до испытания (а) и на стенде для проведения гидроиспытаний (б)



Рисунок 2 – Место разрыва корпуса

Список использованной литературы

1. ГОСТ 33257-2015. Арматура трубопроводная. Методы контроля испытаний. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122471> (дата обращения 26.05.2024).

2. ГОСТ 9544-2015. Арматура трубопроводная. Норм герметичности затворов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122470> (дата обращения 27.05.2024).
3. Коваль, А.А. Моделирование трубопроводной арматуры / А.А. Коваль, М.А. Бикмухаметова // Актуальные проблемы науки и техники-2022: материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, г. Уфа. – 2022. – С.154-156.
4. СТ ЦКБА 008-2011. Арматура трубопроводная. Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования. [Электронный ресурс]. – URL <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293804/4293804738> (дата обращения 28.05.2023).
5. Коваль, А.А. Исследование предела прочности филамента PLA / А.А. Коваль, М.А. Бикмухаметова // Актуальные проблемы науки и техники 2023 материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, г. Уфа, – 2023. – Т.2. – С. 52-53.

HYDRO-TESTING OF A WEDGE GATE VALVE MANUFACTURED USING THE SURFACING TECHNOLOGY

Marina A. Bikmukhametova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Artyom A. Koval, undergraduate, 2nd year

Ufa State Petroleum Technical University

Abstract: *This article presents the results of hydraulic tests of a wedge gate valve manufactured using additive technology. The modeling and manufacture of a wedge gate valve was performed, followed by hydraulic testing in the conditions of repair production in accordance with GOST 33257-2015 Pipeline fittings. Methods of control and testing.*

Keywords: *modeling, additive technologies, 3D printing, oil and gas industry, hydraulic testing, PLA filament.*

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСОЛЬНЫХ ПОВОРОТНЫХ КРАНОВ

Фролова Олеся Александровна, канд. техн. наук, доцент
Михайлюк Александр Сергеевич, бакалавриат, 4 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Современные подъемно-транспортные конструкции характеризуются огромным спектром грузоподъемности, размеров обслуживаемых площадей, большой производительностью. Применение консольно-поворотных кранов, весьма актуально, так как на предприятиях с большими габаритами площадей данный кран будет пригоден к работе и решит широкий круг производственных задач.

Ключевые слова: грузоподъемные механизмы, консольный кран, поворотный кран.

Код и рубрика: 621.86 Подъемно-транспортное оборудование в целом.

На сегодняшний день машиностроительные предприятия сложно представить без грузоподъемных машин и механизмов. Для непрерывности технологического процесса используют большое разнообразие грузоподъемных механизмов, которые оказывают большое влияние на экономическую эффективность и бесперебойность работы. Существует большое количество разновидностей кранов, например, мостовой, козловой, консольный, стреловой и т.п. (рисунок 1 а-г) [1].



а) башенный



б) консольный



в) мостовой



г) козловой

Рисунок 1 – Виды грузоподъемных кранов

Консольный поворотный кран – грузоподъемный механизм, который может вращаться от 90 до 360 градусов и применяется как вспомогательное оборудование на ограниченных участках. Он является надежным, оптимальным оборудованием, который повышает свою технику безопасности и благодаря высокой скорости работы электрического тельфера может быстро выполнять свою работу (рисунок 2) [1, 2].



1 – колонна; 2 – консоль (стрела); 3 – электрический тельфер; 4 – грузозахватный орган.

Рисунок 2 – Консольный поворотный кран

Использование консольных поворотных кранов значительно повышает производительность, эффективность и непрерывность труда в машиностроении и в производстве. Они являются универсальным и эффективным оборудованием для подъема и перемещения грузов в различных отраслях промышленности. Благодаря своей компактной конструкции и широкому диапазону грузоподъемности они широко используются на следующих площадках:

- производственные цеха (погрузка и разгрузка станков и оборудования; перемещение материалов между станциями обработки, сборка и монтаж крупных узлов);
- складские помещения (загрузка и выгрузка грузовых автомобилей и железнодорожных вагонов, складирование и извлечение грузов на стеллажах, инвентаризация и перестановка товаров);
- строительные площадки (подъем и перемещение строительных материалов, монтаж конструкций и оборудования, удаление строительного мусора);
- автосервисы: (подъем и транспортировка автомобилей, ремонт и техническое обслуживание транспортных средств, хранение запчастей и инструментов);
- аэропорты, железнодорожные станции и морские порты (обработка грузов, ремонт и обслуживание самолетов и поездов);
- морские суда и баржи (погрузочно-разгрузочные работы).

Компактный размер и возможность поворота на 360 градусов делают консольные поворотные краны идеальным решением для рабочих зон с ограниченным пространством или где требуется гибкость перемещения грузов.

Выбор консольного крана может зависеть от типа формы и габаритов, например, он может быть передвижным, настенным и стационарным. Краны отличаются техническими требованиями, режимом работы, креплением консоли [3-5].

Таким образом, применение консольных поворотных кранов является широко используемым средством для подъема и перемещения грузов на ограниченных участках в процессе производства и является незаменимым помощником при перемещении тяжелых грузов.

Список использованной литературы

1 Официальный сайт компании ООО «Пермский завод промоборудования» – специализированное предприятие по производству мостовых кранов и подъемно-транспортного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pzpo.ru> (дата обращения 20.05.2024).

2 Официальный сайт компании крановый завод «ЕВРОКРАН» - специализированное предприятие по производству сертифицированного грузоподъемного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kranbalki.ru> (дата обращения 21.05.2024).

3 ГОСТ 27555-87 Краны грузоподъемные. Термины и определения. – Введен в действ. 01.01.1989. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 26 с.

4 ГОСТ 28609-90 Краны грузоподъемные. Основные положения расчета. – Введен в действ. 01.01.1992. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

5 ГОСТ 33166.1-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Общие положения. – Введен в действ. 01.01.2016. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 4 с.

THE USE OF CANTILEVER CRANES

**Frolova Olesya Alexandrovna, candidate of technical sciences,
Associate Professor**

Mihailuk Alexandr Sergeevich, bakalavr, 4 level

Annotation. *Modern lifting and transport structures are characterized by a huge range of load capacity, size of service areas, and high productivity. The use of jib-slewing crane is very important, since in enterprise with large areas, this crane will be suitable for work and will solve a wide range of production problems.*

Key words: *lifting mechanisms, jib crane, slewing crane.*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА БАЗЕ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Никитин Юрий Рафаилович, канд. техн. наук, доцент
Бердников Александр Сергеевич, бакалавриат, 3 курс
Бердникова Анна Сергеевна, магистрант, 1 курс

*Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова*

Аннотация. Работа выполнена на кафедре «Мехатронные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова». В работе описывается концепция повышения эффективности процесса диагностики и мониторинга технического состояния электрического привода на базе бесколлекторного двигателя постоянного тока (БДПТ) роботов и транспортных средств на основе анализа диагностической информации различной физической природы, с учетом различных типов диагностических сигналов, формируемых отдельными элементами привода и измеряемых с помощью датчиков электрического тока и скорости вращения ротора. Реализация системы диагностики обеспечивает повышение эффективности контроля технического состояния двигателей роботов и электрического транспорта, позволяет перейти от планового технического обслуживания двигателей к обслуживанию по фактическому состоянию, повысить безопасность движения, а также внедрить системы автоматического мониторинга. Функциональное назначение системы: мониторинг технического состояния двигателей за счет использования цифрового двойника и анализа сигналов рассогласования его и реального двигателя. Разработана имитационная модель диагностики электрического привода на базе БДПТ.

Ключевые слова: мониторинг, диагностика, электрический привод, бесколлекторный двигатель с постоянными магнитами

Код и рубрика: 55.30.29 Приводы роботов и манипуляторов

Целью исследования является определение влияния дефектов БДПТ на параметры в матрице состояния и изменение выходных параметров, таких как электрические токи, протекающие через фазы двигателя и его скорость вращения. Эти исследования необходимы для разработки программ и аппаратных средств систем диагностирования и мониторинга.

Методология работы основана на современных подходах в теории управления, представления двигателя и его цифрового двойника в пространстве состояний, имитационном моделировании.

Одной из основных проблем, связанных с построением электропривода, является его чувствительность к изменению параметров в процессе работы. Прежде всего, это относится к изменениям активных и индуктивных сопротивлений обмотки статора из-за дефектов. Отсюда следует актуальность задачи идентификации параметров синхронного двигателя в процессе его работы.

При значительном количестве научных публикаций по идентификации параметров электродвигателей [1-9], до настоящего времени нет приемлемых комплексных решений, которые позволяли бы в реальном времени в процессе эксплуатации промышленных установок определять все необходимые величины. Кроме того, многие решения по идентификации параметров у современных электроприводов составляют коммерческую тайну.

В общем случае под идентификацией понимается определение структуры и параметров математической модели динамического объекта, которые обеспечивают наилучшую близость значений выходных величин модели и объекта по заданному критерию подобия при одних и тех же входных воздействиях [10, 11].

Под реальным временем подразумевается, что скорость изменения текущих значений определяемых величин и длительность процессов их идентификации различаются на величину, допустимую для решения практических задач при дальнейшем использовании результатов идентификации (управление, функциональное диагностирование или мониторинг) [12].

Наиболее перспективная группа методов – пассивные методы, основанные на регистрации и обработке легко доступной информации о двигателе в режиме его рабочего функционирования [13]. Под легко доступной информацией будем понимать электрические токи и скорость вращения ротора.

Этому требованию соответствует группа методов идентификации на основе теории цифровых двойников [14].

Показатель качества часто определяют по эталонной динамической модели объекта управления [15].

В научной литературе теория адаптивных систем с эталонной моделью известна как Model Reference Adaptive Control (MRAC) [16-17]. В качестве альтернативы рассматриваются адаптивные системы с настраиваемой моделью, характеристики которой сначала подстраиваются под динамические характеристики объекта и затем используются для оптимизации системы [18-20].

Процесс подстройки модели под объект представляет собой, по существу, идентификацию системы, в результате которой вырабатываются данные для вычисления на следующем этапе оптимального управления [21-22].

О близости модели к объекту судят по величине рассогласования между выходом модели и сигналом обратной связи реального объекта. Когда ошибка становится меньше некоторой заданной величины, процесс идентификации заканчивается и автоматически начинается процесс перестройки регулятора основного контура с целью оптимизации [23-24].

Механизм настройки может включать в себя различные алгоритмы, главная цель которых – найти такой вектор параметров, чтобы минимизировать невязку между выходами модели и объекта управления.

Вычисление параметров указанными алгоритмами при этом представляет собой довольно сложную математическую задачу. Кроме того, получаемая в системе информация часто оказывается недостаточной для немедленного нахождения новых значений необходимых параметров. В таком случае, чтобы решить задачу, необходимо накапливать информацию в процессе работы.

Одним из возможных методов вычисления параметров является применение расширенного фильтра Калмана. Модификаций подобных фильтров достаточно много, и под конкретную задачу всегда можно выбрать соответствующий фильтр. Фильтр Калмана является рекурсивным линейным оптимальным алгоритмом обработки измерительной информации и используется для получения оценок параметров динамического объекта при воздействии случайных помех. Алгоритм позволяет эффективно оценивать параметры и переменные состояния объекта, включая и те из них, которые не могут быть измерены непосредственно. Недостатком фильтра является необходимость предварительной настройки, которая заключается в определении ковариационных матриц шума состояния объекта и шума измерительной системы, которые могут изменяться со временем, а их автоматическая корректировка в процессе работы электродвигателя может оказаться затруднительной либо невозможной.

При попытке добавить в вектор состояния индуктивностей статора, процесс оценивания становится неустойчивым с помощью расширенного фильтра Калмана. Это объясняется тем, что расширенный фильтр Калмана является, по сути, градиентным методом и дает строгое решение только для линейных объектов, а в применении к нелинейным объектам, к которым относятся двигатели, возможно не только попадание в локальный экстремум с получением неточных оценок, но и возникновение неустойчивого процесса оценивания.

Другой часто используемый метод вычисления параметров - рекуррентный метод наименьших квадратов, который позволяет решить задачу оценивания параметров с минимизацией ошибки по среднеквадратичному критерию. К достоинствам метода следует отнести то, что методу не требуется никакая априорная информация. К недостаткам – модель объекта с достаточной точностью должна быть описана алгебраическими уравнениями.

Известны работы, в которых используется комбинация фильтра Калмана и рекуррентного метода наименьших квадратов для одновременной идентификации состояния и подстройки параметров.

Возможно применение и других алгоритмов поиска параметров. Встречаются работы, в которых применяются искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и др.

Как правило, все эти методы используют допущение, что в процессе идентификации одного параметра, другие не изменяются. Однако, известны работы, в которых показана одновременная идентификация нескольких

параметров (например, одновременная идентификация сопротивлений статора на основе адаптивного наблюдателя).

Таким образом, наиболее перспективным на данный момент времени представляется подход к идентификации параметров двигателя в процессе работы на основе пассивных методов, поскольку их применение не требует никаких средств, кроме программных. Отметим только, что при этом одновременное вычисление активного сопротивления ротора и частоты вращения невозможно в статическом режиме работы – это обусловлено вырожденностью якобиана соответствующей системы алгебраических уравнений для статического режима работы. В то же время, для динамического режима такого ограничения нет.

На рисунке 1 показана схема параллельной работы БДПТ и цифрового двойника для вычисления сигнала невязки по скорости вращения.

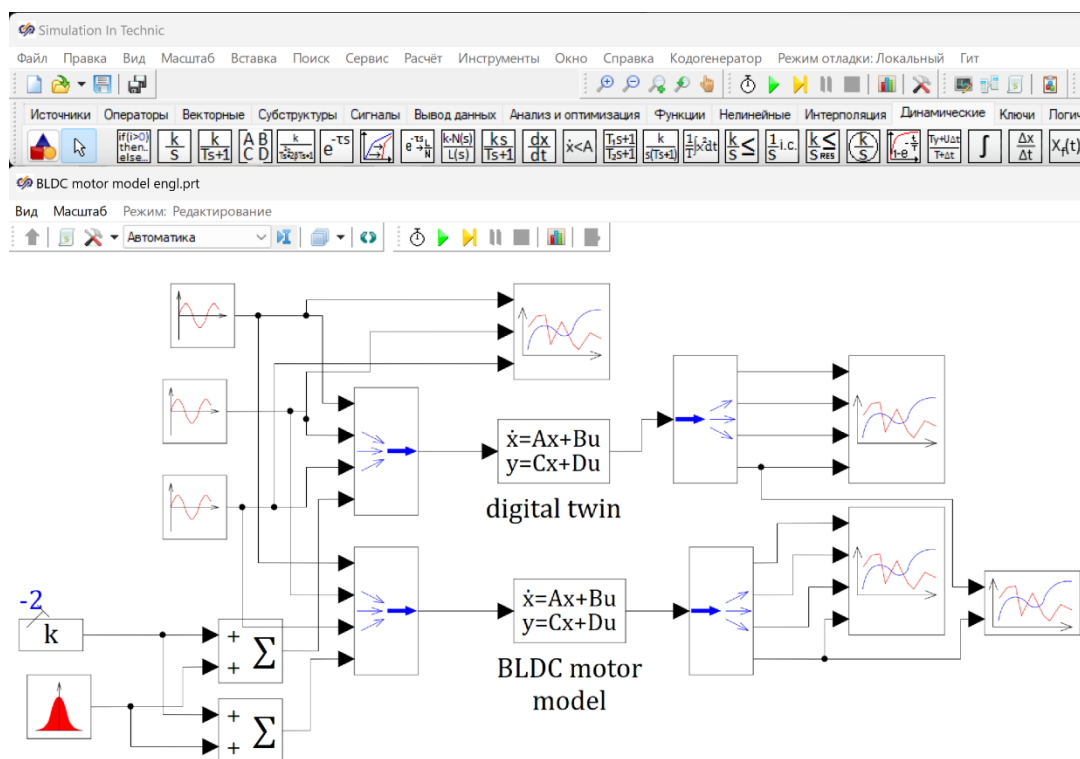


Рисунок 1 – Схема параллельной работы БДПТ и его цифрового двойника

На рисунке 2 показаны угловые скорости БДПТ при отсутствии дефектов и цифрового двойника. Видно, что они полностью совпадают.

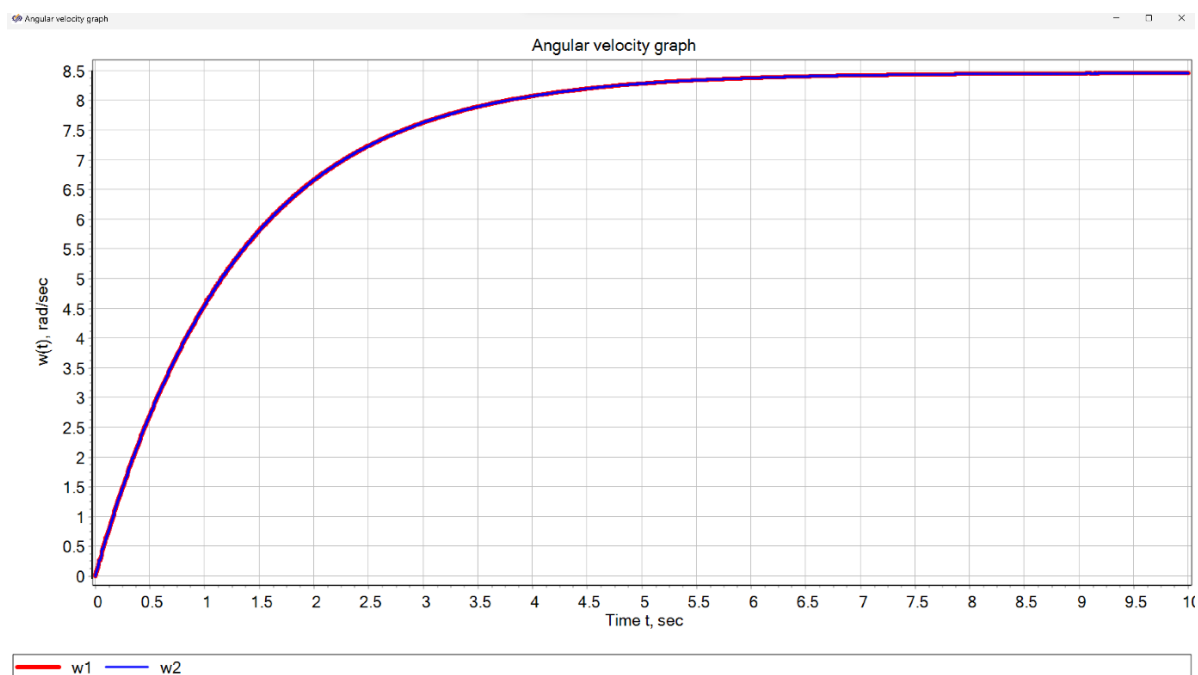


Рисунок 2 – Угловые скорости БДПТ в отсутствие дефектов и цифрового двойника

На рисунке 3 показаны угловые скорости БДПТ при коротком замыкании фазы А ($RA\_2=0$) и цифрового двойника. Видно, БДПТ не может работать, его скорость колеблется около нуля.

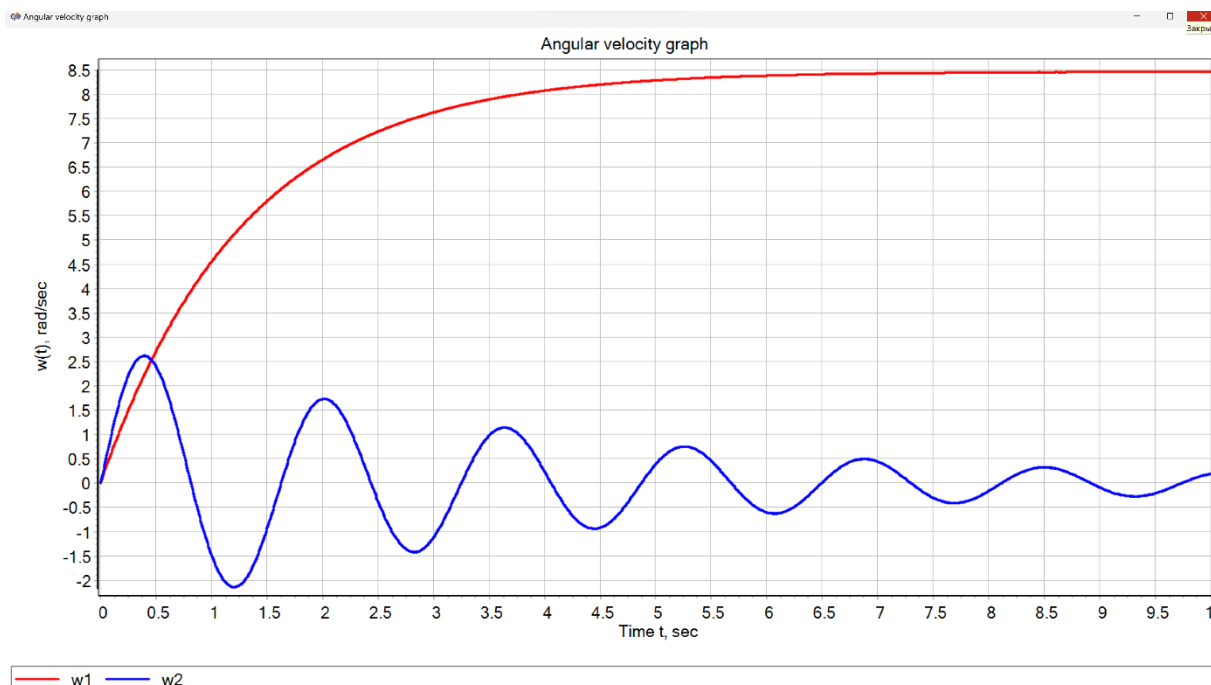


Рисунок 3 – Угловые скорости двигателя БДПТ при коротком замыкании фазы А ($RA\_2=0$) и цифрового двойника

На рисунке 4 показаны угловые скорости БДПТ при размагничивании постоянных магнитов и цифрового двойника. Скорости вращения отличаются в 2 раза.

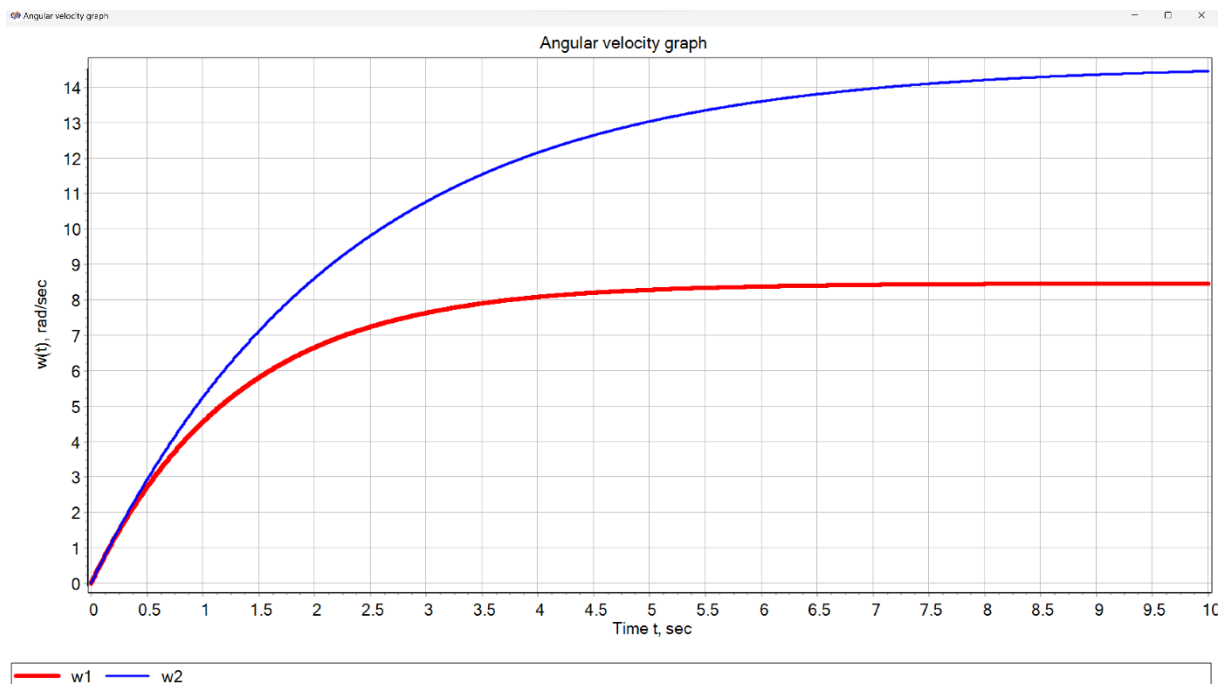


Рисунок 4 – Угловые скорости двигателя БДПТ при размагничивании постоянных магнитов и цифрового двойника ($km1=0.95$, $km2=0.55$)

Заключение

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная задача создания системы диагностики и мониторинга БДПТ, отличающейся от аналогичных систем совместным анализом механических и электрических параметров. Таким образом, повышается эффективность мониторинга технического состояния в виде увеличения показателя надежности.

2. Разработана имитационная модель БДПТ и его цифрового двойника, на базе которой можно исследовать зависимости между дефектами и изменением скорости вращения и электрического тока.

Список использованной литературы

1. Cheng, C., Wang, J., Chen, H., Chen, Z., Luo, H., and Xie, P. A review of intelligent fault diagnosis for high-speed trains: Qualitative approaches. *Entropy*. – 2020. – 23(1):1.
2. Turygin Yu., Bozek P., Abramov I., Nikitin Yu. Reliability Determination and Diagnostics of a Mechatronic System. *Advances in Science and Technology*. – Vol. 12. – no. 2, June. – 2018. – pp. 274–290. – DOI 10.12913/22998624/92298. – ISSN 2299-8624.

3. Kuric, I., Klackova, I., Nikitin, Y.R., Zajacko, I., Cisar, M., Tucki, K. Analysis of diagnostic methods and energy of production systems drives. Processes. – 2021, 9, 843. – DOI 10.3390/pr9050843.
4. Bozek, P., Nikitin, Yu., Krenicky, T. Diagnostics of Mechatronic Systems. Series: Studies in Systems, Decision and Control 345. Springer Nature, Switzerland AG. – 2021. – 79 p. – DOI:10.1007/978-3-030-67055-9. Print ISBN 978-3-030-67054-2. Online ISBN 978-3-030-67055-9. Series Print ISSN 2198-4182. Series Online ISSN 2198-4190.
5. Chen, H., Jiang, B. A review of fault detection and diagnosis for the traction system in high-speed trains. IEEE Transactions on intelligent Transportation Systems. – 2020, 21(2): 450-465.
6. Chen, H., Jiang, B., Ding, S.X. and Huang, B. Data-driven fault diagnosis for traction systems in high-speed trains: A survey, challenges, and perspectives. IEEE Transactions on intelligent Transportation Systems. – 2022, 23(3): 1700-1716.
7. Chen, H., Jiang, B., Chen, W., and Yi, H. Data-driven detection and diagnosis of incipient faults in electrical drives of high-speed trains. IEEE Transactions on Industrial Electronics. –2019, 66(6): 4716-4725.
8. Chen, H., Jiang, B., Ding, S.X., Lu, N., and Chen, W. Probability relevant incipient fault detection and diagnosis methodology with applications to electric drive systems. IEEE Transactions on control Systems Technology. –2019, 27(6): 2766-2773.
9. Cheng, C., Qiao, X., Zhang, B., Luo, H., Zhou, Y., and Chen, H. Multiblock dynamic slow feature analysis-based system monitoring for electrical drives of high-speed trains. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2021, 70:1-10.
10. Cheng, C., Wang, W., Ran, G., and Chen, H. Data-driven designs of fault identification via collaborative deep learning for traction systems in high-speed trains. IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2021. – doi 10.1109/ TTE .2021.3129824.
11. Ding S.X. Application of randomized algorithms to assessment and design of observer-based fault detection systems. Automatica. – vol. 107. – pp. 175–182. – 2019.
12. Chen, H., Chai, Z., Jiang, B., and Huang, B. Data-driven fault detection for dynamic systems with performance degradation: A unified transfer learning framework. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2020, 70:1-12.
13. Chen, H., Jiang, B., and Lu, N. A newly robust fault detection and diagnosis method for high-speed trains. IEEE Transactions on intelligent Transportation Systems. – 2019, 20(6): 2198-2208.
14. He, S., Chen, F., Xu, N., and Chen, H. Online monitoring for non-stationary operation via a collaborative neural network. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2022. – DOI 10.1109/ TIM .2022.3165256.
15. Li, Y., Chen, H., Lu, N., Jiang, B., and Zio, E. Data-driven optimal test selection design for fault detection and isolation based on CCVKL method and PSO. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2022. – DOI 10.1109/TIM.2022.3168930.

16. Nikitin Y., Krenicky T., Bozek P. Diagnostics of automated technological drives. Monitoring and Analysis of Manufacturing Processes in Automotive Production, vol.6. Lüdenscheid, RAM-Verlag. – 2022. – 148 p. ISBN: 978-3-96595-018-4. e-ISSN (PDF) 2629-3161.
17. Peterka, J., Bozek, P., and Nikitin, Yu. Diagnostics of automated technological devices. MM Science Journal, October. – 2020. – Pp. 4027-4034. – DOI 10.17973/MMSJ.2020_10_2020051.
18. Lekomtsev P.V., Nikitin Yu.R., Trefilov S.A. DC Motor Identification Based on Quasi-Optimal Nonlinear Control Algorithm. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. – 2021. – vol. 24, no. 2. – pp. 68-76 (in Russ.). – DOI: 10.22213/2413-1172-2021-2-68-76.
19. Stepanov, P., Bozek, P., Lagutkin, S., Nikitin, Y. Development of a decision box of diagnostic system for electric drives. MM Science Journal. – 2021. – November. – pp . 4954-4961. – DOI 10.17973/ MMSJ.2021_11_2021126.
20. Никитин Ю. Р. Диагностирование приводов технологических систем: Монография — Саратов : Вузовское образование. – 2022. – 161 с. – (Высшее образование). – Текст : электронный. ISBN 978-5-4487-0615-8.
21. Никитин Ю. Р., Трефилов С. А., Абрамов А. И., Абрамов И. В., Турыгин Ю. В., Романов А. В. Диагностирование приводов мобильных роботов на базе модели двигателя постоянного тока // Интеллектуальные системы в производстве. – 2018. – Том 16, №4. – С.114–121. ISSN 1813-7911. – DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-114-121
22. Никитин Ю. Р., Трефилов С. А., Никитин Е. В. Идентифицируемость модели привода мехатронного устройства на базе двигателя постоянного тока по измерительной матрице // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2019. – № 4-1 (336). – С. 114–122. ISSN 2073-7408.
23. Трефилов С. А., Никитин Ю. Р. Диагностика приводов роботов на базе двигателя постоянного тока по критерию идентифицируемости нелинейной дискретной модели в пространстве состояний // Вестник УГАТУ. – 2020. – Т. 24, № 1 (87). – С. 103–110. – ISSN 1992-6502.
24. Никитин Ю. Р., Трефилов С. А. Разработка системы диагностирования приводов мобильных роботов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – № 4-1 (342). – С. 59–68. ISSN 2073-7408. – DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-59-67.

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF ELECTRIC DRIVE ON THE BASIS OF COLLECTORLESS DC MOTOR

**Nikitin Yuri Rafailovich, Candidate of Technical Sciences, associate
professor**

Berdnikov Alexander Sergeevich, Bachelor's degree, 3rd course

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov

Annotation. *The work was carried out at the department "Mechatronic Systems" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kalashnikov Izhevsk State Technical University" under the guidance of Yury Rafailovich Nikitin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Mechatronic Systems". The paper describes the concept of increasing the efficiency of the process of diagnostics and monitoring of the technical condition of the electric drive based on the BLDC motor of robots and vehicles on the basis of analyzing the diagnostic information of different physical nature, taking into account different types of diagnostic signals formed by individual elements of the drive and measured with the help of sensors of electric current and rotor speed. The realization of the diagnostics system provides the increase of efficiency of control of the technical condition of the motors of robots and electric transport, allows to pass from the planned maintenance of motors to the maintenance according to the actual condition, to increase the safety of movement, as well as to introduce automatic monitoring systems. Functional purpose of the system: monitoring of the technical condition of motors by using a digital twin and analyzing the signals of mismatch between it and the real motor. A simulation model of diagnostics of the electric drive based on the BLDC motor has been developed.*

Keywords: *monitoring, diagnostics, electric drive, BLDC motor*

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

**Репях Виталий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент,
Приймак Татьяна Владимировна, студентка 4 курса бакалавриата,
Яхнович Сергей Владимирович, Шамсутдинова Елена Игоревна,
магистранты 1 курса**

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье представлены теоретические сведения о диагностировании задвижек. Рассмотрены задачи диагностирования задвижек, виды контроля качества клиновых задвижек, а также дана оценка результатов контроля задвижек.

Ключевые слова: задвижка, диагностирование, проверка, ревизия.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Диагностирование состояния задвижек – это процесс, который обеспечивает определение технического состояния и работоспособности задвижек, используемых в различных сферах промышленности и бытовых условиях. Проведение такой диагностики имеет несколько целей.

Во-первых, основная задача диагностирования состояния задвижек заключается в проверке их работоспособности. Наличие неисправностей может привести к аварийным ситуациям или просто снизить эффективность эксплуатации системы, в которой они применяются. После проведения диагностики можно выявить и устранить потенциальные проблемы, связанные с задвижками, и тем самым обеспечить их бесперебойную работу.

Во-вторых, диагностирование состояния задвижек также помогает определить периодичность технического обслуживания и ремонта. При регулярной диагностике можно выявить предполагаемые сроки возникновения неисправностей и планово провести профилактические работы, что позволяет избежать аварий и сократить простои систем [1].

Кроме того, проведение диагностики состояния задвижек позволяет определить необходимость замены или модернизации оборудования. Это особенно важно в случае устаревшей или изношенной системы задвижек, которые могут не соответствовать современным требованиям безопасности или энергосбережения. Обновление такой системы может значительно повысить ее эффективность и надежность.

Неразрушающий контроль (НК) корпусов задвижек для магистральных трубопроводов является неотъемлемой частью работ, выполняемых до и после капитального ремонта задвижек. Для проведения контроля корпусов задвижек необходимы определенные условия.

Во-первых, перед началом неразрушающего контроля необходимо обеспечить доступ к корпусу задвижки. Благодаря этому можно получить максимально точные данные о состоянии корпуса задвижки.

Во-вторых, важно обеспечить ровную и стабильную поддержку корпуса задвижки во время проведения контроля. Для этого можно использовать специальные подпорные устройства или помощников, чтобы избежать деформации или повреждения корпуса задвижки во время процедуры контроля.

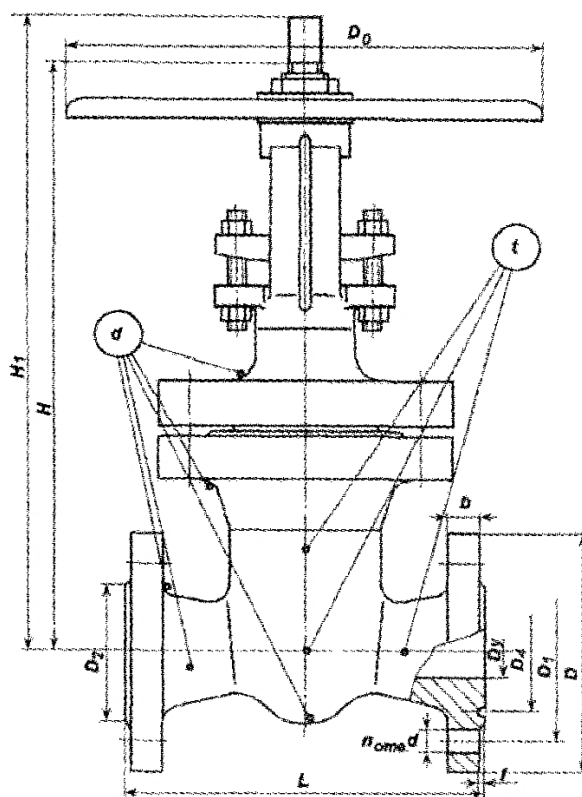
Также, при проведении неразрушающего контроля корпусов задвижек крайне важно обеспечить чистоту рабочей зоны. Все инструменты, приспособления и датчики контроля должны быть в чистом состоянии, чтобы предотвратить возможные повреждения поверхности корпуса задвижки или искажение результатов контроля.

Наконец, необходимо соблюдать соответствующие технические требования и нормативы при проведении неразрушающего контроля корпусов задвижек для магистральных трубопроводов. Это включает выбор правильных методов контроля, калибровку оборудования и точное выполнение всех необходимых шагов процедуры контроля [2].

При диагностировании задвижек используют следующие виды контроля:

1. визуальный контроль;
2. контроль с использованием аэроакустического (АЭ) метода;
3. капиллярный (цветной) контроль;
4. ультразвуковая дефектоскопия;
5. контроль напряженного состояния металла корпусных деталей;

На рисунке 1 представлена схема основных мест обследования задвижки.



t – толщинометрия; d - дефектоскопия

Рисунок 1 – Схема основных мест обследования задвижки

Вначале процесса контроля, задвижки подвергаются тщательной визуальной проверке на предмет механических повреждений, внешних дефектов и других видимых неисправностей. Квалифицированные специалисты внимательно осматривают каждую задвижку, обращая внимание на такие факторы, как целостность поверхности, равномерность окраски, отсутствие трещин или сколов.

Дополнительно, применяются специальные инструменты и особые осветительные средства, чтобы более детально рассмотреть каждый элемент задвижки. Это позволяет выявить и скрытые дефекты, такие как внутренние трещины или неравномерность геометрических параметров.

В процессе испытаний, особое внимание уделяется также правильности работы механизма задвижки. Контролируется свободное движение, отсутствие заеданий или неправильной фиксации. При необходимости проводится дополнительная проверка путем вращения, выдвигания или нагнетания.

Контроль качества задвижек является важным этапом в процессе их производства и эксплуатации. Одним из наиболее эффективных методов контроля является АЭ метод.

АЭ метод контроля качества задвижек основан на измерении характеристик звукового сигнала, возникающего при движении и функционировании задвижек. Данный метод позволяет не только определить наличие дефектов, но и их характер и местоположение.

Преимуществом АЭ метода является его неразрушающий характер, что позволяет проводить контроль качества задвижек без необходимости их расточки или демонтажа. Это существенно экономит время и средства, ускоряет процесс контроля и повышает его эффективность.

Для проведения АЭ контроля качества задвижек применяется специальное оборудование, которое осуществляет запись и анализ звуковых сигналов. Результаты анализа позволяют выявить различные дефекты, такие как трение, заедание или износ, и принять необходимые меры по их устранению.

Одним из преимуществ АЭ метода также является его применимость в различных условиях эксплуатации, включая высокие и низкие температуры, агрессивную среду и вибрации [3].

Методика капиллярного (цветного) контроля применяется для проверки участков поверхности корпусных деталей, которые находятся в зонах акустически активных источников, обнаруженных при использовании контроля, либо в зонах, где имеется концентрация механических напряжений, которая выявляется с помощью магнитометрического индикатора напряжений магнитного поля.

В течение цветного контроля, отдельные участки поверхности должны быть основательно очищены от грязи, краски, рыхлых продуктов коррозии, и отполированы до металлического блеска.

В результате цветного контроля фиксируются индикаторные следы размером более 1 мм. При этом не допускаются трещины, а также дефекты, которым соответствуют следующие индикаторные следы в зависимости от толщины стенок:

- более 10% толщины плюс 1 мм для стенок толщиной до 20 мм;
- более 2 мм плюс 0,05 для стенок толщиной от 20 до 60 мм;
- более 5 мм для стенок толщиной более 60 мм.

Ультразвуковой контроль использует звуковые волны с частотой выше предела слышимости человека – выше 20 кГц. Это позволяет обнаружить дефекты, скрытые на поверхности или внутри материала задвижки. Во время проведения контроля, специалисты ультразвукового контроля используют специальное оборудование, называемое ультразвуковым дефектоскопом.

Применение ультразвукового контроля при контроле качества задвижек имеет несколько преимуществ. Во-первых, этот метод позволяет обнаружить дефекты, которые могут быть невидимыми невооруженным глазом или традиционными методами контроля. Например, трещины, скрытые под покрытием или поверхностью, легко обнаруживаются при помощи ультразвука. Во-вторых, ультразвуковой контроль позволяет проводить контроль в режиме реального времени без необходимости разбирать задвижку или поверхности, что значительно экономит время и ресурсы.

Процесс ультразвукового контроля задвижек включает несколько этапов. Вначале специалисты проводят осмотр и подготовку поверхности задвижки. Затем с помощью ультразвукового дефектоскопа специалисты сканируют задвижку и анализируют полученные данные. При наличии дефектов, таких как трещины, пузыри, включения или неправильные сварные соединения, специалисты могут принять решение о необходимости проведения ремонта или замены задвижки.

Контроль качества задвижек с применением ультразвукового контроля является надежным и эффективным инструментом для обнаружения дефектов и обеспечения безопасности в промышленности. Благодаря этому методу, компании могут быть уверены в качестве своей продукции и доверии со стороны потребителей. При использовании ультразвукового контроля для проверки основного металла корпусных деталей фиксации необходимо обратить внимание на наличие несплошностей с соответствующей отражающей площадью, которая составляет 10 мм² для деталей толщиной до 50 мм и 15 мм² для деталей толщиной от 50 до 100 мм.

Контроль напряженного состояния металла корпусных деталей клиновых задвижек является одной из важных составляющих процесса производства и обслуживания этих деталей. Этот контроль позволяет обнаружить и предотвратить возможные дефекты и повреждения, которые могут привести к поломке или неправильной работе задвижек.

При контроле напряженного состояния металла корпусных деталей используются различные методы и технологии. Одним из самых распространенных способов является применение не разрушающего контроля, такого как ультразвуковой контроль или магнитопорошковый контроль. Эти методы позволяют выявить даже незначительные дефекты и повреждения в металле, которые не видны невооруженным глазом.

Контроль напряженного состояния металла корпусных деталей клиновых задвижек также осуществляется путем проведения различных испытаний и

анализа полученных данных. Например, проводятся испытания на прочность, которые позволяют установить максимальное допустимое напряжение, которое может выдержать деталь без поломки. Также осуществляется анализ микроструктуры металла, что позволяет определить наличие дефектов или изменений в структуре, которые могут негативно повлиять на работу задвижек.

В результате контроля напряженного состояния металла корпусных деталей клиновых задвижек получается детальный отчет, который содержит информацию о состоянии металла, выявленных дефектах и рекомендациях по дальнейшим действиям. Этот отчет является ценным инструментом для принятия решений по обслуживанию и ремонту задвижек, а также для улучшения технологических процессов производства этих деталей [4].

В заключение, проведение всех видов контроля для контроля качества клиновых задвижек является важным элементом процесса производства и эксплуатации. Только при условии полноценного контроля можно гарантировать высокую надежность, безопасность и долговечность данного типа клапанов. Внимание к каждому этапу контроля позволит предотвратить возможные дефекты, утечки и повреждения, тем самым обеспечивая качество и надежность в работе клиновых задвижек.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 5762-74. Задвижки на условное давление $P=25$ МПа. Общие технические условия.
2. Сейнов, С. В. Техническое диагностирование арматуры АЭС / С. В. Сейнов, А. И. Гошко, А. К. Адаменков, Д. А. Усанов. – М.: Машиностроение. – 2012. – 452 с.
3. Аксенов, В. И. Ремонт арматуры АЭС Стационарный ремонт. Технологии. Оборудование / В. И. Аксенов, А. Н. Архипов, А. И. Гошко [и др.]. – М.: Машиностроение. – 2013. – 500 с.
4. Мустафин, Ф. М. Трубопроводная арматура: учебное пособие / Ф. М. Мустафин, А. Г. Гумеров [и др.]. – Уфа: ГУП РБ УПК, УГНТУ. – 2007. – 326 с.

DIAGNOSIS OF PIPELINE FITTINGS

**Vitaly S. Repyakh, candidate of technical sciences, associate professor,
Tatyana V. Priymak, 4th year undergraduate student,
Sergey V. Yakhnovich, Elena I. Shamsutdinova, 1st year undergraduates**

Orenburg State University

Annotation. *The article presents theoretical information about the diagnosis of valves. The tasks of diagnosing valves, types of quality control of wedge valves are considered, and an assessment of the results of valve control is given.*

Keywords: *gate valve, diagnosis, verification, revision.*

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СОСУДА АММИАЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Сагинбаева Зульхиза Гильмановна, бакалавр, 4 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Работа выполнена на кафедре механики материалов, конструкций и машин Оренбургского государственного университета **под руководством Морозова Николая Анатольевича**, доцента, кандидата технических наук, доцента кафедры механики материалов, конструкций и машин Оренбургского государственного университета. В данной работе проведен расчет показателей надежности ресивера аммиачной холодильной установки.

Ключевые слова: аммиак, холодильная установка, оценка надежности, показатели надежности

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

Аммиачные холодильные установки широко используются в промышленности и в коммерческих объектах для обеспечения необходимых условий хранения и охлаждения. Однако из-за особенностей работы с аммиаком, такие установки требуют особого внимания к вопросам надежности и безопасности.

Ресивер аммиачной холодильной установки является важным элементом холодильной системы. Представляет собой сосуд из стали, работающий под давлением, и устанавливается между конденсатором и испарителем. Основная функция линейного ресивера – сбор хладагента после конденсатора и обеспечение равномерной подачи аммиака в испаритель, что позволяет поддерживать стабильную температуру охлаждения. Это достигается путём регулирования объёма жидкого аммиака, поступающего из конденсатора, и контроля скорости его испарения в испарителе.

Согласно ПБ 03-576-03 [1] конструкция ресиверов должна давать надежность и безопасность обслуживания в течение заданного времени службы и предполагать возможность проведения технического освидетельствования, промывки, очистки, полного освобождения, ремонта, продувки, эксплуатационного контроля материалов и стыков.

Оценка надежности сосуда аммиачной холодильной установки является важным этапом в обеспечении безопасной и эффективной работы всей системы. Аммиачные сосуды играют главную роль в процессе охлаждения и подвержены высокому давлению и химическому воздействию вещества.

Расчету надежности предшествует анализ условий эксплуатации и конструкции изделия. При анализе определяются элементы (сборочные

единицы, детали), приводящие к отказам изделия, и взаимосвязь отказывающихся элементов. Выявляются факторы, приводящие к разрушению элементов изделия.

Показатели надежности следует рассчитывать исходя из годового фонда времени (8760 ч), так как циклом эксплуатации является период между ежегодными остановочными ремонтами.

Для оценки показателей надёжности выбирается структурный метод, заключающийся в представлении объекта в виде аналитической модели, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов, принятой стратегии обслуживания, наличия или отсутствия, видов и способов резервирования и других факторов (рисунок 1).

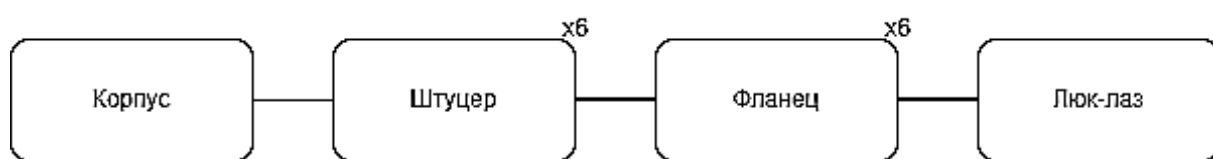


Рисунок 1 – Структурная схема надёжности ресивера

Согласно ГОСТ 27.301-95, в качестве исходных данных для выполнения расчёта надёжности допускается использовать данные официальных отраслевых справочников или нормативных документов предприятий изготовителей и разработчиков изделий, а также данные об аналогах и результатах испытаний (в том числе лабораторных) составных частей разрабатываемых изделий. При выполнении расчетов была использована информация об интенсивности отказов элементов ресивера из источников [2], [3] (таблица 1).

Суммарная интенсивность отказов элементов ресивера определяется как сумма интенсивностей отказов всех входящих в изделие элементов с учётом их кол количества:

Таблица 1 – Показатели надёжности составных частей изделия

Наименование	Количество	Интенсивность отказов, $1/\text{час} \cdot 10^{-6}$	Источник данных
Штуцер	6	0,09	[2]
Люк-лаз	1	0,052	[3]
Корпус	1	1,5	[2]
Фланец	6	0,014	[3]

Суммарная интенсивность отказов элементов ресивера λ определяется как сумма интенсивностей отказов всех входящих в изделие элементов с учётом их кол количества:

$$\lambda = \sum_{k=1}^n \lambda_i. \quad (1)$$

Стало быть, интенсивность отказов ресивера составила $\lambda = 2,176 \cdot 10^{-6}$ 1/час.

Интенсивность отказов и наработка на отказ связаны соотношением:

$$T = \frac{1}{\lambda}. \quad (2)$$

Наработка до отказа составляет 459559 часов.

Определим вероятность безотказной работы ресивера:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (3)$$

где t – время непрерывной работы, ч.

Для времени непрерывной работы 8760 часа вероятность безотказной работы составляет 0,98.

Таким образом, были определены показатели надежности проектируемого ресивера аммиачной установки. Необходимо отметить, что долговечность изделия зависит от множества факторов, включая условия эксплуатации, нагрузки, воздействия внешних факторов и так далее. Только реальные испытания изделий в реальных условиях могут дать объективную оценку надежности объекта.

Список использованной литературы

- 1 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03 - 576 - 03). Серия 3. Выпуск 24 / колл. авт. – М.: Научно - технический центр по безопасности в промышленности. – 2008. – 188 с.
- 2 Дубинский, Н. М. Надёжность систем газоснабжения / Н.М. Дубинский. – Киев: Техника. – 1970. – 215 с.
- 3 Арматура трубопроводная. Расчет показателей надежности на этапе проектирования (РД 24-207-06-90) / колл. авт. – М.: ЦКБА. – 1990. – 104 с.
- 4 Костеров, В. В. Надёжность технических систем и управление риском: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.В. Костеров. – Москва: МИФИ. – 2008. – 277 с.
- 5 Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных (ПБ 03 - 384 - 00) Серия 03. Выпуск 2 / колл.авт. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». – 2009. – 104 с.

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF AN AMMONIA REFRIGERATION UNIT VESSEL

Zulkhiza G. Saginbaeva, Bachelor, 4th year

Orenburg State University

Annotation. *The work was performed at the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines of Orenburg State University under the supervision of Nikolai Anatolyevich Morozov, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines of Orenburg State University. In this paper, the reliability indicators of the ammonia refrigeration unit receiver are calculated.*

Keywords: *ammonia, refrigeration unit, reliability assessment, reliability indicators*

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВИАДУКОВ

Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Хабибуллина Камилла Вадимовна, студент бакалавриата, 2 курс

Оренбургский государственный университет

***Аннотация.** В статье рассматриваются основные критерии оценки технического состояния виадуков, которые являются важнейшими инженерными сооружениями, обеспечивающими транспортную связь и безопасность движения. Оценка технического состояния виадуков необходима для обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации, а также для планирования своевременных ремонтных и реконструкционных работ. В работе представлены различные критерии оценки технического состояния виадуков, включая пропускную способность, грузоподъемность, состояние конструкций.*

***Ключевые слова:** виадук, грузоподъемность, техническое состояние, пропускная способность, долговечность.*

***Код и рубрика:** 67.00.00 Строительство. Архитектура*

Одной из актуальных проблем современного Оренбурга является интенсивный автомобильный трафик, который приводит к образованию заторов на магистральных улицах, соединяющих центр города с его районами. Для решения данной проблемы широко применяется строительство виадуков.

Первым виадуком в Оренбурге стал объект на улице Терешковой, расположенный на 19,9 км автомобильной дороги. Он был введен в эксплуатацию в 1984 году. Конструкция виадука представляет собой железобетонное сооружение длиной 109,65 м, шириной 11,58 м и высотой 12 м. Виадук имеет четыре полосы движения.

Строительство подобных сооружений в виде виадуков позволяет разгрузить наземную транспортную сеть, повысить пропускную способность автомагистралей и уменьшить время в пути для автомобилистов.

Виадук на улице Терешковой обеспечивает транспортную связь между несколькими пригородными поселками (Заречный, Пушкино, колхоз имени Ленина) и Оренбургом, а также предоставляет возможность выезда на Самарскую трассу.

2 декабря 2019 года произошло обрушение данного виадука. В результате катастрофы разрушилось около 100 метров мостового полотна, а конструкция завалилась набок (рисунок 1).

Основываясь на многочисленных резонансных публикациях в средствах массовой информации [1-4], были обозначены следующие факторы, послужившие основными причинами обрушения:

—ненадлежащая организация движения транспорта по ремонтируемому мосту;

–перегруз моста, что привело к образованию дефекта одной из промежуточных опор.

Следствием было установлено, что ввиду халатности не была согласована схема организации движения по мосту через улицу Терешковой с его перекрытием на период проведения ремонтных работ, а также не проведены никакие страховочные мероприятия по предотвращению разрушения виадука, хотя техническое состояние моста начало ухудшаться еще в 2014 году. Отсутствие должного контроля за соблюдением ограничений по весовым и габаритным характеристикам транспортных средств, а также неэффективная система регулирования потока автомобилей привели к перегрузке моста повлекшее разрушение.

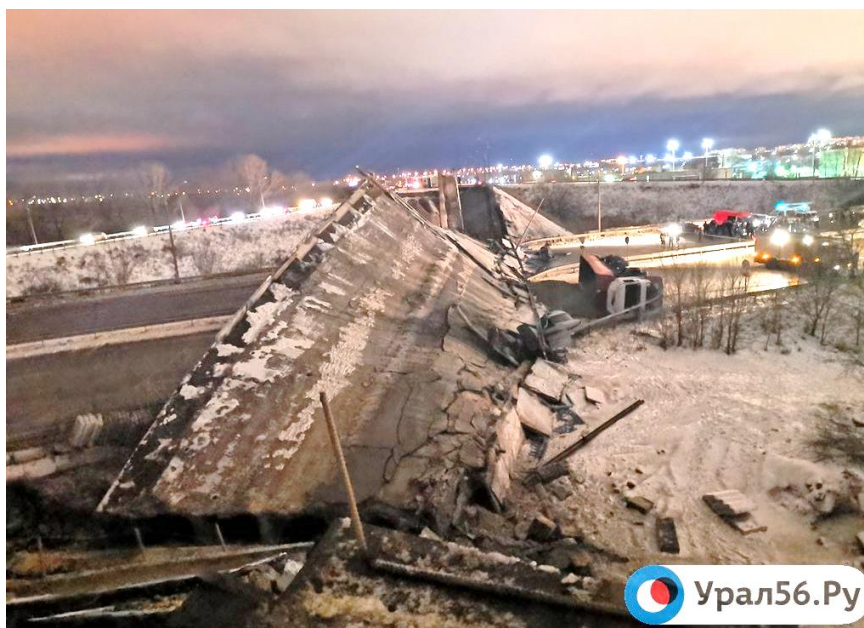


Рисунок 1 –Рухнувший мост. Вид сверху. Фото из архива [1]

Обрушение виадука на улице Терешковой в городе Оренбург подчеркивает важность соблюдения правил эксплуатации и своевременного ремонта транспортных сооружений. Ненадлежащая организация движения и перегрузка мостов могут привести к катастрофическим последствиям.

Огромную роль в предотвращении таких опасных ситуаций играет не только правильные расчеты при проектировании виадука, но и оценка уровня их технического состояния. Данная процедура определяет его текущее состояние, выявление потенциальных проблем и планирование необходимых мероприятий по обслуживанию и ремонту. Это обеспечивает безопасность и надежность объекта. Ниже приведены основные критерии оценки технического состояния виадука.

Оценка технического состояния виадука по критерию «пропускная способность» является важным аспектом обеспечения безопасного и эффективного движения транспорта. Пропускная способность определяется как максимальное количество транспортных средств, которое может проходить через виадук за единицу времени при заданных условиях движения.

Для оценки пропускной способности проводятся комплексные исследования, включающие анализ показателей, представленных в таблице 1.

Оценка пропускной способности помогает оптимизировать использование виадука, предотвращать перегрузку и создание опасных ситуаций на дороге. Исторически, в случае необходимости увеличения пропускной способности должны были предлагаться различные решения, такие как модернизация дорожной инфраструктуры, изменение схемы движения или использование дополнительных транспортных средств [5]. В настоящее время выполнение критерия «пропускная способность» регламентируется соответствующим отраслевым дорожным методическим документом ОДМ 218.2.020-2012 [6].

Таблица 1 – Показатели пропускной способности виадука

Оценка пропускной способности		Характеристика
Показатели пропускной способности виадука	Объемы движения транспорта	Количество транспортных средств, проходящих через виадук за определенный период времени
	Скорость движения	Средняя скорость транспортных средств на виадуке
	Плотность транспортного потока	Количество транспортных средств, проходящих через единицу площади виадука за единицу времени
	Узкие места	Участки виадука, где движение транспорта затруднено из-за геометрических ограничений или других факторов
Факторы, влияющие на показатели пропускной способности	Различные типы транспортных средств (легковые автомобили, грузовые автомобили, автобусы) имеют разные габариты и характеристики движения	
	Направление движения транспортных средств на виадуке	
	Планирование маршрутов вблизи виадука, по которым транспортные средства подъезжают и отъезжают от него	

Регулярная оценка и оптимизация пропускной способности виадука имеют решающее значение для обеспечения безопасности и эффективности движения транспорта, а также для предотвращения пробок и задержек.

Оценка технического состояния виадука по критерию «грузоподъемность» также достаточна важна, так как грузоподъемность виадука является критически важным параметром, определяющим максимальный вес, который конструкция может выдержать без ущерба для своей безопасности и устойчивости. Оценка грузоподъемности проводится для обеспечения безопасной эксплуатации виадука и предотвращения возможных аварий.

Оценка грузоподъемности включает в себя анализ следующих аспектов:

- проверку соответствия конструкции виадука действующим стандартам и нормам безопасности, которые устанавливают требования к грузоподъемности мостовых сооружений;

- определение расчетной грузоподъемности виадука на основе анализа его структурных элементов, материалов и геометрических характеристик;

–оценку фактической грузоподъемности виадука на основе натурных испытаний или мониторинга его поведения под воздействием реальных нагрузок.

Обычно расчетная грузоподъемность представляет собой теоретический предел веса, который конструкция может выдержать. Фактическая грузоподъемность может отличаться от расчетной грузоподъемности из-за различных факторов, таких как степень износа конструкции или наличие дефектов.

В целом, грузоподъемность сооружения определяется несущей способностью его основных несущих конструкций (элементов конструкций). Расчет несущей способности элементов мостового сооружения следовало бы производить с учетом их фактических геометрических размеров, прочностных и деформативных свойств материалов (бетона, арматуры, стали, древесины и других), влияния имеющихся дефектов и повреждений [7].

Для оценки грузоподъемности виадука проводят расчеты по первой группе предельных состояний в соответствии с СП 35.13330.2011 и ГОСТ Р 54257-2010, предусматривающими систему коэффициентов надежности по материалам, нагрузкам, условию работы и ответственности сооружения. Инженеры учитывают не только статические нагрузки (например, вес автомобилей или поездов), но и динамические нагрузки (например, воздействие ветра или колебания от движения транспорта).

Грузоподъемность мостового сооружения устанавливается для двух режимов эксплуатации: контролируемого и неконтролируемого. Контролируемый режим предполагает специальный режим пропуска нестандартных транспортных средств. Неконтролируемый режим предполагает условия нормальной эксплуатации, и для него определяющим параметрами показателя по грузоподъемности являются минимальные фактические классы, выраженные в классах нормативной нагрузки от автомобилей по документу ГОСТ Р 52748-2007 и эталонной нагрузки для схемы трехосных транспортных средств, для контролируемого режима эксплуатации – минимальный фактический класс, выраженный классом нормативной нагрузки по ГОСТ Р 52748-2007. Расчеты грузоподъемности выполняют по ГОСТ Р 54257-2010, СП 35.13330.2011

Оценка технического состояния виадука по критерию «долговечность». Под долговечностью моста или его основных элементов (фундаменты, опоры, пролетные строения, опорные части, мостовое полотно) обычно понимают период времени, в течение которого сооружение (элемент) может эксплуатироваться в проектном режиме при нормальном содержании без реконструкции или капитального ремонта.

Оценка долговечности виадука включает в себя оценку способности конструкции виадука сохранять свои функциональные и структурные характеристики на протяжении определенного периода времени. Она охватывает не только текущее состояние, но и способность конструкции противостоять износу, коррозии, усталости материалов и другим воздействиям на протяжении всего срока эксплуатации.

Для оценки долговечности виадука проводятся различные виды инспекций, тестирований материалов, анализа статистических данных об износе и других методов, позволяющих предсказать, насколько долго конструкция будет способна исправно функционировать без необходимости крупного ремонта или замены.

Полное время эксплуатации отсчитывают от начала эксплуатации до его перехода в предельное состояние, соответствующее окончательному прекращению эксплуатации. Проектный срок службы виадуков нормативно составляет 40 лет. Но при невыполнении своевременных профилактических работ и ремонтов в период эксплуатации срок службы моста значительно сокращается.

Число возможных видов межремонтного ресурса зависит от чередования ремонтов и капитальных ремонтов. Как правило, за период эксплуатации на мостовом сооружении капитальный ремонт выполняют один раз приблизительно в середине срока службы, но ремонты могут выполняться неоднократно [8].

Согласно «Методике расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов» [9] выведены минимальные сроки службы и сроки до первого ремонта для пролетных строений, изготовленных из различных материалов (таблица 2).

Таблица 2 – Минимальные сроки службы и сроки до первого ремонта конструктивных элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах [9]

Конструкция		Срок службы, годы	Срок до первого ремонта, годы
1	2	3	4
Пролетное строение	Железобетонные: - ребристые сборные с обычной арматурой и плитные сборные сплошного сечения	50	30
	- остальные длиной до 60 м	70	40
	- остальные длиной 60 м и более	100	50
	Стальные и сталежелезобетонные:		
	- длиной до 60 м	70	40
	- длиной 60 м и более	100	50
	Композитные	50	50
Опоры	Массивные	в 1,5 раза больше, чем ПС	
	Столбовые	как для ПС	
Фундаменты		в 1,5 раза больше, чем ПС	
Опорные части	Эластомерные	40	20
	Стальные	как для ПС	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Мостовое полотно	Покрытие	10	10
	Сопряжение с насыпью	20	10
	Система водоотвода	20	10
	Ограждения	20	10
	Гидроизоляция	10	10
	Тротуары	40	20
	Перила (композитные)	40 (50)	20 (50)
	Настил	5	3
	Другие элементы	10	5
	Деформационные швы	25	10

Анализ вышесказанного свидетельствует, что оценка технического состояния виадуков является трудоемкой работой и играет ключевую роль в обеспечении их безопасности, долговечности и функциональности. Регулярные инспекции и оценки могут помочь выявить потенциальные проблемы, дефекты или повреждения на ранних стадиях, что позволит своевременно принять меры по предотвращению аварий и увеличению срока службы сооружений. Благодаря систематическим инспекциям и оценкам технического состояния можно обеспечить безопасность дорожного движения и сохранность инфраструктуры, что является одним из приоритетов в области гражданского строительства.

Список использованной литературы

1. Ковалькова, А. Обрушение моста на ул. Терешковой: бывший главный инженер ГУДХОО за проявленную халатность заплатит штраф в 200 тысяч рублей [Электронный ресурс] / А. Ковалькова // Новостной портал Урал56.Ру – Режим доступа: <https://www.ural56.ru/news/684402/> (дата обращения: 25.05.2024).
2. Айвазян, А. За обрушение моста ответит инженер [Электронный ресурс] / А. Айвазян // Коммерсантъ. – 2021. – №153 (от 27.08.2021). – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4958451> (дата обращения: 18.05.2024).
3. Колокольцева, Е. О ЧП в Оренбурге молчат сайты правительства региона, МЧС и мэрии [Электронный ресурс] / Е. Колокольцева // Сеть новостных сайтов orenday.ru – Режим доступа: <https://orenday.ru/novosti/novostnaya-lenta/021219231618> (дата обращения: 25.05.2024).
4. Чернова, Е. Перегруз, ремонт или халатность. Из-за чего обрушился мост в Оренбурге? [Электронный ресурс] / Е. Чернова // oren.aif.ru: [сайт]. – Режим доступа: https://oren.aif.ru/incidents/chp/peregruz_remont_ili_halatnost_izza_chego_obrushilsya_most_v_orenburge (дата обращения: 18.05.2024).
5. Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1982. – 75 с.

6. ОДМ 218.2.020-2012 Отраслевой дорожный методический документ «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200092512> (дата обращения: 20.05.2024).

7. ОДМ 218.4.025–2016 Отраслевой дорожный методический документ «Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Общая часть». Введен взамен ОДН 218.0.032–2003. Издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 09.11.2016 № 2322-р – Москва. – 2019. – 5 с.

8. ОДМ 218.6.030-2017. Отраслевой дорожный методический документ «Рекомендации по установлению гарантийных сроков и сроков службы конструктивных элементов мостовых сооружений» издан на основании Распоряжения Росавтодора от 06.02.2018 № 366-р.

9. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов. Утверждена 18.04.2001 распоряжением № 79-р Министерства транспорта РФ. – Москва: ГП «Информавтодор». – 2002. – 140 с.

THE MAIN CRITERIA FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF VIADUCTS

Ekaterina V. Poyarkova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Kamilla V. Khabibullina, undergraduate student, 2nd year

Orenburg State University

Annotation. *The article discusses the main criteria for assessing the technical condition of viaducts, which are the most important engineering structures providing transport communications and traffic safety. An assessment of the technical condition of viaducts is necessary to ensure their reliable and safe operation, as well as to plan timely repair and reconstruction works. The paper presents various criteria for assessing the technical condition of viaducts, including throughput, load capacity, and structural condition. Each criterion is described, and the importance of regular monitoring and evaluation of the current technical condition of viaducts is discussed.*

Keywords: *viaduct, load capacity, technical condition, throughput, durability.*

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИЗОННОГО КАБЕЛЬНОГО СЕНСОРА ВЛАЖНОСТИ

Елагина Оксана Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Ямомото Ён Сын, бакалавр, 4 курс

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, г. Москва

Аннотация. В статье показана возможность использования мультizonного кабельного сенсора влажности для разработки системы постоянного мониторинга состояния цементного камня обсадных колонн нефтегазовых скважин. Проведена оценка влияния влажности оболочки мультizonного кабельного сенсора на величину его электроёмкости в условиях высыхания на воздухе и в процессе высыхания тампонажной смеси в разных условиях. На основе выполненных исследований показана возможность применения мультizonного сенсора влажности для контроля состояния цементного камня обсадных колонн скважин в условиях водопроявления.

Ключевые слова: цементирование скважин; обсадные колонны; тампонажная смесь; влажность; электроёмкость; сенсор.

Код и рубрика: 52.00.00 Горное дело.

Нефтегазовый комплекс играет важную роль в экономике Российской Федерации. Поэтому на сегодняшний день довольно актуальной темой является строительство нефтяных и газовых скважин. Контроль состояния цементирования обсадных колонн нефтегазовых скважин в процессе эксплуатации является важным элементом обеспечения их долговечности. Однако, в настоящее время отсутствуют современные технические решения, позволяющие проводить мониторинг состояния цементного камня без остановки добычи [1-3].

Исследования, выполненные в работе, направлены на создание системы постоянного мониторинга состояния цементного камня обсадных колонн за счет использования кабельных сенсоров влажности, размещенных в наиболее проблемных зонах скважины при проведении работ по её цементированию.

Основным преимуществом мультizonного кабельного датчика является возможность распределенного контроля цементного камня протяженных участков скважины по глубине, а не точечных замеров, как это предлагается в уже имеющихся технических решениях [4].

Цементный камень, заполняющий затрубное пространство между обсадной колонной и стенкой скважины, должен сохранять в процессе эксплуатации водонепроницаемость и прочность. Потеря этих характеристик приводит к просачиванию пластовых вод к стенке обсадной колонны и создает опасность разрушения скважины.

Принцип работы кабельного сенсора заключается в возникновении разницы потенциалов между сердцевиной и оболочкой датчика. Сердечник сенсора изготавливается из медной проволоки, промежуточный слой выполнен из специализированного полимера, наружная оболочка выполнена из медной оплетки, которая при необходимости может быть заменена на стальную. Конструкция сенсора показана на рисунке 1.

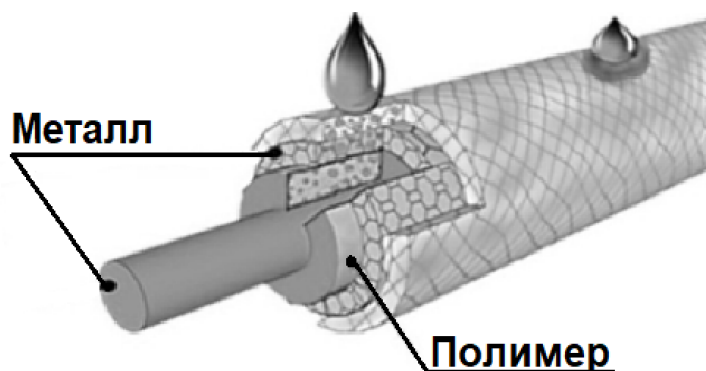


Рисунок 1 – Принципиальная конструкция сенсора влажности [5, 6]

Кабельный сенсор может быть размещен в заколонном пространстве скважины от устья скважины до глубины залегания проблемных пластов с наличием водопритоков. При необходимости контроля нескольких пластов в заколонном пространстве может размещаться пакет датчиков разной длины, каждый из которых будет осуществлять контроль отдельного участка скважины. Основной контролируемой характеристикой сенсора является его электроемкость. Целью работы являлось исследование влияния влажности цементного камня на электросопротивления кабельного сенсора.

Методика исследования

Для исследования применялись кабельные сенсоры производства ООО «ИНЖИМАТИК» длиной (13 ± 1) мм. Подключение датчиков к контрольному прибору осуществлялось через соединительные провода. Запись электроемкости датчика выполнялась с помощью измерителя ИММИТАНСА Е7-20.

Исследование проводилось в 3 этапа: контроль электроемкости датчика при погружении в воду и высыхании на воздухе, размещение датчика в образце из тампонажной смеси ПЦТ I-50 ГОСТ 1581-96 при заливке с высыханием на воздухе и в условиях 100% влажности в течение 7-10 суток. Размер образцов цементного камня составлял 50x50x50 мм.

Контроль влажности датчика при высыхании на воздухе и в составе цементного камня выполнялся весовым методом на электронных аналитических весах BM153 «Веста».

Обсуждение результатов исследования

На первом этапе испытаний были выполнены исследования по оценке реакции сенсоров влаги на изменения влажности их оболочки от 100%

намокания до практически полного высыхания. Результаты испытаний сенсоров влаги при разном уровне влажности показали наличие четкой зависимости изменения значений их электроёмкости от данного показателя. На рисунке 2 приведены данные, полученные при испытании 3-х сенсоров и усредненная зависимость изменения электроёмкости.

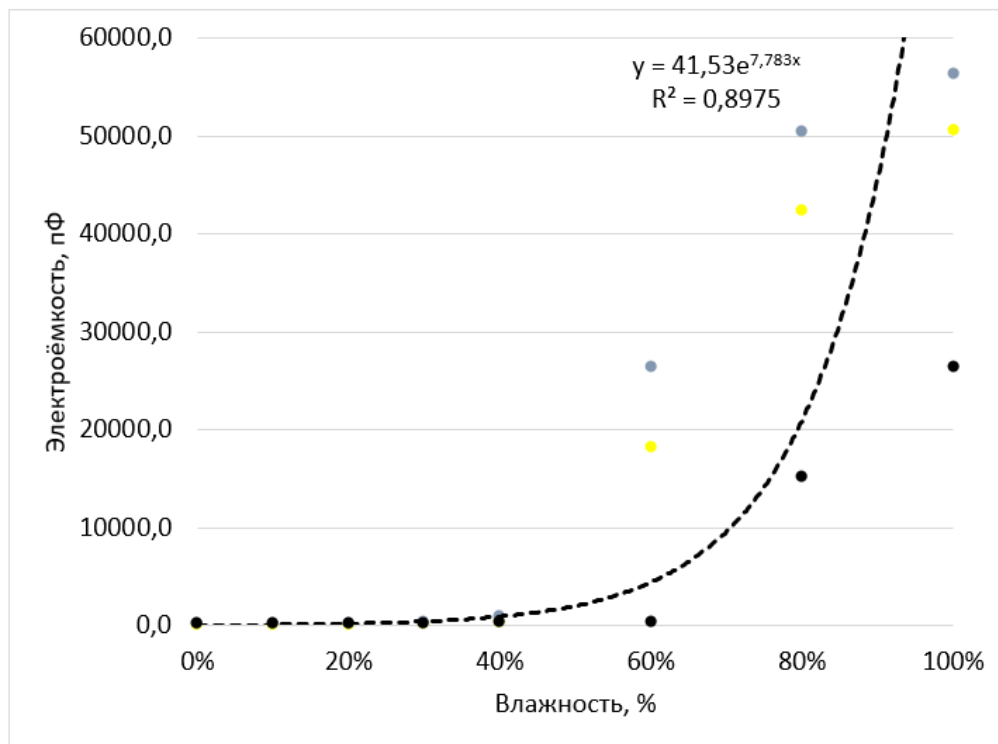


Рисунок 2 – График изменения средней электроёмкости сенсоров влаги в зависимости от степени влажности

Построение линии тренда позволяет описать изменение средних показаний емкости датчиков в зависимости от влажности экспоненциальной зависимостью с коэффициентом аппроксимации 0,89.

Полученные данные показывают, что при изменении влажности датчика в диапазоне от 100% до 70% показания электроёмкости изменяются в среднем до 6 раз. В диапазоне влажности менее 60% изменение электросопротивления сенсора снижается от 10000 пФ до 100 пФ.

Результаты изменения электроёмкости сенсора в составе цементного камня при высыхании на воздухе представлены на рисунке 3.

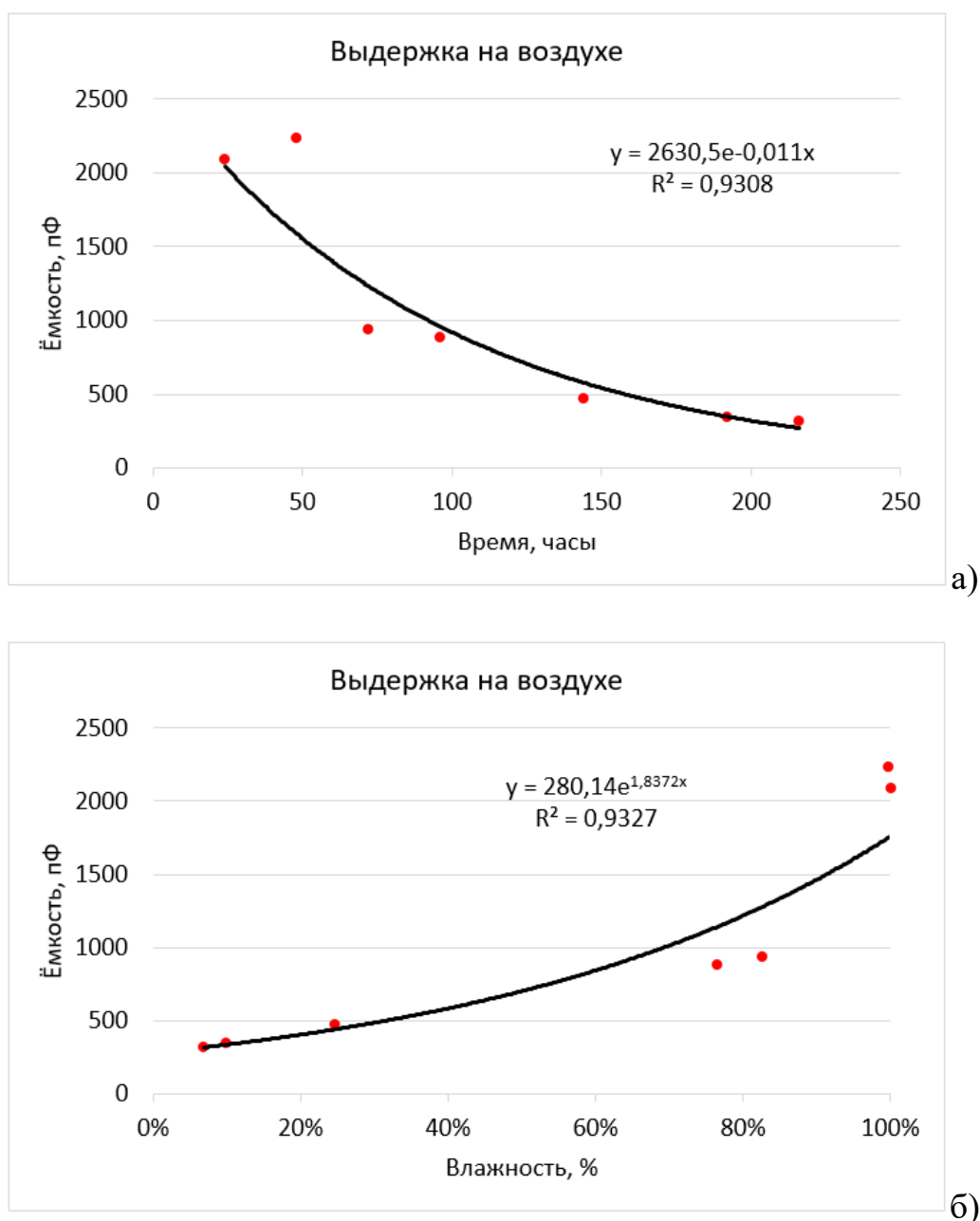


Рисунок 3 – Графики изменения электроёмкости сенсора при высыхании цементного камня на воздухе в зависимости: а) от времени, б) от влажности

Полученные данные показывают сохранение экспоненциальной зависимости при снижении показаний электроёмкости сенсора влаги по мере высыхания цементного камня. Следует отметить, что диапазон изменения электросопротивления сенсора в цементном камне существенно снизился и находится в диапазоне от 300 пФ до 2250 пФ.

Результаты изменения электроёмкости датчика при выдержке образцов из тампонажной смеси во влажной среде представлены на рисунке 4.

Анализ полученных результатов показывает, что сохранение при высыхании цементного камня 100% влажности окружающей среды не повлиял на ход изменения значений его электросопротивления с сохранением экспоненциальной зависимости по мере увеличения времени выдержки.

Полученные значения электросопротивления сенсора характеризуют процесс связывания воды при наборе прочности цементного камня и отражают снижение его объемного влагосодержания не зависимо от наличия 100% влажности в окружающей среде. Следует отметить, что диапазон контролируемого параметра сенсора на 3 этапе претерпел изменение и стал шире от 3300 пФ до 29000 пФ.

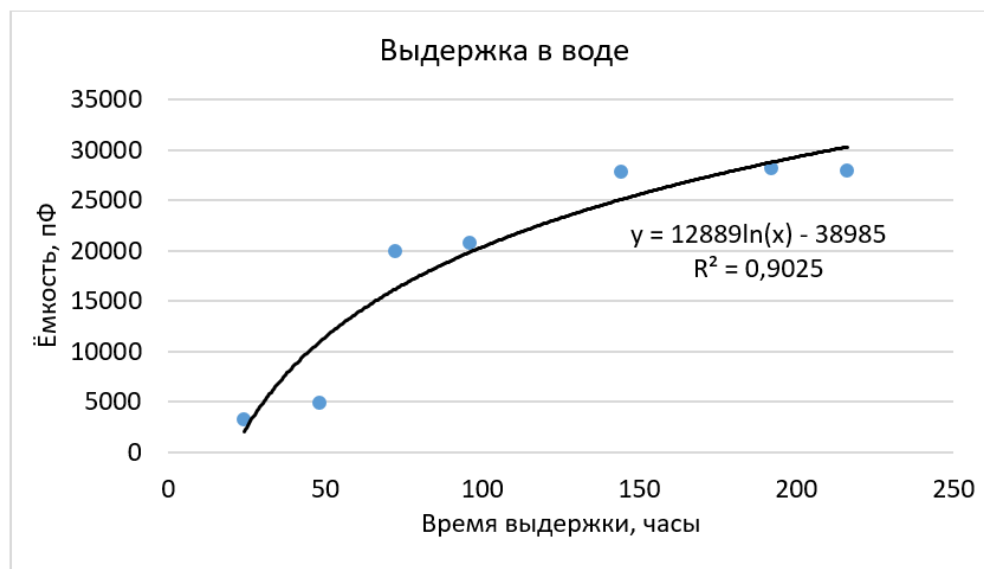


Рисунок 4 – График изменения электроёмкости датчика влаги в зависимости от времени выдержки цементного образца в воде

Выводы:

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) Размещение сенсоров влажности в за колонном пространстве скважины позволит фиксировать изменение влажности цементного камня за счёт изменений показаний электроёмкости,
- 2) Влияние влажности на показания электросопротивления сенсора носит экспоненциальный характер, хотя диапазон значений электросопротивления существенно меняется.

Список использованной литературы

- 1) Сазонов, А. В., Гныря, А. И. Технология процесса цементирования при устройстве нефтяных и газовых скважин / Сазонов, А. В., Гныря, А. И. // . — Томск: Избранные доклады 65-й юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных, 2019. — С. 1119.
- 2) Neftegaz [Электронный ресурс]: Цементирование обсадной колонны скважины и тампонаж – Режим доступа: [https://neftegaz.ru/tech-library/burovye-ustanovki-i-ikh-uzly/141551-tsementirovanie./](https://neftegaz.ru/tech-library/burovye-ustanovki-i-ikh-uzly/141551-tsementirovanie/) (дата обращения: 20.05.2024).
- 3) Мильштейн, В. М. Цементирование буровых скважин: учебное пособие / В. М. Мильштейн. – Краснодар: ООО «Просвещение-ЮГ», 2003. – 375 с.

4) Studfile [Электронный ресурс]: Контроль качества цементированной колонны термометром, радиоактивным и акустическими методами – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2183056/page:43/> (дата обращения: 20.05.2024).

5) Сакуненко, Ю. И. Разработка 3D-сенсоров раннего обнаружения утечек нефтепродуктов в технологическом оборудовании и окружающей среде. / Ю. И. Сакуненко // Экологические системы и приборы. – 2021. – №9. – С. 3-9.

6) Сакуненко, Ю. И. Мгновенная реакция на нефть как суперспособность / Ю. И. Сакуненко // Нефтегазовая вертикаль. – 2023. – С. 114-118.

CASING CEMENT CONDITION MONITORING USING A MULTI-ZONE CABLE MOISTURE SENSOR

E

Elagina Oxana Yurievna, Grand PhD in Engineering sciences, professor
Yamomoto Yon Syn, bachelor, 4th grade

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU), Moscow

Abstract. *The article reveals the possibility of using a multi-zone cable moisture sensor for the development of a system of continuous monitoring of the condition of cement casing of oil and gas wells. The influence of the multi-zone cable sensor sheath humidity on the value of its electrical capacity in air-drying conditions and in the process of plugging mixture drying in different conditions has been evaluated. Based on the performed researches the possibility of application of the multi-zonal moisture sensor for controlling the condition of cement stone of well casing in conditions of water penetration is shown.*

Keywords: *well cementing, casing strings, cement slurry, humidity, capacitance, sensor.*

СЕКЦИЯ 5



«КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ В ЦИФРОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТОДОМ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДИАГРАММ

**Белова Наталья Александровна, преподаватель первой категории,
Колесников Сергей Николаевич, обучающийся факультета среднего
профессионального образования, 3 курс**

*Орский гуманитарно-технологический институт
филиал Оренбургского государственного университета, г. Орск*

Аннотация. Сформировано техническое задание на разработку программного приложения для автоматизированного расчета электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм. В процессе разработки была создана база данных, разработано программное приложение. Программная реализация приложения выполнена в виде настольного приложения Windows Forms C# в среде Visual Studio 2022 с использованием системы управления базами данных Microsoft Access. В программном приложении реализована функция автоматизированного расчета электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм по заданным вариантам. Статья содержит 5 страниц, в том числе 3 рисунка, 5 источников.

Ключевые слова: метод упорядоченных диаграмм, программный код, база данных.

Код и рубрика: 50.00.00 Автоматика. Вычислительная техника

Метод упорядоченных диаграмм (метод коэффициента максимума) является наиболее точным расчётом электрических нагрузок при проектировании системы цехового электроснабжения. Применяется для определения расчётной нагрузки на всех ступенях электроснабжения, но при наличии сведений о каждом электроприёмнике. Метод основан на исследованиях Г.М. Каялова в области упорядоченных диаграмм индивидуальных показателей режима работы электроприёмника и положен в основу руководящих указаний по определению электрических нагрузок промышленных предприятий. [4]

Методика расчёта достаточна объёмная, результаты расчёта сводятся в таблицу «Сводная ведомость расчёта электрических нагрузок по цеху». Проверка практических работ по проектированию системы цехового электроснабжения занимает большое количество времени.

Актуальность создания программы для автоматизированного расчёта электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм заключается в том, что программа позволит проводить расчёты электрических нагрузок быстро и точно, что существенно повысит эффективность работы преподавателя при проверке практических работ студентов.

Целью разработки приложения является создание такой программы, которая бы облегчила и ускорила процесс проверки результатов выполнения практической работы по дисциплине «Электроснабжение» под название «Расчёт электрических нагрузок методом коэффициента максимума»

Перед началом работы были поставлены задачи для достижения целей:

- закрепить навыки расчёта электрической нагрузки методом коэффициента максимума;
- подобрать необходимые средства разработки;
- составить код для алгоритма расчёта электрической нагрузки.

В качестве рабочей среды разработки была выбрана MS Visual Studio 2022.

Для написания программного кода использовался язык программирования C#, так как он является достаточно мощным языком, который отлично подходит для различных расчётов. [3,5]

Так как разрабатываемое приложение является оконным, для разработки была выбрана платформа .NET FRAMEWORK. Она включает в себя обширную стандартную библиотеку классов, которая предоставляет разработчикам доступ к множеству готовых компонентов и функций для создания приложений. [1]

Также практическая работа включает в себя достаточно большое количество вариантов, было принято решение о использовании в приложении баз данных. Для разработки программы была выбрана СУБД MS Access. [2]

Для начала работы необходимо запустить программу. Далее открывается стартовое окно, на котором необходимо выбрать нужный вариант расчёта.

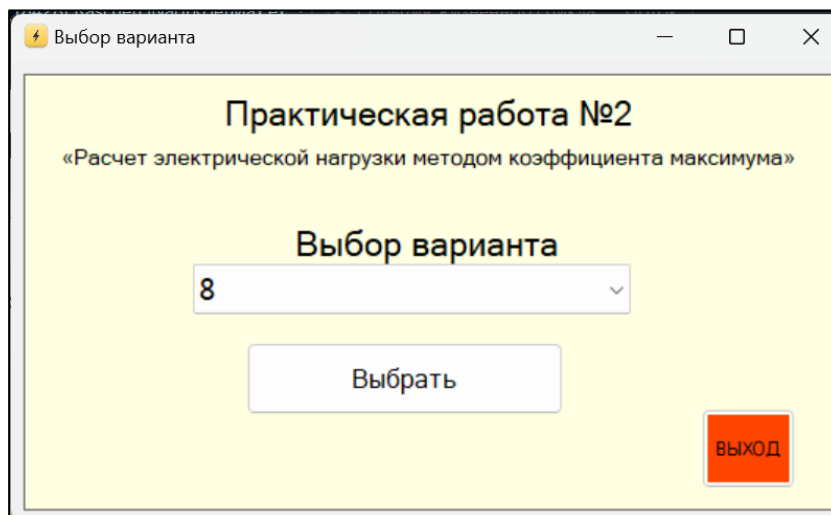


Рисунок 1 – Стартовое окно

Для примера, выберем восьмой вариант расчёта. Далее необходимо нажать на кнопку «Выбрать». Откроется окно с результатами расчётов и данными из варианта. На этом окне расположены две таблицы «Данные варианта» и «Результаты вычислений», в которых хранятся необходимые данные. Кроме того, в окне расположены кнопка «Выбрать другой вариант» и меню с кнопками «Выход», «Справка».

Кнопка «Выход» говорит сама за себя, при нажатии на эту кнопку можно закрыть приложение. Также, если есть необходимость, можно нажать на кнопку «Выбрать другой вариант» и запустить расчёт с другими данными.

Практическая работа №2
«Расчет электрической нагрузки методом коэффициента максимума»

Вариант 8

Выбрать другой вариант

Данные варианта:

Название ЭП	Количество	Мощность (кВт)	K _и	cos(φ)
Электрический кран	2	13	0,2	0,5
Токарный станок	16	10	0,14	0,6
Вентиляторы	10	3	0,7	0,8
Насосы	5	2,2	0,4	0,7
Освещение	1	3,5	0,6	0,95

Результат вычислений:

Название ЭП	P _и	n	P _и S	K _и	cos(φ)	tg(φ)	m	P _{ам}	Q _{ам}	S _{ам}	пэ	K _и	k _и	P _и	Q _и	S _и	I _и
Электрический кран	13	2	26	0,2	0,5	1,73	5,2	9									
Токарный станок	10	16	160	0,14	0,6	1,33	22,4	29,79									
Вентиляторы	3	10	30	0,7	0,8	0,75	21	15,75									
Насосы	2,2	5	11	0,4	0,7	1,02	4,4	4,49									
Освещение	3,5	1	3,5	0,6	0,95	0,33	2,1	0,69									
Итого ТП	31,7	34	230,5	0,26	0,67	1,08	>3	55,1	59,72	82,41	34	1	1	481,02	316,51	588,71	129,31

Рисунок 2 – Окно с результатами расчёта

Кнопка «Справка» открывает методические указания по практической работе.

Практическая работа №2
«Расчет электрической нагрузки методом коэффициента максимума»

Учебная цель: закрепить навыки расчета электрической нагрузки методом коэффициента максимума.

Перечень оборудования, аппаратуры, материалов и их характеристики: методические указания по выполнению практической работы; индивидуальное задание; калькулятор; карандаш; шариковая ручка; линейка.

Порядок выполнения работы

По индивидуальной карточке задания выполнить расчет электрической нагрузки методом упорядоченных диаграмм. Последовательность выполнения расчета:

- 1 По исходным данным определяется суммарная мощность и суммарное количество электроприемников:
$$\Sigma P_{ам} = \Sigma (P_{ам} \cdot n \cdot i);$$
- 2 Определяется показатель силовой сборки:
$$m = \frac{P_{ам} \max}{P_{ам} \min} \quad (1)$$
- 3 По заданному значению коэффициента мощности (cosφ) определяется коэффициент реактивной мощности (tgφ):
$$tg \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \quad (2)$$

Рисунок 3 – Страница «Справка»

В результате разработки приложения для расчета электрической нагрузки методом коэффициента максимума было создано приложение, которое полностью выполняет поставленные перед ней задачи.

Список использованной литературы

1. Зараменских, Е. П. Информационные системы: управление жизненным циклом : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. П. Зараменских. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 497 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-16179-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/542807> (дата обращения: 21.05.2024).
2. Илюшечкин, В. М. Основы использования и проектирования баз данных : учебник для вузов / В. М. Илюшечкин. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 213 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03617-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/535450> (дата обращения: 21.05.2024).
3. Казанский, А. А. Программирование на Visual C# : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. А. Казанский. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 192 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-14130-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/538155> (дата обращения: 21.05.2024).
4. Основы электроснабжения: учебное пособие для среднего профессионального образования/ А. А. Сивков, А. С. Сайгаш, Д. Ю. Герасимов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 173 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-01344-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 63 — URL: <https://www.urait.ru/bcode/537960/p.63> (дата обращения: 28.04.2024).
5. Подбельский, В. В. Программирование. Базовый курс C# : учебник для вузов / В. В. Подбельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 369 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10616-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/536775> (дата обращения: 21.05.2024).

AUTOMATED CALCULATION OF ELECTRICAL LOADS BY THE METHOD OF ORDERED DIAGRAMMS

Natalia A. Belova, teacher of the first category
**Sergey N. Kolesnikov, student of the Faculty of Secondary Vocational
Education, 3rd year**

*Orsk Institute of Humanities and Technology
branch of Orenburg State University, Orsk*

Abstract. *A technical specification for the development of a software application for the automated calculation of electrical loads using the method of ordered diagrams*

has been generated. During the development process, a database was created and a software application was developed. The software implementation of the application is made in the form of a Windows Forms C# desktop application in the Visual Studio 2022 environment using the Microsoft Access database management system. The software application implements the function of automated calculation of electrical loads using the method of ordered diagrams for given options. The article contains 5 pages, including 3 figures, 5 sources.

Keywords: *method of ordered diagrams, program code, database.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСОЛЬНОГО ПОВОРОТНОГО КРАНА

Фролова Олеся Александровна, канд. техн. наук, доцент

Михайлюк Александр Сергеевич, бакалавриат, 4 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Краны эксплуатируются на предприятиях для обслуживания отдельных габаритов на машиностроительных заводах, таких как двигатели, коробки передач, детали на металлообрабатывающие станки, а также для погрузки, разгрузки и транспортировки в зону работы и передачи грузов из одного пролета здания в другое. Моделирование в КОМПАС широко используется в различных отраслях, включая машиностроение, строительство и архитектуру, что позволяет конструкторам создавать и анализировать виртуальные модели перед их физическим изготовлением.

Ключевые слова: грузоподъемные механизмы, консольный кран, поворотный кран, моделирование.

Код и рубрика: 621.86 Подъемно-транспортное оборудование в целом.

Консольный поворотный кран – кран стрелового типа, грузозахватный орган которого подвешен к жестко закрепленной консоли или к тележке, перемещающейся по консоли (стреле) [1].

Кран состоит из колонны и стрелы с грузозахватным блоком и перемещает груз вдоль радиуса стрелы, которая поворачивается по оси несущей опоры.

Колонна служит опорой для стрелы консольного крана. В зависимости от конфигурации кранового оборудования она устанавливается на специальный фундамент или существующий пол при помощи химических анкеров. Консоль (стрела) – это горизонтальная двутавровая балка, которая крепится на колонне, также она может быть состоять из нескольких плеч и может обслуживать площади сектора кольца.

Достоинства консольных поворотных кранов заключается в их удобстве управления и контроле поднимаемого груза. Он результативно осуществляет свою работу и поднимает грузы различного масштаба.

Конструкция, размеры и рабочие характеристики консольно-поворотных кранов должны соответствовать требованиям ГОСТ [2-4].

В настоящее время широко используются различные САД-системы, позволяющие разрабатывать детальные и точные модели изделий для визуализации, анализа и документирования.

КОМПАС-3D – это российская система автоматизированного проектирования (САПР), которая используется для создания трехмерных моделей деталей, сборочных единиц и других объектов [5].

Создание моделей деталей и конструкций осуществляется с целью:

1 *Визуализации и созданию геометрии модели.* Модель детали позволяет получить наглядное представление об её форме, размерах и конструктивных

особенностях, что облегчает визуальный анализ и проверку правильности геометрии конструкции.

2 *Проектирования и разработки.* Модель детали служит основой для проектирования и разработки сборочных единиц и узлов, поскольку она содержит всю необходимую геометрическую информацию.

3 *Документирования.* Использование модели детали для создания чертежей и других конструкторских документов, обеспечивая полную и точную информацию об изделии.

4 *Анализа и прочности деформаций.* Использование модели детали для проведения инженерного анализа прочности, деформаций и других характеристик, что позволяет оптимизировать конструкцию и избежать возможных проблем.

5 *Управления производством.* Использование модели детали как основы для создания управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), что обеспечивает точное и автоматизированное изготовление деталей.

6 *Сохранения и передачи информации.* Использование модели детали цифрового хранилища геометрической информации изделия, что позволяет легко сохранять, передавать и использовать её для различных целей.

7 *Упрощения моделирования сборок.* Модели деталей являются основными строительными блоками для создания сборочных моделей, облегчая процесс проектирования и сборки сложных изделий.

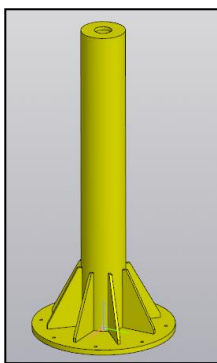
8 *Параметрического моделирования.* Модели деталей могут быть параметризованными, что позволяет быстро и легко вносить изменения в конструкцию, поддерживая её целостность и ассоциативность между компонентами.

9 *Стандартизации и повторного использования.* Модели деталей могут быть стандартизованы и повторно использованы в различных проектах, что экономит время проектирования и обеспечивает единообразие конструкторских решений.

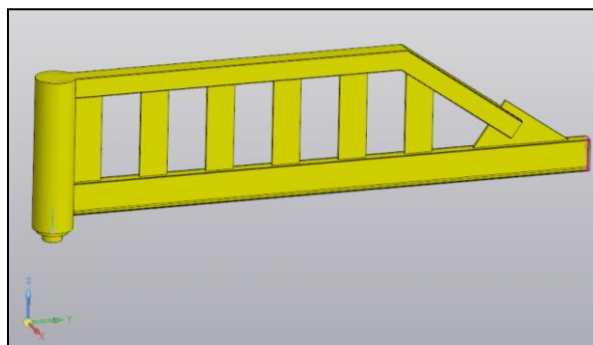
Для создания чертежей основных узлов подъемного механизма и модели консольного поворотного крана была использована компьютерная программа КОМПАС 3D [5].

Создание 3D модели консольного поворотного крана заключалось в построении отдельных элементов (сборочных единиц) (рисунок 1) и их сборки в единую конструкцию (рисунок 2).

Для моделирования колонны создавался компонент крана в виде цилиндра нужной высоты и диаметра, для моделирования стрелы – балка нужной длины и сечения, грузовой тележки – рама, колеса и крюк. Соединение колонны и стрелы проводилось в сборке с помощью шарнирного соединения (ось вращения), грузовой тележки со стрелой – с помощью линейного перемещения.



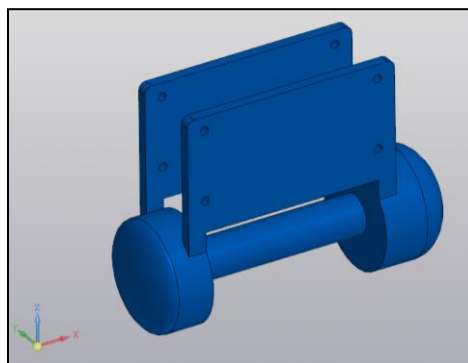
а) модель сборочной единицы –
Колонна



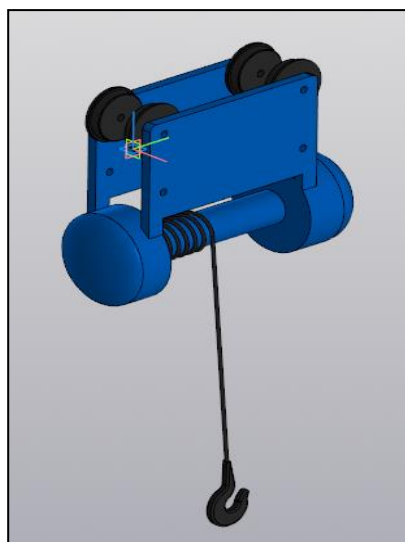
б) модель сборочной единицы –
Стрела



в) модель сборочной единицы
– Крюк



г) модель сборочной единицы
– Вал и крепление



д) модель сборочной единицы
– Лебедка

Рисунок 1 – Модели сборочных единиц



Рисунок 2 – 3D модель консольного поворотного крана

Проведенное моделирование консольного поворотного крана в КОМПАС-3D позволило создать точную и подробную трехмерную модель, проанализировать ее характеристики для достижения желаемых эксплуатационных параметров.

Оптимизация размеров консоли позволила снизить вес конструкции и улучшить ее жесткость, обеспечив соответствие требованиям прочности и устойчивости.

Результаты моделирования были использованы для создания рабочей документации, включающей сборочный чертеж, трехмерные чертежи и спецификации.

Таким образом, моделирование в КОМПАС является мощным инструментом, который позволяет инженерам и конструкторам создавать сложные и высококачественные изделия, оптимизировать их конструкцию, эффективно управлять процессом разработки.

Список использованной литературы

1 Официальный сайт компании крановый завод «ЕВРОКРАН» - специализированное предприятие по производству сертифицированного грузоподъемного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kranbalki.ru> (дата обращения: 21.05.2024).

2 ГОСТ 19811-90 Краны консольные электрические стационарные. – Введен в действ. 01.01.1991. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 51 с.

3 ГОСТ 28609-90 Краны грузоподъемные. Основные положения расчета. – Введен в действ. 01.01.1992. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

4 ГОСТ 33166.1-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Общие положения. – Введен в действ. 01.01.2016. – М. : Изд-во стандартов,

1989. – 4 с.

5 Официальный сайт компании САПР КОМПАС. – Режим доступа <https://kompas.ru/> (дата обращения: 21.05.2024).

SIMULATION OF A CANTILEVER CRANE

Olesya A. Frolova, candidate of technical sciences, Associate Professor
Alexandr S. Mihailuk, bakalavr, 4 level

Orenburg State University

Annotation. *Cranes are operated at the enterprise to service individual dimensions in machine-building plants, such as engines, gearboxes, parts for metalworking machines, as well as for loading, unloading and transportation to the work area and transferring goods from one span of the building to another. COMPASS modeling is widely used in various industries, including mechanical engineering, construction and architecture, which allows designers to create and analyze virtual models before their physical manufacture.*

Keywords: *lifting mechanisms, cantilever crane, rotary crane, modeling.*

ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ РЕМОНТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Бикмухаметова Марина Александровна, кандидат экономических наук,
доцент

Мусабилов Эмиль Маратович, магистрант 2 курса

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация: Представлено клиент-серверное приложение в Windows (инструмент по минимизации рисков при проведении остановочного ремонта на предприятиях по переработке углеводородного сырья), позволяющее службе главного механика повысить качество подготовки остановочного ремонта на этапе планирования, путем контроля за движением и хранением ремонтной документации всего предприятия, анализировать и выявлять опасные факторы, влияющие на сроки проведения ремонта, качество его исполнения.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, риски, цифровой инструмент, база данных, информационная система, служба главного механика, остановочный ремонт.

Код и рубрика: 55.01.83, Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования.

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) являются основой обеспечения работоспособности технологического оборудования.

Основным инструментом, обеспечивающим управляемость процессов эксплуатации, является информационная система (ИС) ТОиР, принятая на предприятии. Как показали предыдущие исследования проведения капитальных ремонтов, системы ТОиР на нефтехимических предприятиях имеют существенные недостатки [1, 2, 3], результатом которых является неучет ряда факторов на этапе планирования, что приводит к увеличению ремонтного периода, негативно отражающегося на эффективности функционирования предприятия в целом. В этой связи разработка цифрового инструмента сопровождения ТОиР с учетом неопределенностей на этапе планирования современна и актуальна.

Один из основных рисков при проведении остановочных ремонтов, является невыполнение сроков ремонта. На основании экспертно-бальных оценок были выявлены основные риск-факторы, которые влияют на невыполнение сроков ремонта (рисунок 1) [4]. В качестве экспертов выступили специалисты, имеющие стаж работы по планированию и проведению остановочных ремонтов на предприятиях нефтехимии и нефтегазопереработки более 10 лет.

Результаты исследования показали, что на данный момент не существует четкого инструмента контроля за движением документации, относящейся к планированию остановочных ремонтов, что и послужило отправной точкой для разработки цифрового инструмента, позволяющего учитывать данные риск-факторы.

Наименование риска	Наименование риск-фактора	Степень влияния
Невыполнение сроков ремонта	недостаточный учет и контроль при формировании дефектных ведомостей	1
	несоблюдение графика ППР подрядчиком	5
	несвоевременное выполнение работ контрагентами	2
	обнаружение и устранение дефектов, выявленных в результате вскрытия сосудов и аппаратов	3
	несвоевременная поставка МТР и оборудования	4
	выявление заводских дефектов оборудования	7
	техническое оснащение и квалификация подрядчика	6

Рисунок 1 – Основные риск-факторы

Разработанный в настоящей работе цифровой инструмент представляет собой клиент-серверное приложение на основе операционной системы Windows. Приложение является .exe файлом, доступы и возможности для пользователей различаются в зависимости от функционала. В приложении предусмотрены функции хранения, загрузки, выгрузки, редактирования и передачи информации.

Работа может производиться, как при помощи локальной сети, преимущественно используемой на большинстве предприятий, так и удаленно.

Для формирования базы данных цифрового инструмента использовалась система управления реляционными базами данных – Microsoft SQL Server (MSSQL) [5].

Для разработки и программирования алгоритма программы использовался язык программирования – C# (C Sharp), который используется для разработки приложений на платформе Microsoft [6].

Общая структура работы программного комплекса представлена на рисунке 2.

В программном комплексе пользователям доступны три роли, а именно:

- ответственные по производствам (механики производств). Функционал: загрузка и корректировка документов, обосновывающих остановочный ремонт (графики, результаты экспертиз промышленной безопасности (ЭПБ), акты ревизии и отбраковки (РиО), программы и другие документы), формирование и загрузка и корректировка дефектных ведомостей (ДВ), разделительных ведомостей (РВ), комментарии при загрузке или корректировке документов;

- ответственные за организацию капитального ремонта (начальник отдела подготовки капитальных ремонтов, его заместители). Функционал: полный доступ к просмотру всех этапов. Проверка, принятие или отклонение ДВ, смет, договоров начальной максимальной цены (НМЦ), корректировка и оставление замечаний посредством оставления комментариев;

- ответственные за формирование смет, договора НМЦ. Функционал: Загрузка смет, разработанных на основе ДВ, формирование и загрузка НМЦ.

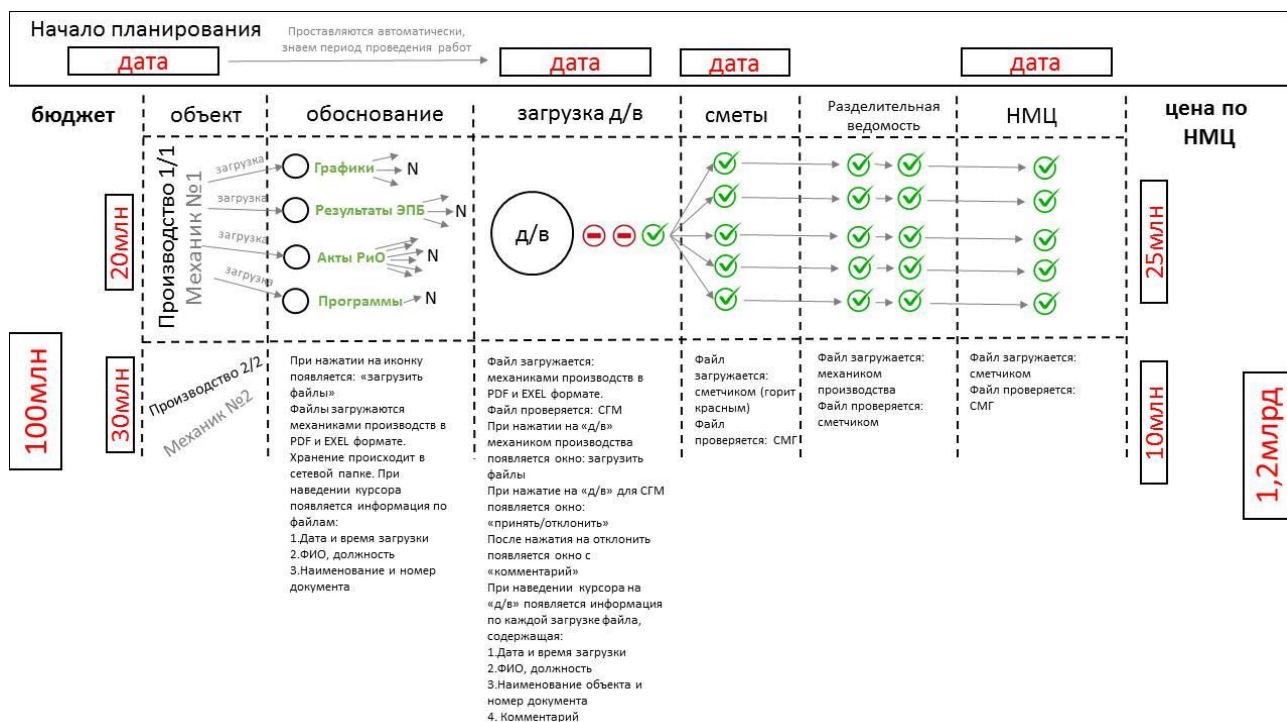


Рисунок 2 – Общий алгоритм работы программного комплекса

Возможности по просмотру и выгрузке документов доступны всем участникам ремонта.

На рисунке 3 представлено начальное окно интерфейса.

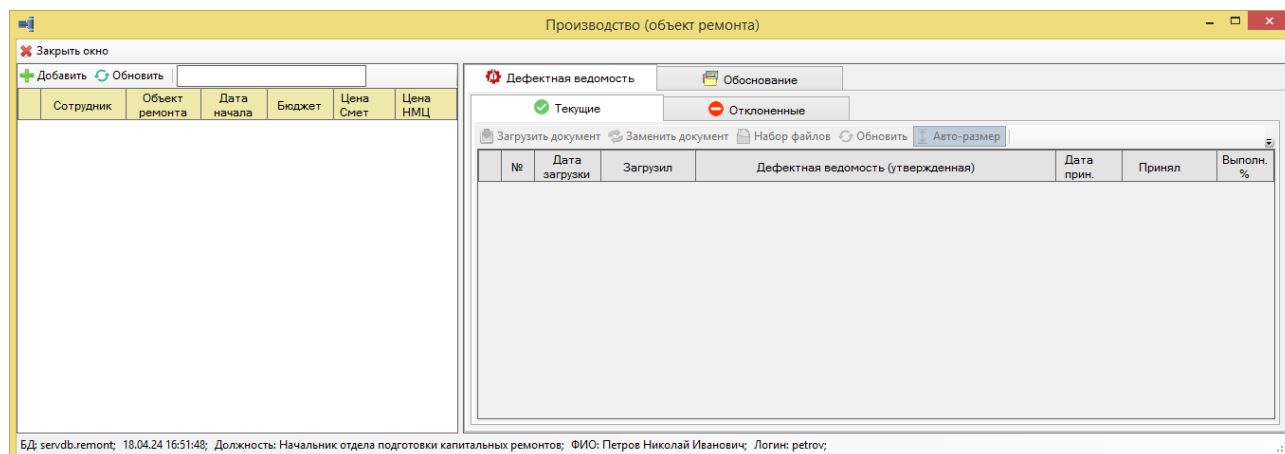


Рисунок 3 – Начальный интерфейс

Для начала работы механик производства загружает во вкладку «Обоснование» документы, на основании которых производится остановочный ремонт производства (рисунок 4). При этом активные и неактивные документы подсвечиваются по-разному (в данном случае – синим и голубым).

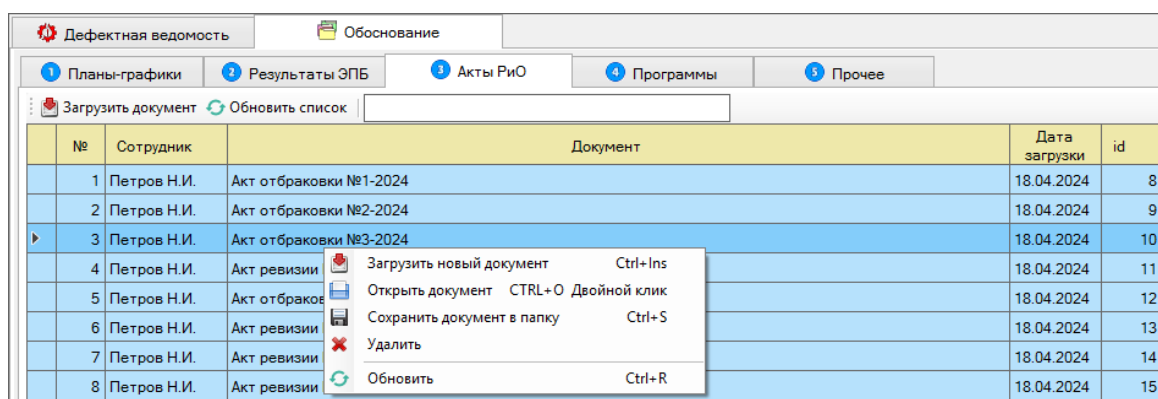


Рисунок 4 – Загрузка обосновывающих документов

На рисунке 5 представлены возможности работы с дефектными ведомостями механику производства.

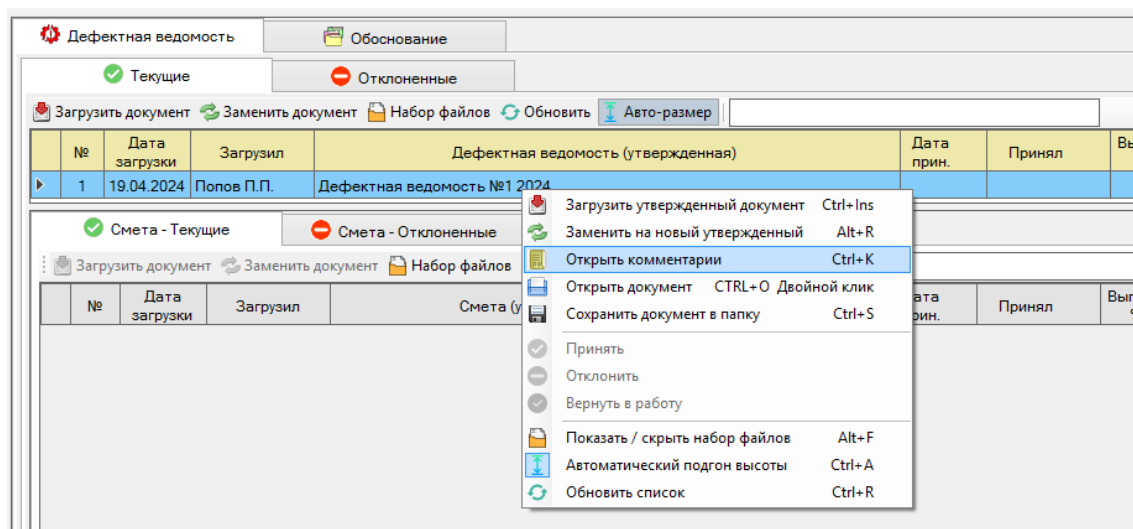


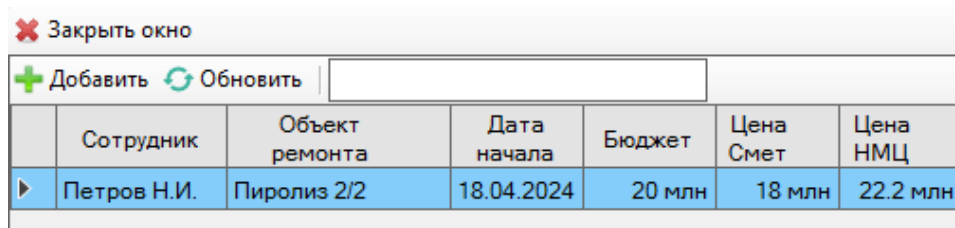
Рисунок 5 – Функции работы с ДВ

После принятия ДВ начальником отдела подготовки капитальных ремонтов (ОПКР), в работу вступает сметчик, имеющий те же функции по загрузке, выгрузке, просмотру и другим действиям. В работу, после принятия смет начальником ОПКР, вступает механик производства. Он загружает РВ на каждую смету, начальник ОПКР проверяет их.

После принятия разделительных ведомостей начинается формирование НМЦ. При загрузке НМЦ указывается цена каждого НМЦ. Загрузку НМЦ производит сметчик, его проверку – начальник ОПКР. Количество НМЦ совпадает с количеством смет и РВ. После принятия всех договоров НМЦ высвечивается сумма принятых договоров НМЦ и отображается в левом окне (рисунок 6).

Таким образом, можно анализировать и корректировать изначально заданный бюджет и фактическую сумму работ. В примере показан случай, когда

сумма НМЦ превышает изначально утвержденный бюджет, выделенный на производство.



	Сотрудник	Объект ремонта	Дата начала	Бюджет	Цена Смет	Цена НМЦ
▶	Петров Н.И.	Пиролиз 2/2	18.04.2024	20 млн	18 млн	22.2 млн

Рисунок 6 – Сумма принятых НМЦ

Для отслеживания ремонтной документации все отклоненные документы автоматически сохраняются в архив, с фиксацией даты и причины отклонения.

Для удобства работы в программном комплексе внедрены возможности поиска документов, а также функция «горячих» клавиш.

Клиент-серверное приложение прошло успешное тестирование на одном из предприятий нефтехимии, и показало эффективность использования данного цифрового инструмента для контроля за документооборотом на этапе планирования остановочных ремонтов.

Список использованной литературы

1 М.А. Bikmukhametova, R.B. Tukaeva, A.T. Bikmukhametov. Risk-oriented approach to problem of centrifugal pumps reliabilization during operation // Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" (AIME 2018). P. 90-94.

2 Мусабиров, Э.М. Риск-ориентированный подход в управлении техническим обслуживанием и ремонтом / Э.М. Мусабиров, М.А. Бикмухаметова // Актуальные проблемы науки и техники-2023: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, г. Уфа. – 2023. – Текст: непосредственный. – С. 170-172.

3 Мусабиров, Э.М. Снижение риска задержки сроков ремонта технологических установок / Э.М. Мусабиров, М.А. Бикмухаметова // Актуальные проблемы науки и техники-2024: материалы XVII Междунар. науч.-практ.конф. молодых ученых и специалистов, г.Уфа. – 2024. – Текст: непосредственный. – С. 361-363.

4 Канунникова, Т.В. Контроль качества ремонта колонного оборудования нефтехимических предприятий / Т.В. Канунникова, М.А. Бикмухаметова // Молодой ученый. – 2023. – №51 (498). – С. 33-35.

5 Краткий обзор языка C#. [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/> (дата обращения: 15.04.2024).

6 Основы работы с MSSQL. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nic.ru/help/osnovy-raboty-s-mssql_11487.html (дата обращения: 15.04.2024).

A DIGITAL TOOL FOR MAINTENANCE OF STOP REPAIRS OF PETROCHEMICAL ENTERPRISES

**Marina A. Bismukhametova, Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor**

Emil M. Musabirov, undergraduate student, 2nd year

Ufa State Petroleum Technical University

Abstract: *A client-server application in Windows is presented (a tool for minimizing risks when carrying out stop repairs at hydrocarbon processing enterprises), which allows the chief mechanic's service to improve the quality of stop repair preparation at the planning stage by monitoring the movement and storage of repair documentation of the entire enterprise, analyze and identify dangerous factors affecting the timing repair, the quality of its execution.*

Keywords: *maintenance and repair, risks, digital tool, database, information system, chief mechanic's service, stop repair.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ СНАРЯДА СО СЪЁМНЫМ КЕРНОПРИЕМНИКОМ

Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент

Тулибаев Егор Сагитович, аспирант,

Руппель Виктория Владимировна, студентка бакалавриата, 4 курс,

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Современные конструкции бурового инструмента, включая трубы бурильные, дают возможность эффективно проводить бурение сложных с геологической точки зрения скважин, однако практически повсеместное несоблюдение технологии бурения, наряду с необходимостью пробуривать сверхглубокие скважины, ставят вопрос о разработке новых конструкций резьбовых соединений труб. Главной конструктивной особенностью труб для работы со съёмным керноприемником (далее – трубы ССК) является то, что резьбовое соединение всегда является «слабым звеном», исходя из изложенного, необходимо спроектировать резьбовое соединение, которые обладают улучшенной усталостной прочностью, стойкостью к износу и способностью передавать большие крутящие моменты.

В работе изложен процесс проектирования резьбовой части бурильной трубы с разработкой конструкции рабочих чертежей и 3D моделей.

Ключевые слова: моделирование, резьба, резьбовое соединение, крутящий момент, прототип.

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

Все отказы бурильной колонны труб можно разделить на две большие группы – внезапные (аварийные) и постепенные (износосвые, штатные). На рисунке 1 представлены систематизированные причины отказов элементов бурильной колонны [3].

Чаще всего штатная отбраковка труб ССК проходит по двум критериям:

- в связи с износом наружной поверхности всего тела трубы;
- в связи с износом профиля резьбового соединения.

Причины постепенных («износосвых») отказов: чаще всего элементы бурильной колонны выходят из строя в связи с износом наружной поверхности, а также в результате износа и заедания резьбы.

Причины внезапных (аварийных) отказов труб ССК: внезапные отказы возникают неожиданно и обычно приводят к значительным потерям времени на ликвидацию их последствий, а нередко влекут за собой длительные и сложные аварии. Чаще всего к внезапным отказам относятся:

- обрыв ниппельной части и/или муфтовой частей резьбового соединения;
- пластические деформации ниппельной и/или муфтовой частей резьбового соединения;

– поломка по телу трубы (крайне редко).

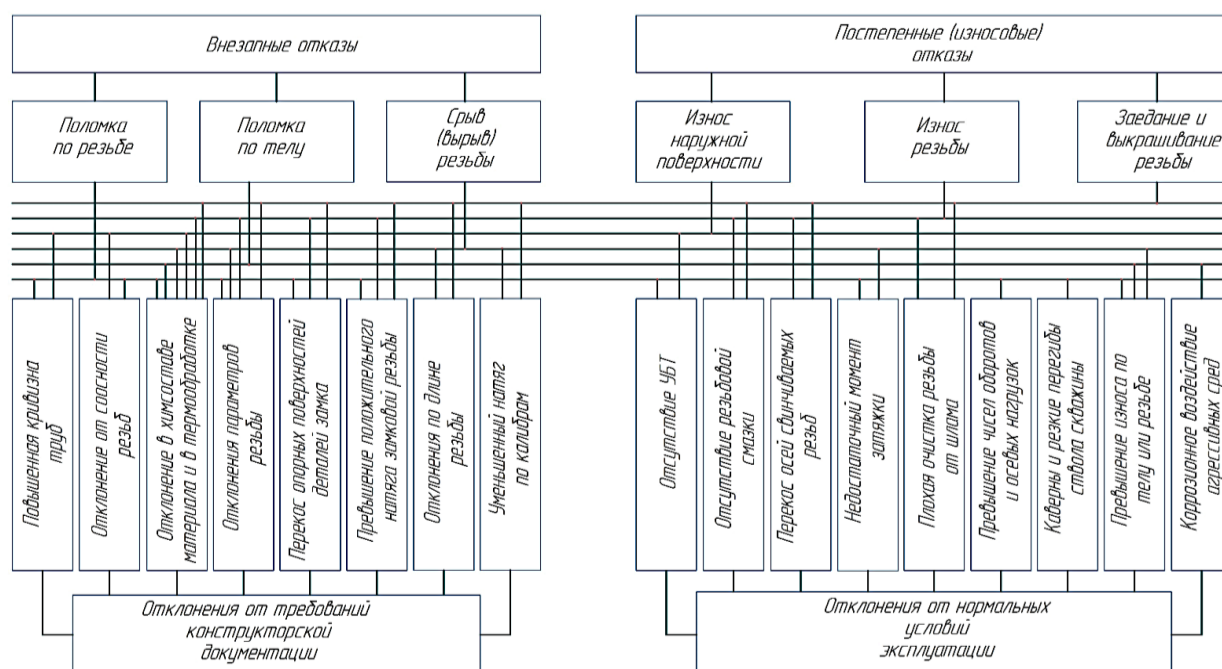


Рисунок 1 – Классификация причин отказов элементов бурильной колонны

Актуальность разработки состоит в том, что все чаще требуется бурить более глубокие и сверхглубокие скважины и приложением больших крутящих моментов и более мощных буровых установках, нужно иметь больше технические характеристики резьбового соединения, чтобы бурить более глубокие и сложные скважины и предотвратить аварии, происходящие из-за преждевременного износа резьбовых соединений, а также из-за срыва резьбы в бурильных соединениях. Соответственно для того, чтобы это сделать необходимо придумать новую конструкцию. Проектируя новое резьбовое соединение, в качестве прототипа было взято широко распространенное в мире резьбовое соединение типа NRQ. Данное соединение было разработано компанией Boart Longyear в 80-х годах прошлого столетия. АО «Завод бурового оборудования» обладает эксклюзивными правами на использование данной конструкции резьбового соединения в пределах Российской Федерации, защищенной патентом.

Есть несколько технических решений увеличения прочности резьбового соединения без потери его надежности и долговечности:

1. Изменение конструкции трубы.
2. Изменение механических свойств (повышение прочностных характеристик концов резьбовых соединений).
3. Изменение конструкции резьбы.

На основе контроля исследования основных параметров популярной конструкции бурильных труб производства Boart Longyear [1], определено, что характеристики трубной заготовки (чертеж представлен на рисунке 2)

Увеличенный отрицательный угол наклона рабочей грани профиля витка резьбы повышает сопротивление (пластической деформации) «раздутию» муфты (ответной внутренней резьбы) экстремальным нагрузкам.



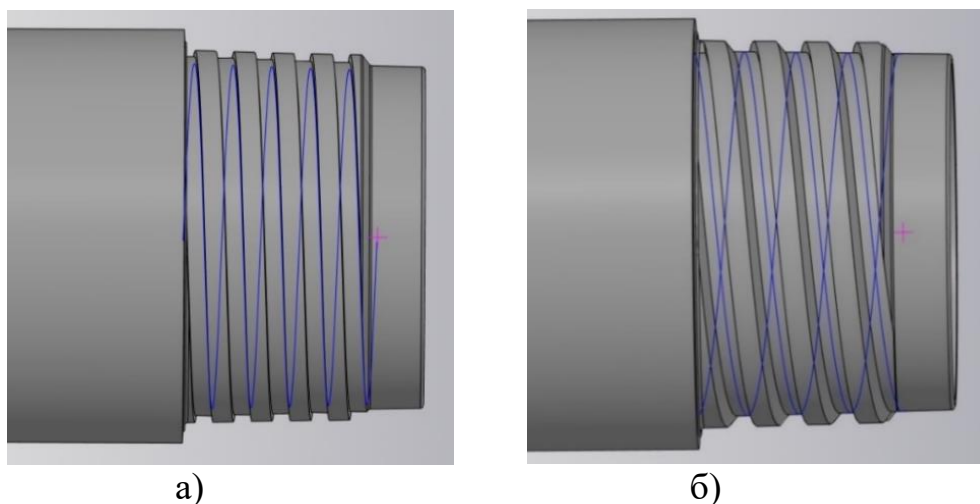


Рисунок 3 – Резьбовое соединение:
а – однозаходная резьба NRQ производства Boart Longyear;
б – двухзаходная резьба NXQ производства АО «ЗБО»

Таблица 1 – Изменение конструкции резьбового соединения

Параметр	NRQ	NXQ
Конусность	1:17	1:38
Угол рабочей грани профиля витка резьбы	-	увеличен
Количество заходов	однозаходная	двухзаходная
Длина резьбы с полным профилем витков	-	увеличен

Двухзаходная конфигурация резьбы NXQ (рисунок 3, б) позволяет, во-первых, исключить изгибающее действие момента, возникающего в однозаходных резьбах, добавляя противодействующий ему момент от второго захода. Во-вторых, уменьшается время свинчивания-развинчивания соединения, повышая производительность процесса бурения.

Увеличенная длина резьбы с полным профилем витков, что увеличивает рабочую площадь контакты витков резьбы, увеличивая ее сопротивление крутящему моменту.

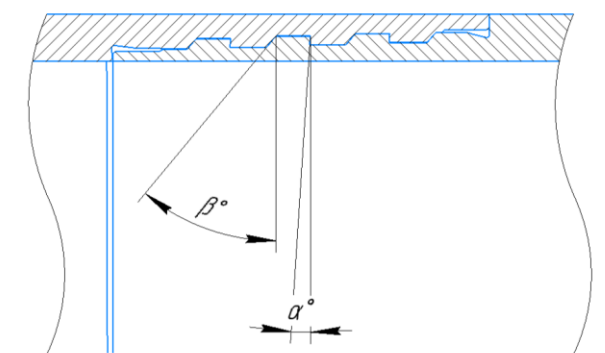


Рисунок 4 – Профиль резьбы NXQ

Самое слабое место в бурильной колонне NRQ всегда резьбовое соединение, потому что стенка трубы относительно толстая, а в резьбе стенка значительно тоньше. Поэтому она выходит из строя обычно в ниппельной части. На резьбе NXQ создан обратный угол 8° для того, чтобы крутящий момент передавала не только резьба, но и торцы. Суть резьбы NXQ: она передает больший крутящий момент, чем NRQ.

Список использованной литературы

1. Лачинян, Л. А. Работа бурильной колонны [Текст] / Л. А. Лачинян – 2-е изд.. – Москва: Недра. – 1992. – 205 с.
2. Патент RU 2549620 C1. Резьбовое соединение бурильных труб: №2013147759: заявл. 28.10.2013: опубл. 05.10.2015 / Лачинян Л.А; заявитель, патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Завод бурового оборудования» – 12 с.
3. Ковалев М.К. Нарезание и контроль резьбы бурильных труб и замков [Текст]. – 2-е изд. – Москва : Недра, 1965. – 170 с.
4. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов [Текст] : в 2 т. / С. П. Тимошенко; пер. В. Н. Федорова с 3-го амер. изд. – М. : Наука, 1965. Т. 1: Элементарная теория и задачи. – 2-е изд., стер. – 1965. – 364 с.: ил. – Предм. указ.: с. 360-363.
5. КОМПАС-3D / [сайт]. – URL: <https://kompas.ru> (дата обращения: 03.05.2024).

MODELING OF A THREADED CONNECTION OF A PIPE FOR DRILLING A PROJECTILE WITH A REMOVABLE CORE RECEIVER

**Egor S. Tulibaev, Victoria V. Ruppel, undergraduate student, 4th year,
Ekaterina V. Poyarkova, Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor**

Orenburg State University

Annotation. Modern designs of drilling tools, including drill pipes, make it possible to effectively drill wells that are difficult from a geological point of view, however, almost universal non-compliance with drilling technology, along with the need to drill ultra-deep wells, raise the question of developing new designs of threaded pipe connections. The main design feature of pipes for working with a removable core receiver (hereinafter referred to as SSK pipes) is that the threaded connection is always a "weak link", based on the above, it is necessary to design a threaded connection that has improved fatigue strength, resistance to wear and the ability to transmit large torques. The paper describes the process of designing the threaded part of the drill pipe with the development of the design of working drawings and 3D models.

Keywords: modeling, thread, threaded connection, torque, prototype.

СЕКЦИЯ 6



«РОЛЬ МЕХАНИКИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА»

ОНЛАЙН КАЛЬКУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО УПРОЩЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

Фролова Олеся Александровна, канд. техн. наук, доцент
Михайлюк Александр Сергеевич, бакалавриат, 4 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. *Современные подъемно-транспортные конструкции характеризуются огромным спектром грузоподъемности, размерами обслуживаемых площадей, большой производительностью. Использование консольных поворотных кранов значительно повышает производительность, эффективность и непрерывность труда в производстве. Для упрощения выполнения инженерных расчетов в настоящее время широко используются различные компьютерные программы и приложения. Онлайн-калькулятор на основе HTML для расчета консольных поворотных кранов обеспечивает удобный и эффективный способ для инженеров и проектировщиков быстро и точно определять необходимые параметры крана.*

Ключевые слова: *грузоподъемные механизмы, консольный кран, поворотный кран, онлайн калькулятор, HTML документ, инженерные расчеты.*

Код и рубрика: *621.86 Подъемно-транспортное оборудование в целом.*

Консольные поворотные краны широко используются в различных отраслях промышленности для подъема и перемещения грузов. Как известно, для обеспечения их безопасной и эффективной работы, необходимо проводить точные расчеты [1-5].

В настоящее время широко используются различные онлайн калькуляторы и приложения для упрощения инженерных расчетов. Эти инструменты позволяют быстро и легко выполнять сложные инженерные расчеты, экономя время и усилия инженеров. Благодаря интуитивно понятному интерфейсу и подробным инструкциям даже непрофессионалы могут использовать эти калькуляторы для выполнения основных инженерных задач.

Создание онлайн калькуляторов или различных подобных приложений решает широкий круг инженерных задач:

- упрощение процесса расчета (автоматизировать сложные расчеты, делая их доступными для инженеров любого уровня подготовки);
- повышение точности и надежности (обеспечение точных и надежных результатов расчетов, исключая ошибки, связанные с ручными вычислениями);
- экономия времени и ресурсов (сокращение времени для выполнения расчетов, освобождая тем самым инженеров для решения других задач проектирования);
- улучшение принятия решений (предоставление инженерам быстрого и эффективного способа сравнивать различные варианты конструкции и выбирать оптимальные решения);

- повышение доступности (выполнение расчетов доступно для более широкого круга специалистов, включая студентов, проектировщиков и производителей);
- стандартизация процесса (унификация процесса расчета, обеспечивающая соответствие отраслевым стандартам и кодам проектирования);
- содействие обучению и развитию (облегчение понимания принципов проектирования и предоставление практического инструмента для обучения и развития);
- интеграция с другими инструментами (интегрирование калькулятора с другими инженерными приложениями и системами управления данными для оптимизации рабочего процесса);
- повышение производительности (ускорение процесса проектирования за счет автоматизации расчетов и предоставления быстрых и точных результатов);
- конкурентное преимущество (предоставление инженерам и производителям конкурентного преимущества, позволяя им разрабатывать оптимизированные и надежные конструкции с минимальными усилиями и затратами).

Для упрощения инженерных расчетов консольного поворотного крана разработан онлайн калькулятор на основе HTML-документа (рисунок 1).

HTML (*HyperText Markup Language*) – это язык разметки, используемый для создания веб-страниц. Он определяет структуру и содержимое веб-страницы, используя теги для обозначения различных элементов страницы.

Основными этапами создания онлайн калькулятора для подбора консольного поворотного крана по требуемой грузоподъемности и дальнейшего расчета основных узлов подъемного механизма являлись:

1 Сбор требований.

Были определены входные параметры, необходимые для расчета, такие как:

- грузоподъемность крана;
- вылет стрелы;
- скорость подъема/опускания;
- тип подъемного механизма (электрический)

2 Разработка расчетной модели.

Разработана математическая модель для расчета параметров подъемного механизма, т.е. определены следующие параметры:

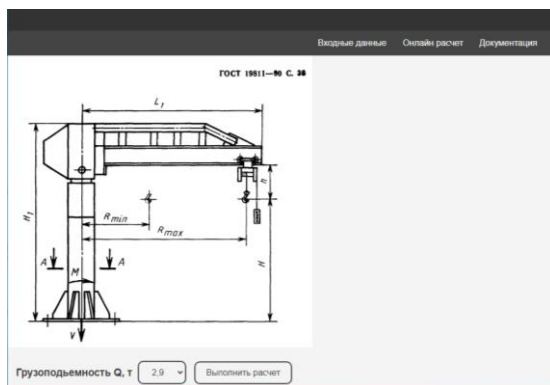
- необходимая мощность двигателя;
- крутящий момент на выходном валу редуктора;
- количество зубьев шестерен в редукторе;
- диаметр барабана.

3 Разработка пользовательского интерфейса.

Создан простой и удобный пользовательский интерфейс, который позволяет пользователям вводить входные данные и получать расчетные результаты. Интерфейс (рисунок 1) включает в себя:

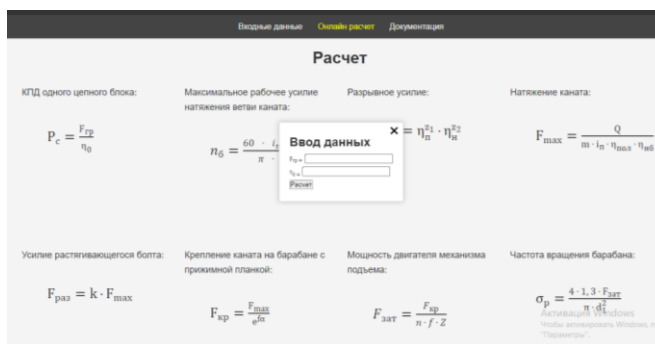
- поля ввода для входных параметров;
- кнопку расчета;

- поля вывода для отображения результатов;
- единицы измерения.

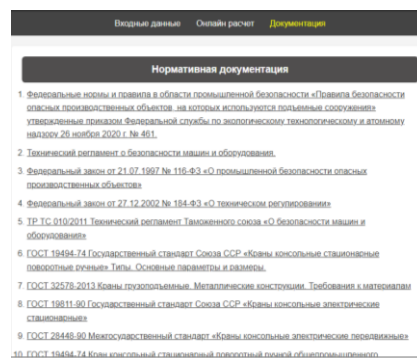


а) стартовая страница

б) выбор параметров крана по грузоподъемности



в) страница расчета



г) нормативная документация

Рисунок 1 – Страницы онлайн калькулятора, созданного на основе HTML-документа

4 Реализация алгоритма вычисления необходимых параметров подъемного механизма на основе введенных данных.

5 Осуществление тестирования и отладки входных данных для обеспечения точности и надежности результатов.

6 Развертывание онлайн-калькулятора на веб-сервере.

7 Добавление дополнительных функций:

- сохранение и загрузка расчетных результатов;
- автоматическое заполнение входных данных на основе общих значений;
- предоставление справочной информации (нормативных документов) о подъемных механизмах и кранах.

Рекомендации по использованию онлайн калькулятора:

1 Ввести необходимые входные параметры.

2 Нажать кнопку расчета.

3 Просмотреть расчетные результаты в полях вывода.

Таким образом, разработанный онлайн-калькулятор на основе HTML-документа для подбора консольного поворотного крана по требуемой грузоподъемности и дальнейшего расчета основных узлов подъемного

механизма может быть ценным инструментом для инженеров, проектировщиков и других специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией кранов. Он позволяет быстро и легко определять необходимые параметры подъемного механизма на основе конкретных требований к эксплуатации. Однако, необходимо все же проверять достоверность полученных результатов с помощью других методов расчета или консультаций с экспертами.

Список использованной литературы

1. Официальный сайт компании ООО «ПЕРМСКИЙ ЗАВОД ПРОМОБОРУДОВАНИЯ» - специализированное предприятие по производству мостовых кранов и подъемно-транспортного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pzpo.ru> (дата обращения: 03.05.2024).
2. Официальный сайт компании крановый завод «ЕВРОКРАН» - специализированное предприятие по производству сертифицированного грузоподъемного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kranbalki.ru> (дата обращения: 03.05.2024).
3. ГОСТ 27555-87 Краны грузоподъемные. Термины и определения. – Введен в действ. 01.01.1989. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 26 с.
4. ГОСТ 28609-90 Краны грузоподъемные. Основные положения расчета. – Введен в действ. 01.01.1992. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
5. ГОСТ 33166.1-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Общие положения. – Введен в действ. 01.01.2016. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 4 с.

ONLINE CALCULATOR AS A MEANS OF SIMPLIFYING ENGINEERING CALCULATIONS

**Frolova Olesya Alexandrovna, candidate of technical sciences, Associate
Professor**

Mihailuk Alexandr Sergeevich, bakalavr, 4 level

Annotation. *Modern lifting and transport structures are characterized by a huge range of lifting capacities, the size of the serviced areas, and high productivity. The use of cantilever rotary cranes significantly increases productivity, efficiency and continuity of labor in production. To simplify the execution of engineering calculations, various computer programs and applications are currently widely used. The HTML-based online calculator for calculating cantilever rotary cranes provides a convenient and efficient way for engineers and designers to quickly and accurately determine the necessary crane parameters.*

Keywords: *lifting mechanisms, cantilever crane, rotary crane, online calculator, HTML document, engineering calculations.*

ЗАЩИТНЫЕ КАСКИ КАК КРИТИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Заярин Данила Сергеевич, Панова Анастасия Алексеевна, студенты
бакалавриата, 2 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация: В статье описываются строительные каски как средства индивидуальной защиты головы на строительных площадках. Рассматриваются основные функции строительных касок, включая защиту от механических повреждений, воздействия огня и электрического тока. Выделяются ключевые элементы конструкции каски, такие как корпус, оголовье и ремень для фиксации, объясняет их роль в обеспечении комфорта и безопасности работника. Также приводятся требования к строительным каскам, включая прочность, защиту от проникновения и устойчивость к температурным воздействиям. Важность тестирования и сертификации строительных касок для обеспечения их соответствия стандартам безопасности подчеркивается как ключевой аспект обеспечения защиты работников на стройплощадках.

Ключевые слова: строительные каски, шлем, средства индивидуальной защиты

Код и рубрика: 67.00.00 Строительство. Архитектура, 86.00.00 Охрана труда

Человеческий капитал является неотъемлемой составляющей строительной отрасли, при этом обеспечение безопасности рабочих должно выступать первостепенным приоритетом. Проблема безопасности и охраны труда в строительстве остается одной из самых актуальных и социально значимых. Ее решение затрагивает непосредственные интересы каждого работающего и работодателя в отрасли [1].

Строительные площадки, особенно при возведении масштабных объектов, представляют повышенную опасность и являются одной из наиболее рискованных рабочих сред. Несчастные случаи могут происходить в результате падения транспортных средств, строительных материалов или предметов с высоты, приводя к травмам и в некоторых случаях к фатальным последствиям. Такие трагические события не только наносят ущерб здоровью отдельных работников, но и негативно сказываются на их семьях и строительных организациях.

Для снижения рисков, связанных с опасными условиями труда, разработаны средства индивидуальной защиты (СИЗ). Так, в [5] дано определение, что «средства индивидуальной защиты – это оборудование,

необходимое для защиты человека от любых опасностей на рабочем месте». Там же приведены минимальные меры индивидуальной защиты рабочих или посетителей строительной площадки, на первом месте из всех перечисленных мер обозначена защитная каска.

Действительно, одним из наиболее важных элементов СИЗ является защитная каска, предназначенная для защиты головы человека. Эта область особенно уязвима к ударам и повреждениям, которые могут повлечь тяжелые травмы или летальный исход. В связи с этим в строительной отрасли обязательным является использование промышленных касок, обеспечивающих сохранность головы и снижающих вероятность получения серьезных травм.

История защитных касок в строительстве восходит к древним временам, когда люди осознали необходимость защиты головы от травм и опасностей на строительных площадках.

В Древнем Египте строители использовали обмотанные вокруг головы туники для защиты от падающих камней и других опасностей. Туники, являвшиеся повседневной одеждой для всех социальных классов, были длинными и широкими, закрывая тело от плеч до щиколоток. Обычно они изготавливались из льняных тканей и могли быть украшены различными узорами и символами.

В римской армии солдаты носили металлические шлемы, которые обеспечивали защиту головы как в бою, так и на строительных площадках. Особенно распространены были такие шлемы среди пожарных. Изготавливались они из стали и во многом напоминали военные головные уборы.

В средние века и раннее Новое время строители использовали примитивные шлемы из кожи или металла. Эти шлемы, имевшие простую конструкцию, не обеспечивали полной защиты, но свидетельствовали о понимании важности защиты головы.

Таким образом, на протяжении истории строители постоянно совершенствовали средства защиты головы, осознавая ее уязвимость к травмам и ударам. Эти ранние формы защитных касок, хотя и не были столь совершенными, как современные модели, проложили путь к разработке более эффективных и безопасных средств индивидуальной защиты в строительной отрасли.

Истоки современных защитных касок можно проследить по деятельности компании E.D. Bullard, основанной в 1898 году. В 1919 году сын основателя, Эдвард В. Буллард, разработал первую каску, получившую название «hard hat» (буквально «жесткая шляпа»), на основе армейского шлема, который он носил во время Первой мировой войны. Эта каска была предназначена для защиты шахтеров от падения обломков.

К 1930-м годам каска стала обязательным СИЗ для всех рабочих, занятых на строительстве моста Золотые Ворота. Использование касок для защиты рабочих от падающих заклепок спасло множество жизней во время строительства моста, и именно этот проект превратил первоначальную каску «hard hat» в прочную промышленную каску. Мост Золотые Ворота стал первым в Америке местом, где применение касок было обязательным. Таким образом,

компания E.D. Bullard сыграла решающую роль в развитии защитных касок, создав первую каску и продемонстрировав ее эффективность в возведении реального объекта. Это событие стало переломным моментом в истории безопасности труда в строительной отрасли, приведя к повсеместному внедрению защитных касок и снижению числа травм головы на рабочих местах.

В 1970-х годах, после основания Управления по охране труда (OSHA - Occupational Safety and Health Administration), использование защитных касок на рабочих местах стало обязательным. Для сравнения: в 1970 году на производстве было зарегистрировано 15000 смертей, а в 2016 году - около 5200 смертей. Данная статистика свидетельствует об эффективности и необходимости защиты головы на производственных объектах.

По мере технологического прогресса строительные каски претерпели значительные усовершенствования с точки зрения эргономики и функциональности. Применение различных материалов, таких как пластик, стекловолокно и усиленные композитные материалы, позволило разработать каски, сочетающие малый вес, механическую прочность и эффективную амортизацию ударов.

При попытке проследить эволюцию строительных касок за последний век можно выявить следующее. До середины 20 века строительные каски изготавливались в основном из металла или кожи. Однако эти материалы имели ряд недостатков, таких как большой вес, низкая амортизирующая способность и подверженность коррозии.

В 1950-х годах появились первые каски из термопластиков, таких как полиэтилен и полипропилен. Эти каски были легче и прочнее металлических, а также обеспечивали лучшую защиту от ударов. В 1970-х годах были разработаны каски из стекловолокна, которые отличались еще большей прочностью и легкостью.

В последующие десятилетия развитие технологий привело к появлению касок из композитных материалов, таких как углеродное волокно и кевлар. Эти каски обладают исключительной прочностью, легкостью и амортизирующей способностью.

Современные строительные каски изготавливаются из различных материалов, включая полиуретан, поликарбонат, стекловолокно и композиты. Каждый материал имеет свои уникальные свойства, такие как прочность, легкость, устойчивость к ударам и химическим веществам.

Для удобства на производствах или объектах соблюдают классическую цветовую маркировку касок либо разрабатывают собственную. Это дает возможность идентифицировать работников издалека или в условиях ограниченной видимости. Так, каски белого цвета предназначены для лиц, занимающих руководящие должности, для начальников производств, сотрудников охранной службы и специалистов техники безопасности. Красные принадлежат главным энергетикам и механикам, прорабам и работникам инженерно-технического отдела. Желтые каски используются для обычных работников и обслуживающего персонала. Применяются на строительных объектах наибольших количествах. Каски черного цвета – привилегия

работников архитектурной сферы. В связи с этим увидеть их на строительном объекте можно крайне редко [3].

Существует широкий спектр строительных касок, предназначенных для различных условий эксплуатации, некоторые из наиболее распространенных типов касок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Типы строительных касок

Тип каски	Базовая характеристика
Полиуретановые	Прочные и легкие, обеспечивают отличную защиту от ударов и проколов
Вододисперсионные	Покрываются краской на водной основе, которая устойчива к истиранию и коррозии
Силиконовые	Выдерживают высокие температуры и химические вещества, подходят для работы с электричеством
Акриловые	Устойчивы к ультрафиолетовому излучению и атмосферным воздействиям, подходят для использования на открытом воздухе
Водорастворимые	Изготовлены из легкорастворимого материала, который не загрязняет окружающую среду
Латексные	Обеспечивают хорошую защиту от ударов и проколов, но не подходят для работы с электричеством
Водоэмульсионные	Покрываются эмульсионной краской, устойчивой к влаге и химическим веществам
Масляные	Покрываются масляной краской, которая обеспечивает хорошую защиту от коррозии и истирания
Силикатные	Изготовлены из силикатного материала, который устойчив к высоким температурам и химическим веществам
Алкидные	Изготовлены из алкидной смолы, которая обеспечивает высокую прочность и устойчивость к атмосферным воздействиям

Вместе с тем, как показывает анализ в [6], большинство регламентирующих документов в области конструирования спецодежды, в том числе и технических условий, значительно устарели и не отвечают требованиям современного производства. Однако, при использовании традиционных СИЗ, в том числе защитных касок, не всегда выполнимы современные требования

безопасности и комфорта. В результате возникают травмы и заболевания. Поэтому использование современных материалов при разработке и производстве защитных касок является актуальной задачей в области охраны труда.

На сегодняшний день создаются защитные каски на основе гибридных композитов с использованием натуральных волокон в качестве экологически чистых материалов и полимерной матрицы. При сравнении их с существующими материалами защитных шлемов (ABS-пластик, полиамид, поликарбонат) прочность на растяжение, изгиб и ударную вязкость оказались выше, что свидетельствует об их надежности [2].

Инновационным средством защиты является многофункциональный шлем от компании EVOVISTA. Он включает полностью выдвижную защитную оптическую лицевую панель (1 класса защиты). В качестве основы выступает каска. Ее купол выполнен из ABS-пластика. Профиль нижнего обреза каски теперь имеет сложный контур: предусмотрены защитные усиления височной и затылочной зон. Основная особенность и инновационное отличие – выдвижные очки/щиток имеют «парковочное положение» в области лба, под специальной накладкой. Каска из ABS-пластика обеспечивает комбинированную защиту от бокового удара и от расплавленного металла [4].

Таким образом, каски – первостепенная защита человека на строительных площадках, которые могут быть представлены из различных материалов.

Список использованной литературы

1. Liang, H, Seo, S. Automatic Detection of Construction Workers' Helmet Wear Based on Lightweight Deep Learning / H. Liang, S. Seo // Applied Sciences. – 2022. – №20. – P. 533-539.
2. Samriddhi, V. K. Development and mechanical characterization of construction helmet using natural fibre reinforced polymer composites / V.K. Samriddhi // AIP Conf. Proc. – 2024. – №1. – P. 1-20.
3. ГОСТ 12.4.128-83 «Система стандартов безопасности труда. Каски защитные. Общие технические условия» (утв. постановлением Госстандарта СССР от 29 июня 1983 г. N 2750).
4. Десятка инновационных СИЗ-2020: Интегральный защитный шлем EVO®VISTA™ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://getsiz.ru/eop-10-2020-zashchitnyi-shlem-evovista.html> (дата обращения: 26.05.2024).
5. Жолмаганбетов, А.У. Теоретические основы безопасности на строительных площадках казахстанских компаний / А.У. Жолмаганбетов, Н.Б. Адилова, С.М. Жарылгапов, М.Ж. Рыскалиев // Достижения науки и образования. – 2021. – №4 (76). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-bezopasnosti-na-stroitelnyh-ploschadkah-kazahstanskih-kompaniy> (дата обращения: 25.05.2024).
6. Ревякина, О.В. Проектирование специальной одежды для рабочих строительных профессий / О.В. Ревякина, А.А. Старовойтова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №8-1. – С. 71-73.

SAFETY HELMETS AS A CRITICAL COMPONENT OF OCCUPATIONAL SAFETY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Ekaterina V. Poyarkova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Danila S. Zayarin, Anastasia A. Panova, undergraduate students, 2nd year

Orenburg State University

Abstract: *The article describes construction helmets as personal head protection equipment on construction sites. The main functions of construction helmets are considered, including protection from mechanical damage, fire and electric current. The key elements of the helmet design, such as the body, headband and strap for fixation, are highlighted, and their role in ensuring the comfort and safety of the employee is explained. The requirements for construction helmets are also given, including strength, penetration protection and resistance to temperature influences. The importance of testing and certifying construction helmets to ensure their compliance with safety standards is emphasized as a key aspect of ensuring the protection of workers on construction sites.*

Keywords: *construction helmets, helmets, personal protective equipment.*

МОДЕРНИЗАЦИЯ МИКРОСКОПА МБС-1 КАМЕРОЙ LEVENHUK M500 BASE

Юршев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент,
Цыбиногина Ника Викторовна, Ампилогов Иван Александрович, студенты
бакалавриата, 4 курс,
Саетдинов Тенгиз Альбертович, Сафин Руслан Рафкатович, магистранты,
1 курс

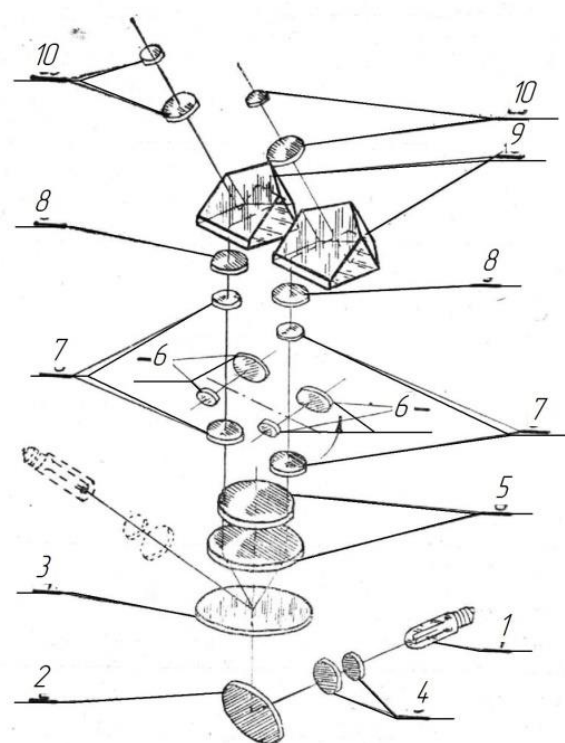
Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье приведен материал о возможностях модернизации металлографических микроскопов, достоинства и недостатки решений.

Ключевые слова: микроскопия, реновация, изучение структуры, металловедение

Код и рубрика: 55.00.00 Машиностроение

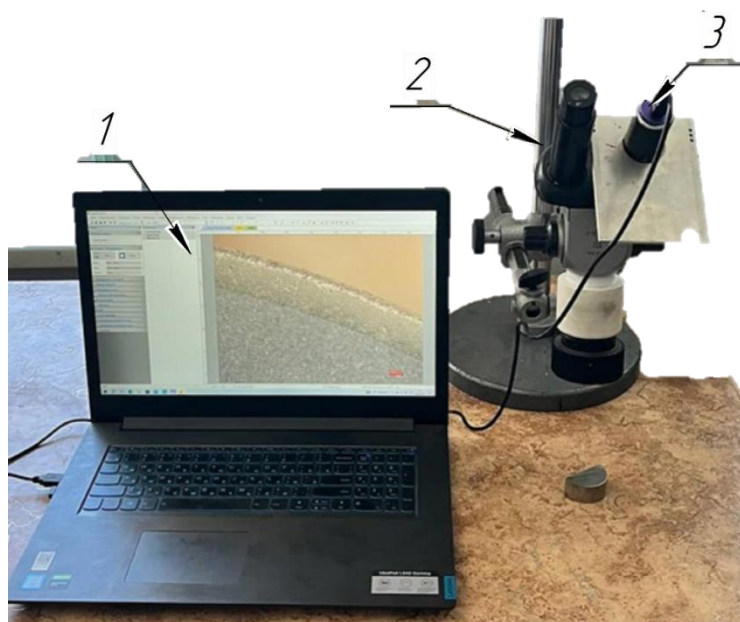
МБС-1 – стереоскопический микроскоп, предназначенный для получения изображения исследуемого объекта в проходящем или отраженном свете. Диапазон применяемых увеличений составляет от 3,5 до 88 крат. Максимальное увеличение микроскопа зависит от набора применяемых окуляра и объектива. Ведение работ на микроскопе возможно при искусственном и естественном свете. Оптическая схема микроскопа представлена ниже на рисунке 1.



- 1 – электролампа,
- 2 – отражатель;
- 3 – предметное стекло;
- 4 – коллектор;
- 5 – объектив $F = 80$ мм;
- 6 – галилеева система;
- 7 – галилеева система;
- 8 – объективы $F = 160$ мм;
- 9 – призмы Шмидта;
- 10 – окуляры

Рисунок 1 – Оптическая схема микроскопа МБС-1

Модернизация микроскопа осуществляется путем оснащения микроскопа цифровой камерой Levenhuk M500 BASE. Вывод изображения с камеры осуществляется на экран подключенного персонального компьютера (ПК) с использованием программы Levenhuk Lite. Внешний вид модернизированного микроскопа в комплекте представлен на рисунке 2.



- 1 – ПК с установленной программой Levenhuk Lite;
- 2 – Микроскоп МБС-1;
- 3 – Камера Levenhuk M500 Base

Рисунок 2 – Внешний вид модернизированного микроскопа МБС-1

Программа позволяет обрабатывать фотографии и видео снимков, – повышать детализацию снимка, его контрастность, четкость и менять цвет изображения. На рисунке 3 представлен снимок излома с повышенной яркостью при увеличении $\times 10$.



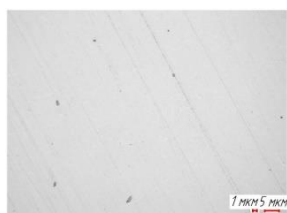
Рисунок 3 – Излом твердосплавного образца, $\times 10$

Достоинством модернизации микроскопа также является возможность идентификации и определения размера пор и структурных составляющих поверхности образцов. На рисунке 4 изображена поверхность микрошлифа при увеличении x50.



Рисунок 4 – Измерение величины пор в образце при увеличении x50

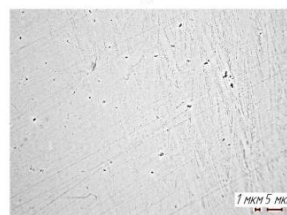
Графический редактор предоставляет инструменты для работы со снимками, позволяет определять не только линейные, но и диаметральные и угловые размеры, наносить изображения для работы с кадрами.



а)



б)



в)

- а – черно-белый снимок без обработки;
- б – цветной снимок без обработки;
- в – детализированный черно-белый снимок

Рисунок 5 – Обработка фото микроструктуры при увеличении x50

В результате модернизации получен микроскоп с визуализацией на экране монитора и возможностью программной обработки изображения с хранением и передачей информации.

Список использованной литературы

1. Антипов, Ю.Н. Опыт работы по компьютеризации металлографического микроскопа и опыт работы с ним / Ю.Н. Антипов, А.А. Коваленко, С.А. Горяной [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 3. – С. 65-67.
2. Инструкция по эксплуатации: программное обеспечение обработки изображений для цифровых камер в программе LevenhukLite.
3. Formation of diffusion nitride – oxide coatings. Urol Boynazarov. Karshie Engineering – Economics Institute, Karshi Uzbekistan. E3S Web of Conferences40104025 (2023) CONMECHYDPO-2023
4. Паспорт микроскопа стереоскопического МБС-1.

UPGRADE OF THE MBS-1 MICROSCOPE WITH THE LEVENHUK M500 BASE CAMERA

Vladimir I. Yurshev, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor
Nika V. Tsybinogina, Ivan A. Ampilogov, 4th year student,
Tengiz A. Sayetdinov, Ruslan R. Safin, master's student, 1st year

Orenburg State University

Abstract. *The article contains material on the possibilities of modernizing metallographic microscopes, advantages and disadvantages of solutions.*

Keywords: *microscopy, renovation, study of structure, metallology*

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ УСИЛЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ГАБИОНОВ

Труфанова Полина Сергеевна, Архипенко Татьяна Викторовна, студенты
бакалавриата, 2 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. Работа выполнена на кафедре механики материалов, конструкций и машин (ММКМ) Оренбургского государственного университета под руководством Поярковой Екатерины Васильевны, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой ММКМ. В данной статье рассмотрены конструкции из габионов и способ расчета таких конструкций, усиленных горизонтальными балками, на прочность. В работе описаны такие виды габионных конструкций, как коробчатые, матрацно-тюфячные и цилиндрические. Авторами выделен наиболее распространенный метод укрепления конструкций из габионов, а также описан расчет на прочность для данного метода укрепления на примере цилиндрического габиона. Выявлено допустимое максимальное расстояние между горизонтальными балками при их использовании для укрепления конструкции и обеспечения надежности и долговечности габионов. Показано, что габионные конструкции в настоящее время получили большое распространение во многих сферах человеческой деятельности.

Ключевые слова: конструкция из габионов, габионная конструкция, габион, усиленные конструкции, метод укрепления, расчет на прочность.

Код и рубрика: 67.11.33 Каменные и армокаменные конструкции

Конструкция из габионов – это конструкция, состоящая из сварных или плетеных металлических или пластиковых сеток определенной формы, наполненных бетоном, древесиной, различными камнями, иногда песком и грунтом или другим твердым материалом.

Такие конструкции применяются, как в качестве декоративных элементов устройства территорий, в виде малых архитектурных форм, так и для охранного обустройства, в том числе и природоохранного, в качестве элементов ландшафтного дизайна. В дорожном строительстве такие конструкции используются при армировании дорожного полотна, как опорные стены для предотвращения оползней на склонах вдоль автодорог, при противолавинных и противокаменных мероприятиях, а также для эффективности дренажа.

Конструкции из габионов являются одними из экономичных и высокоэффективных защитных конструкций.

В настоящее время в гидротехническом строительстве конструкции из габионов являются основным способом для защиты береговых линий, каналов и других сооружений от размывания и эрозии, усиления и стабилизации земляного полотна, опор мостов, дамб и водохранилищ. Однако, сложность выбора формы

конструкции и ее габаритов для обеспечения надежной работы все еще остается важной проблемой.

Существуют следующие виды габионных конструкций:

1. Коробчатые. Такая конструкция представляет собой вместилище формы параллелепипеда, но иногда создают и кубические конструкции. Длина конструкции может достигать 6 метров, ширина – 6 метров, по высоте могут быть от 1 до 1,5 метров. Производят данный вид габионов двумя способами: оцинкованную сетку с шестигранными ячейками закрепляют на металлической раме или сваривают каркас из проволоки и прута. Примером использования коробчатых габионов могут послужить укрепление берегов рек и водоемов от размыва, сооружение подпорных стенок, облицовки водосливных плотин.

2. Матрачно-тюфячные. Данный вид габионов имеет схожие черты с коробчатыми габионами по длине и ширине. Однако в высоту они достигают максимум 30 сантиметров, благодаря чему такие габионы могут точно повторять форму ландшафта и плотнее прилегать друг к другу, создавая более плоскую конструкцию. Подобные габионы используются в области гидротехнического строительства для облицовки каналов и дамб, в области дорожного строительства при прокладывании железнодорожных путей, креплении склонов и откосов насыпей, а также в виде «фартуков» для защиты оснований конструкций.

3. Цилиндрические. Такая конструкция представляет собой вместилище формы цилиндра. Так как конструкция не имеет жестких ребер, она достаточно гибкая и для ее производства используют двойную сетку. В длину они могут достигать 4 метров, а в диаметре могут быть от 65 до 95 сантиметров. Цилиндрические габионные конструкции используются для защиты от подмыва гидротехнических сооружений при авариях на берегах рек, для немедленного укрепления линии берега во время паводка, размыва и других чрезвычайных ситуаций [1, 2].

Подготовка основания для габионов один из важных процессов их установки. Основание должно быть тщательно уплотнено и выровнено, чтобы предотвратить их деформацию и обеспечить равномерное распределение нагрузки. Под габионами рекомендуется использовать слой геотекстиля, который предотвратит смешивание заполнителя с грунтом и улучшит дренаж.

Для заполнения габионных конструкций используются не все породы камня, обычно используют:

- гранит (отличается своей прочностью и долговечностью, а также способностью выдерживать большие нагрузки);

- базальт (обладает хорошей устойчивостью к истиранию и низким водопоглощением);

- известняк (выбирается за его эстетический вид и разнообразие цветов);

- кварцит (имеет высокую твердость и устойчивость к атмосферным воздействиям);

- габбро-диабаз (отличается высокой плотностью и прочностью).

Выбор камня для габионов зависит от множества факторов. Важно, чтобы камни были достаточно прочными, чтобы выдерживать нагрузки, и имели

подходящий размер для обеспечения стабильности и дренажа. Качество камня и его правильная укладка существенно влияют на долговечность и эффективность габионных сооружений. Камень обязательно должен превышать размеры клеток или сот сетки, однако для повышения плотности конструкции используют и более мелкие камни. Важно учитывать, что такие мелкие камни распределяют строго по пустотам в середине габиона, это делается для того, чтобы она не высыпалась через деления сетки. Весь объем мелких камней не может превышать 7 % от всего объема конструкции.

Иногда габионы связывают между собой с помощью специальных скоб или проволоки для того, чтобы увеличить их прочность и устойчивость к нагрузкам. Также на склонах их можно укладывать террасами, что поможет уменьшить эрозию и придать стабильность конструкции. Однако в сложных условиях важно учесть использование анкеров для дополнительной фиксации габионов в грунте.

Важно подходить к выбору конструкции, учитывая экономическую точку зрения и необходимые функции конструкции, а также стоимость и цели использования.

Существуют несколько способов укрепления каркаса габионов:

- вертикальными сваями;
- горизонтальными балками;
- с использованием труб нестандартных форм.

Основным методом укрепления длинного каркаса цилиндрического или коробчатого габиона являются установка горизонтальных балок.

Длину между горизонтальными балками можно определить из статического расчета на прочность габионной (цилиндрической или в виде параллелепипеда) оболочки.

Рассмотрим расчет на примере цилиндрического габиона с оболочкой радиусом R , заполненного камнем удельным весом γ (рисунок 1, а).

В данном случае часть габиона отделена от остальной части оболочки сечением, перпендикулярным оси симметрии. Сечением отсеченной части будет являться окружность радиусом R (рисунок 1 б). Уравнение отсеченной части может быть получено, как сумма проекций всех сил на вертикальную ось.

$$\sigma_s 2\pi R - G - q\pi R^2 = 0,$$

где $G = \gamma V$ – вес камня, заполняющий отсеченную часть коробчатого габиона.

Объем параллелепипеда с высотой x и размерами сечения a и b может быть определен по формуле [3]:

$$V = \pi R^2 x.$$

С учетом этого уравнение равновесия имеет вид:

$$2\sigma_s \pi R - \gamma \pi R^2 x - q\pi R^2 = 0.$$

Удельные давления на сетку будут определяться по формуле:

$$\sigma_s = \frac{\gamma \pi R^2 x + q \pi R^2}{2 \pi R} \leq \sigma_{\text{пр}},$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ – предел прочности на сетки на разрыв, Н/м.

Расстояние между поперечными балками надо назначать из условия:

$$l \leq x = \frac{2\sigma_{\text{пр}} - qR}{2\pi R}.$$

Модуль упругости цилиндрических габиона

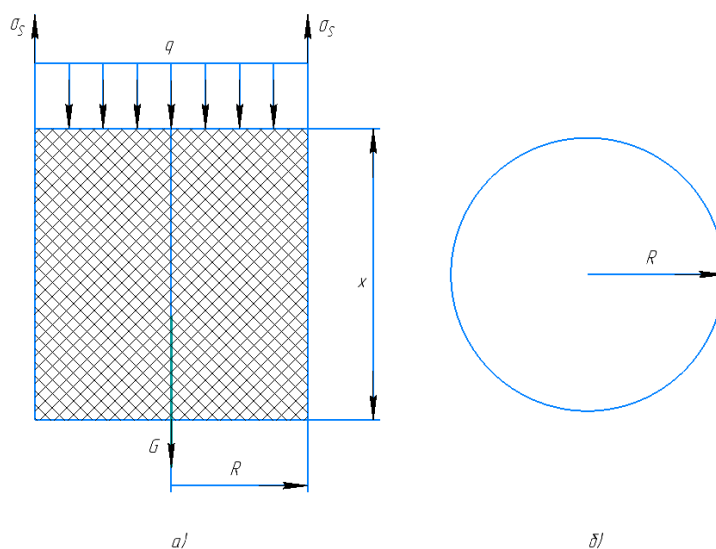
$$\sigma = E \cdot \varepsilon,$$

где ε – относительные деформации соответственно изучаемого габиона.

Абсолютные деформации цилиндрических габионов будут [4, 5]

$$\Delta L = \frac{N \cdot L}{E \cdot A'},$$

где E, A – соответственно модуль упругости, который можно получить из экспериментальных исследований, и площадь поперечного сечения габиона;
 L – длина габиона.



а) часть цилиндрического габиона, отсеченная от остальной части оболочки сечением, перпендикулярным оси симметрии; б) сечение отсеченной части цилиндрического габиона

Рисунок 1 – Часть цилиндрического габиона

В связи с развитием технологий существует возможность усовершенствования конструкций из габионов, методов укрепления и расчета на прочность данных конструкций, в том числе и улучшения ее прочностных характеристик, что приведет к более долговечной и надежной работе, а также к расширению области применения.

Список использованной литературы

1. Захаренко, А. И. Применение конструкций из габионов / А. И. Захаренко, О. М. Преснов // Точная наука. – 2022. – № 132. – С. 13-14.
2. Усиленные конструкции из габионов. Область их применения / А. М. Можина, О. М. Преснов, А. В. Стогниева, А. И. Утяганова // Перспективы науки. – 2022. – № 2(149). – С. 30-33. – EDN JDMNQK.
3. Ламердонов, З. Г. Расчет на прочность цилиндрических габионов / З. Г. Ламердонов, К. Н. Дужак // Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов : Труды Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, Нальчик, Пятигорск, 27–30 мая 2015 года. Отв. редактор Э. В. Запорожченко. – Махачкала, Нальчик, Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2015. – С. 219-221. – EDN VXXVRJ.
4. Расчет устойчивости подпорной стены из габионов по защите берегов Цимлянского водохранилища от разрушений / А. И. Тищенко, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев, В. Ц. Челахов // Экология и водное хозяйство. – 2019. – № 2(2). – С. 81-99. – DOI 10.31774/2658-7890-2019-2-81-99. – EDN HUNJMG.
5. Ламердонов, З. Г. Методические рекомендации по определению деформаций и классификационные показатели цилиндрических габионов / З. Г. Ламердонов, К. Н. Дужак, И. А. Хамукова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2020. – № 3(29). – С. 68-74. – EDN AXSEBX.

CALCULATION OF STRENGTH OF REINFORCED STRUCTURES FROM GABIONS

**Trufanova Polina Sergeevna, Archipenko Tatyana Viktorovna,
2nd year students of the training direction 20.03.01 Technosphere safety**

Orenburg State University

Annotation. The work was performed at the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines (MMSM) Orenburg State University under the leadership of Ekaterina V. Poyarkova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the MMCM Department. This article discusses gabion structures and a method for calculating such structures reinforced with horizontal beams for

strength. The paper describes such types of gabion structures as box-shaped, mattress-mattress and cylindrical. The authors have identified the most common method of strengthening structures made of gabions, and also described the strength calculation for this method of strengthening using the example of a cylindrical gabion. The permissible maximum distance between horizontal beams has been revealed when they are used to strengthen the structure and ensure the reliability and durability of gabions. It is shown that gabion structures are now widely used in many spheres of human activity.

Keywords: gabion construction, gabion construction, gabion, reinforced structures, strengthening method, strength calculation.

ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА РЕКЛАМНОГО ЩИТА НА ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ

Тяпова Екатерина Владимировна, Шестакова Александра Сергеевна
22Арх(Б)Арх

Оренбургский государственный университет

Аннотация: В работе рассматриваются основные принципы расчета рекламных щитов на устойчивость к опрокидыванию от воздействия ветровых нагрузок. Проведена оценка ветровой нагрузки на рекламный щит в г. Оренбурге, осуществлен расчет веса фундамента билборда из условия устойчивости к опрокидыванию.

Работа выполнена **под руководством Дырдиной Елены Васильевны**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры механики материалов конструкций и машин Оренбургского государственного университета.

Ключевые слова: устойчивость к опрокидыванию, ветровая нагрузка, рекламный щит, опрокидывающий момент.

Рекламные щиты (билборды) являются самым распространенным видом наружной рекламы, располагаемой в непосредственной близости от автомагистралей и улиц больших и малых городов. Поскольку рекламные щиты используются долгосрочно, они должны выдерживать различные погодные явления, характерные для данного региона, в том числе и сильные ветра.

В большинстве случаев билборды состоят из рамы (каркас), которая обивается плоскими стальными листами, покрывается устойчивыми к погодным явлениям составами и крепится на опоре. Вид и габариты щитов могут быть произвольными, их конструкции рассчитываются исходя из проектно-конструкторской документации, включающей в себя расчёт ветровых нагрузок, электрической части для внутренней и внешней подсветки и т.д.

Преимуществом рекламных щитов является их заметность, а также быстрая установка, но у них также присутствует существенный недостаток (помимо их внешнего вида) — неустойчивость к ветровым нагрузкам.

Ежегодно фиксируются обрушения рекламных щитов из-за сильного ветра в различных городах планеты. Большое количество примеров таких аварий приведено на странице [1]. Подобные инциденты происходят систематически и часто приводят к жертвам, один из последних примеров - это обрушение огромного рекламного щита в Мумбаи, в результате которого пострадало 54 человека (май, 2024). Чаще всего причина заключается в погодных условиях и ветровой нагрузке, а также в неправильной установке рекламных щитов или допущении ошибок при проектировании таких конструкций. Поэтому вопрос оценки устойчивости рекламной конструкции к опрокидыванию при ветровых

нагрузках является весьма актуальным. Этой проблеме посвящено достаточно большое количество публикаций, например [2,3].

Авторами данной статьи выполнена оценка ветровой нагрузки на рекламный щит в г. Оренбурге (ветровой район Оренбурга — 3) и осуществлен расчет веса фундамента билборда из условия устойчивости к опрокидыванию.

Расчетная схема типичной конструкции рекламного щита показана на рисунке 1. Важнейшим элементом конструкции рекламного щита является фундамент. Именно он обеспечивает устойчивость всего билборда за счет смещения вниз центра тяжести конструкции: чем тяжелее фундамент, тем ниже центр тяжести.

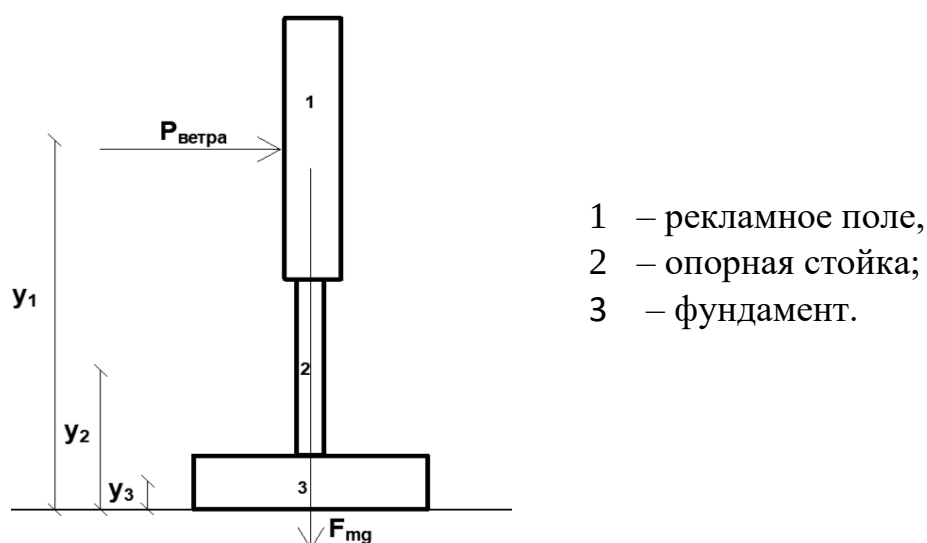


Рисунок 1 – Типичная конструкция рекламного щита

Положение центра тяжести всей конструкции определяем по формуле:

$$y_c = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

где

$m_1 = 650$ кг — масса рекламного поля;

$m_2 = 315$ кг - масса опорной стойки;

m_3 - масса фундамента;

y_c - высота центра тяжести.

При подстановке в эту формулу различных значений массы бетонного фундамента (от 1 тонны до 16 тонн) получается график зависимости y_c от m_3 (рисунок 2).

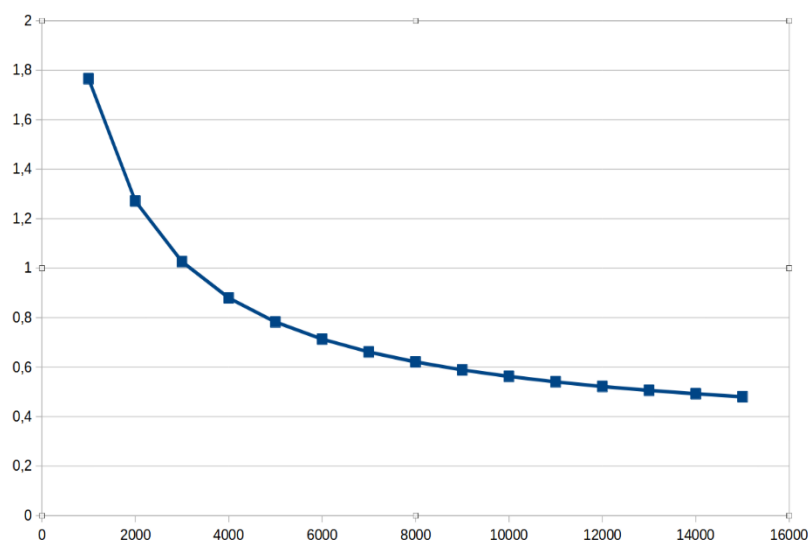


Рисунок 2 – График зависимости высоты центра масс конструкции (УС – расстояние от уровня подошвы фундамента до центра масс всей конструкции) от массы фундамента (m³)

Анализируя полученные расчеты, пришли к выводу, что, для того чтобы центр тяжести данного рекламного щита располагался не выше высоты фундамента, его вес m_3 должен быть не меньше 8633 кг (при заданных габаритах).

Одним из основных воздействий на наружные рекламные и информационные конструкции является ветер. Любая наружная реклама, будь то отдельно стоящий щит, крышная установка или вывеска, украшающая фасад здания, должна изготавливаться и устанавливаться с обязательным учетом воздействия на нее ветровых нагрузок. Это поможет избежать печальных последствий и несчастных случаев в итоге обрушения рекламных конструкций, а также оградят рекламодателей от существенного материального ущерба.

Расчет ветровых нагрузок выполнялся в соответствии с СП 20.13330.20111 «Нагрузки и воздействия» [4].

Динамическое давление ветра на поверхность рекламного щита определяется по формуле:

$$P = \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

где $\rho = 1.225$ кг/м³ - плотность воздуха (формула для определения плотности воздуха);

$g = 9.81$ м/с² - ускорение свободного падения;

$v = 30$ м/с - скорость ветра, воздействующая на поверхность рекламного щита для 3-го района на высоте 10 метров (согласно [4] ветровой район Оренбурга — 3).

Подставив числовые данные, получим, что динамическое давление ветра на поверхность рекламного щита в рассматриваемом случае составит $P=56$ кгс/м².

Максимальная полная ветровая нагрузка на наветренную максимальную поверхность S рекламного щита:

$$w_{max} = P \cdot s \cdot n \cdot c,$$

где

P – динамическое давление ветра;

s – площадь рекламного поля (в рассматриваемом примере $S = 18 \text{ м}^2$);

$c = 1.2$ – аэродинамический коэффициент поверхности;

$n = 1.5$ – коэффициент учитывающий динамическую составляющую ветровой нагрузки.

Подставив числовые данные, получим значение максимальной полной ветровой нагрузки для максимальной наветренной поверхности рекламного щита:

$$W_{max} = 1814,4 \text{ кгс.}$$

Условие устойчивости рекламного щита к опрокидыванию от действия ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$k = \frac{M_1}{M_2} \geq 1.4$$

где M_1 – момент, удерживающий рекламный щит. Равен весу фундамента + вес рекламного щита, умноженные на плечо удержания.

M_2 – момент, опрокидывающий рекламный щит:

$$M_2 = w_{max} \cdot H$$

H – высота рекламного щита от центра места приложения ветровой нагрузки до земли.

Подставляя в эту формулу значения, соответствующие рассматриваемой конструкции, получили $k=1,6$. Таким образом, коэффициент устойчивости больше минимального значения, значит конструкция достаточно устойчива.

Если взять вес фундамента ниже значения, полученного выше, например, 4000 кг, то $k=0,8$, следовательно конструкция будет неустойчивой и опрокидывающий момент приведет к падению конструкции.

Устойчивость рекламного щита к опрокидыванию улучшится также при увеличении площади опирания фундамента, так как плечо удерживающего момента силы будет больше.

В настоящее время расчет строительных конструкций, в том числе рекламных щитов, можно произвести онлайн при помощи специальных калькуляторов, которые используют методики инженерного расчёта, в соответствии соответствующими строительными нормами и правилами, например [5, 6, 7]. Однако необходимо отметить, что ответственность за полученные результаты несет пользователь этих систем. Компетентность же

пользователя определяется его способностью выполнить необходимые тестовые расчеты «вручную» и убедиться в достоверности получаемых результатов.

Список использованной литературы

1. Падение рекламного щита. – Режим доступа: https://cyclowiki.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%89%D0%B8%D1%82%D0%B0 (дата обращения: 25.05.2024).
2. Шарапов Р.В. Оценка ветровой нагрузки на рекламные щиты / Шарапов Р.В. /Сборник трудов ИТНТ-2019 Математическое моделирование физико-технических процессов и систем. – 2019. – С. 131-138.
3. Каверзнева, Т. Т. О необходимости инспекционного контроля за состоянием щитов в эксплуатационный период / Т. Т. Каверзнева, И. П. Николаева / Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, 19-21 апреля 2018 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2018. – С. 128-133.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07- 8
5. Строительные калькуляторы KALK.PRO®. – Режим доступа: <https://kalk.pro/nagruzki/ustojchivost-na-oprokidyvanie/> (дата обращения: 25.05.2024).
6. Строительный сайт ProstoBuild. – Режим доступа: <https://prostobuild.ru/onlainraschet/260-raschet-na-oprokidyvanie-onlayn.html> (дата обращения: 27.05.2024).
7. НИОКР в машиностроении. – Режим доступа: https://www.high-expert.ru/calcs_online/online-wind-surface.html (дата обращения: 27.05.2024).

PRINCIPLES OF CALCULATING THE BILLBOARD FOR WIND LOADS

Tyapova Ekaterina Vladimirovna, Shestakova Alexandra Sergeevna
22Arch(B)Arch

Abstract: *The paper examines the basic principles of calculating billboards for resistance to overturning under the influence of wind loads. An assessment of the wind load on a billboard in Orenburg was made, and the weight of the billboard foundation was calculated based on the condition of resistance to overturning.*

Key words: *resistance to overturning, wind load, billboard, overturning moment.*

РОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ ТИПА ТАНСЕГРИТИ

**Дырдина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент
Попова Олеся Сергеевна, Регентова Ирина Константиновна, Будагова
София Вячеславовна, Барышова Анастасия Витальевна, бакалавриат, 2
курс**

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье рассматривается использование принципа самонапряженных конструкций — тансегрити — в архитектуре и строительстве. Понятие тансегрити характеризуется в архитектуре как совокупность взаимосвязанных элементов, работающих только на растяжение или сжатие. Термин образован из двух слов: *tension* (растяжение) и *integrity* (целостность), что подчеркивает особенность таких конструкций — их целостность обеспечивается за счет предварительного растяжения элементов. Идею самонапряженных конструкций можно рассматривать как бионический подход, который использует природные структуры для создания инженерных сооружений. В статье анализируется роль центра тяжести в подобных системах, а также рассматриваются основные принципы проектирования и устойчивости тансегрити.

Ключевые слова: тансегрити, нагрузка, устойчивость, центр тяжести, сжатие, растяжение, сила, устойчивость, напряжение.

Введение

На сегодняшний день известно несколько широко принятых определений конструкции типа тансегрити. Одно из первых описаний было дано Ричардом Бакминстером Фуллером, который охарактеризовал тансегрити как «костровую напряжения в океане сжатия». По определению Р. Мотро, тансегрити — это система, находящаяся в равновесном состоянии и содержащая набор элементов, работающих только на сжатие и растяжение. Р.Е. Скелтон сформулировал определение тансегрити как устойчивой конструкции, состоящей из соединенных в узлах сжатых стержней.

Конструкции тансегрити — это самонапряженные устойчивые пространственные системы, находящиеся в равновесии под действием внешних нагрузок. Они состоят из дискретных сжатых элементов — стоек или распорок, а также из натянутых элементов, таких как ванты или тросы. Важной особенностью является то, что сжатые элементы не соприкасаются друг с другом, что позволяет конструкции оставаться легкой и устойчивой.

Основные принципы конструкции тансегрити

Концепция тансегрити основывается на нескольких простых принципах проектирования:

- нагруженные элементы находятся либо в состоянии чистого сжатия, либо чистого растяжения. Это предотвращает разрушение конструкции вследствие обрыва тросов или потери устойчивости стержней;
- предварительное напряжение придает тросам жесткость как при работе на растяжение, так и на сжатие;
- конструкция обладает механической устойчивостью, позволяющей элементам оставаться в растянутом или сжатом состоянии даже при увеличении напряжений.

Преимущества конструкций тансегрити включают легкость, эффективное использование элементов, устойчивость к внешним воздействиям, возможность включения дополнительных элементов для повышения жесткости, а также высокую транспортабельность и удобство монтажа.

Однако конструкции тансегрити имеют и недостатки:

- возможность работы только под относительно невысокими нагрузками;
- необходимость обязательного предварительного напряжения;
- специфические аэродинамические свойства;
- отсутствие нормативной документации, регламентирующей проектирование и монтаж.

Равновесие и центр тяжести в конструкциях тансегрити

Для понимания работы конструкций тансегрити важно рассмотреть условия равновесия. Если объект находится в состоянии покоя (равновесия), на него не действуют суммарные силы и моменты. Это выражается в двух уравнениях:

$$\begin{aligned}\vec{F}_{\text{net}} &= \vec{0}, \\ \vec{M}_{\text{net-0}} &= \vec{0}.\end{aligned}$$

Первое уравнение означает, что сумма всех сил, действующих на объект, равна нулю. Второе — что суммарный момент относительно любой точки также равен нулю.

Рассмотрим более подробно момент силы. Момент силы — это произведение силы на плечо (расстояние от точки вращения до линии действия силы). Например, если приложить силу к рычагу, она создаст вращающий момент. В конструкции тансегрити моменты сил должны быть сбалансированы, чтобы система оставалась в равновесии.

Пример анализа сил в конструкции тансегрити

Рассмотрим упрощенную модель тансегрити, представленную на рисунке 1. В конструкции действуют три основные силы:

- сила тяжести ($m\vec{g}$), направленная вниз и приложенная к центру тяжести платформы.
- сила натяжения ($\vec{T}_1$), направленная вверх слева.
- сила натяжения ($\vec{T}_2$), направленная вниз справа.

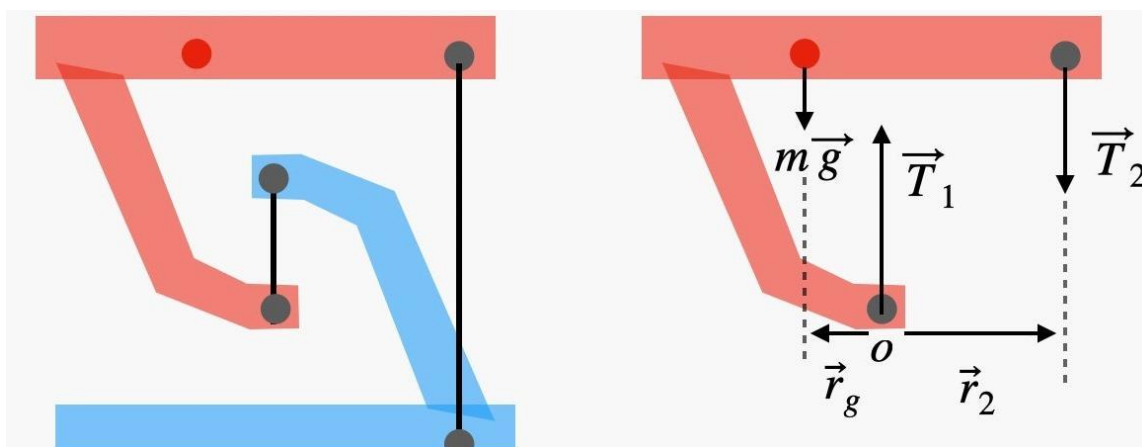


Рисунок 1 – Упрощенный вид конструкции тансегрити сбоку и отдельная диаграмма сил

Для равновесия по вертикали выполняется уравнение:

$$T_1 - mg - T_2 = 0$$

Для равновесия моментов относительно точки опоры:

$$mgr_g - T_2 \cdot r_2 = 0$$

где r_g и r_2 – расстояния от точки опоры до точек приложения сил.

Из уравнений видно, что центр тяжести тансегрити и направленное вниз усилие T_2 должны находиться на противоположных сторонах центральной подвески, чтобы обеспечить устойчивость конструкции.

Значение центра тяжести и перспективы применения

Центр тяжести играет ключевую роль в обеспечении устойчивости тансегрити. Правильное расположение центра тяжести относительно натяжных элементов позволяет конструкции эффективно распределять нагрузки и сохранять равновесие.

Предполагается, что в будущем использование теории тансегрити будет расширяться в инженерных науках, включая мостостроение и архитектуру. Конструкции тансегрити эффективно работают на растяжение и сжатие, а также на изгиб, что позволяет рационально использовать строительные материалы и снижать их расход.

Рост стоимости материалов и необходимость повышения эффективности конструкций стимулируют использование подобных инновационных решений, обеспечивающих легкость, прочность и устойчивость сооружений.

В статье рассмотрены основные принципы работы и проектирования конструкций тансегрити, с акцентом на роль центра тяжести. Анализ равновесия сил и моментов показал, что правильное расположение центра тяжести

относительно натяжных элементов обеспечивает устойчивость системы. Конструкции тансегрити обладают рядом преимуществ, таких как легкость, устойчивость и экономичность, что делает их перспективными для применения в современных инженерных и архитектурных задачах.

Список использованной литературы

1. Буреев А. К. Методы поиска форм тенсегрити-структур / А. К. Буреев, И. Г. Овчинников // Сборник материалов XVIII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» (29-30 июня 2017 г.). – Тула : ТулГУ. – 2017. – С. 36-41.
2. Кокодеев, А. В. Исследование возможностей применения самонапряженных конструкций («Тенсегрити») при создании транспортных сооружений / А. В. Кокодеев, И. Г. Овчинников / Инновации и исследования в транспортном комплексе: Сборник трудов III Международной научно-практической конференции в год 70-летия Победы в Великой Отечественной войне, 4-5 июня, 2015 г.. – Курган. – 2015. – С. 134-141.
3. Овчинников, И. Г. Самонапряженные конструкции «тенсегрити» / И. Г. Овчинников, А. В. Кокодеев // Сборник трудов 15-ой Международной научно-технической конференции: «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии», 30 июня – 3 июля 2015 г.– Тула: ТулГУ. – 2015. – С.80-81.

THE ROLE OF CENTER OF GRAVITY POSITION IN TENSEGRITY-TYPE STRUCTURES

**Dyrdina Elena V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Popova Olesya S., Regentova Irina K., Budagova Sofia V.,
Baryshova Anastasia V., Bachelor's degree, 2nd year**

Orenburg State University

Abstract. *This article discusses the use of the principle of self-stressed structures — tensegrity — in architecture and construction. The concept of tensegrity is characterized in architecture as a set of interconnected elements working only in tension or compression. The term is derived from two words: tension and integrity, emphasizing the peculiarity of such structures — their integrity is ensured by the pre-tensioning of the elements. The idea of self-stressed structures can be viewed as a bionic approach that utilizes natural structures for creating engineering constructions. This article analyzes the role of the center of gravity in such systems and also considers the main principles of design and stability of tensegrity.*

Keywords: *tensegrity, load, stability, center of gravity, compression, tension, force, equilibrium, stress.*

СЕКЦИЯ 7



«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Батталов Егор Римович, студент бакалавриата, 2 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация: в данной статье рассмотрены способы применения искусственного интеллекта и применение новых технологий фотовидеофиксации для регистрирования случаев нарушения требований промышленной безопасности и требований охраны труда на производственных объектах. Доказано, что применение технологий искусственного интеллекта (здесь и далее ИИ) повышает культуру безопасности на производственных объектах, а также способствует решению проблемы обеспечения соблюдения требований промышленной безопасности и охраны труда на строительных объектах. В работе рассмотрено использование систем контроля соблюдения предписаний повышения безопасности труда рабочих, а также комплексы для общей подготовки и акклиматизации сотрудников.

Ключевые слова: перспективы, искусственный интеллект, безопасность, СИЗ, промышленная безопасность, производственные объекты, охрана труда.

Как известно, основными задачами государственной политики в области промышленной безопасности являются:

1. обеспечение непрерывной актуализации требований промышленной безопасности с учетом развития технологий, применяемых на опасных производственных объектах;
2. сближение требований промышленной безопасности в рамках Евразийского экономического союза и других межгосударственных объединений, формируемых при участии Российской Федерации;
3. развитие риск-ориентированных методов федерального государственного надзора в области промышленной безопасности;
4. разработка законодательной и нормативной базы для создания и внедрения системы государственного дистанционного мониторинга состояния промышленной безопасности, предусматривающей автоматизированный сбор, фиксацию, обобщение, систематизацию и оценку информации о значениях параметров технологических процессов на опасных производственных объектах, определяющих состояние промышленной безопасности;
5. совершенствование нормативно-правового и методического обеспечения экспертизы промышленной безопасности, повышение уровня независимости экспертов и экспертных организаций от заказчиков экспертизы;

6. обеспечение эффективной научно-технической поддержки деятельности уполномоченных органов в области промышленной безопасности;
7. совершенствование системы повышения квалификации работников органов государственного надзора и работников организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности;
8. совершенствование требований к подготовке (обучению) и аттестации (проверке знаний) руководителей и работников организаций, осуществляющих эксплуатацию и обслуживание опасных производственных объектов;
9. развитие методов анализа опасности и оценки риска аварий на опасных производственных объектах;
10. развитие и расширение использования информационных технологий, позволяющих осуществлять взаимодействие с эксплуатирующими организациями, оптимизировать процессы получения, хранения и анализа информации о производственном контроле и системах управления промышленной безопасностью, авариях и инцидентах в эксплуатирующих организациях;
11. повышение роли института обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте в обеспечении промышленной безопасности;
12. совершенствование механизмов установления охранных зон опасных производственных объектов и обеспечения соблюдения особых условий использования данных территорий;
13. разработка комплекса мер по выводу (перебазированию) из густонаселенных районов Российской Федерации либо ликвидации опасных производственных объектов, функционирование которых создает систематическую угрозу жизнедеятельности человека, социально-экономическому развитию районов Российской Федерации;
14. совершенствование правовых механизмов дисциплинарной и административной ответственности за нарушения требований промышленной безопасности, механизмов стимулирования деятельности по повышению уровня безопасности;
15. развитие системы профилактики нарушений обязательных требований промышленной безопасности;
16. внедрение механизмов общественного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности;
17. реализация международных договоров, соглашений и конвенций в области промышленной безопасности, участницей которых является Российская Федерация;
18. участие специалистов Российской Федерации в деятельности международных организаций и объединений, занимающихся вопросами обеспечения и регулирования промышленной безопасности;
19. активизация международного сотрудничества между национальными органами регулирования, организациями, научными институтами с целью повышения уровня промышленной безопасности,

сближения подходов к обеспечению и регулированию промышленной безопасности, а также обеспечения оперативного и постоянного обмена информацией об авариях на опасных производственных объектах, последствия которых могут носить трансграничный характер;

20. оказание содействия в становлении и развитии национальных систем регулирования промышленной безопасности в странах, использующих или намеревающихся использовать российские промышленные технологии;

21. повышение информированности населения о состоянии промышленной безопасности.

Если сначала искусственный интеллект рассматривался как способ повысить эффективность производства, то теперь он становится инструментом, который может сделать труд еще безопаснее: алгоритмы следят, чтобы сотрудники носили средства защиты, обучают новым навыкам и управляют предприятиями. Вот несколько примеров.

Компьютерное зрение.

Там, где существует угроза жизни и здоровью человека, сотрудникам выдают средства индивидуальной защиты (СИЗ), то есть экипировку, которая минимизирует риск травм, интоксикации или облучения. Впрочем, как показывает практика, люди неохотно соблюдают правила безопасности, поэтому ношение СИЗ нужно постоянно контролировать.

Кто будет этим заниматься? Привлекать отдельного сотрудника неэффективно: он может отвлечься и пропустить нарушение. А вот искусственный интеллект и обходится дешевле, и работает эффективнее. Заточенные под эту задачу алгоритмы есть, например, у российской компании VisionLabs. (рисунок 1).

Они построены на основе сверточных нейронных сетей и позволяют следить за ношением касок, капюшонов, перчаток и жилетов — базовых элементов СИЗ на многих предприятиях. Если сотрудник появится на рабочем месте без защиты, система отправит оповещение в ответственные службы.

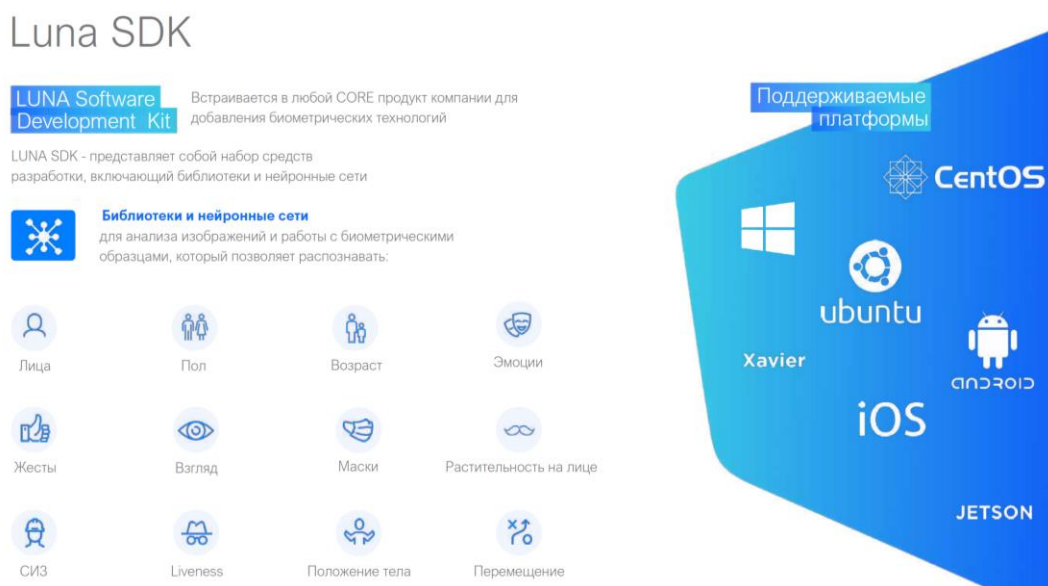


Рисунок 1 – Презентация Vision Labs

Отслеживание СИЗ — не единственный способ снизить травмоопасность производства. Система контроля опасных зон SmartTeam, (рисунок 2), созданная отечественным разработчиком и интегратором промышленных цифровых решений Ctrl2GO Solutions, контролирует перемещения рабочих, в том числе учитывая их уровень допуска, и тем самым предупреждает ситуации, которые могут привести к несчастному случаю.

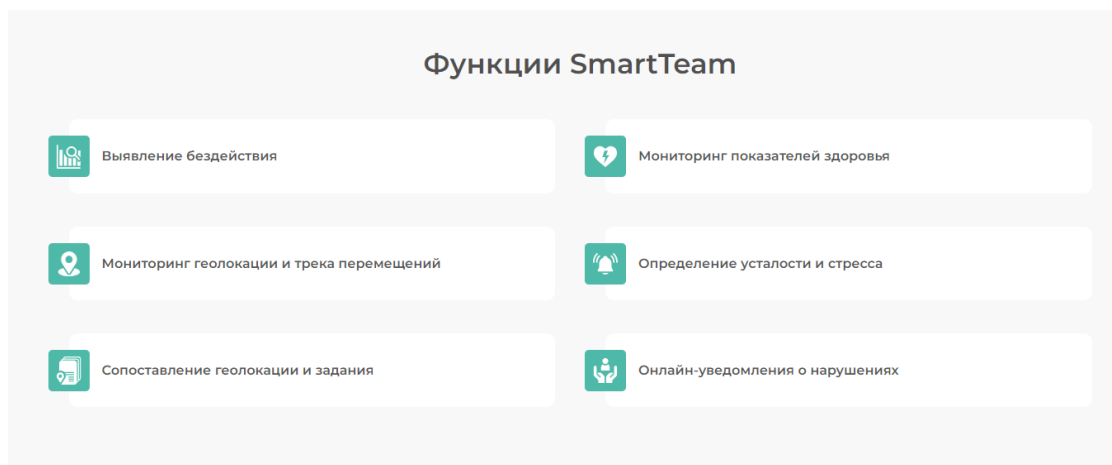


Рисунок 2 – Функции SmartTeam

Дополненная и виртуальная реальность.

В промышленных условиях бывает трудно обучать персонал или проводить техническое обслуживание. Кроме того, чем сложнее механизм, тем больше требуется ресурсов — как времени, так и денег.

Один из способов упростить процесс обучения, сэкономить и обезопасить себя от несчастных случаев — использовать дополненную реальность.

Именно так компания Boeing обучает механиков сборке и установке шасси на самолеты. Они работают с цифровыми двойниками воздушных судов (их полными виртуальными трехмерными копиями) с помощью умных очков, оснащенных модулем речевого взаимодействия с глубоким обучением, и быстро получают обратную связь от менторов.

Несмотря на то, что новички работают с виртуальными копиями, полученный опыт не отличается от практики с использованием реальных объектов.

В статье, опубликованной в журнале Sensors, авторы приводят в пример один из наиболее эксплуатируемых самолетов в мире (всего летает более 10 тысяч машин) — Boeing-737. Один рейс такого воздушного судна обходится авиакомпании в 2180 долларов в час. Соответственно, когда самолет остается на земле для технического обслуживания и ремонта, это не приносит денег и стоит еще дороже.

Дополненная реальность — это эффективный способ обучить сотрудников и сэкономить деньги, поскольку настоящий самолет для этого не нужен.

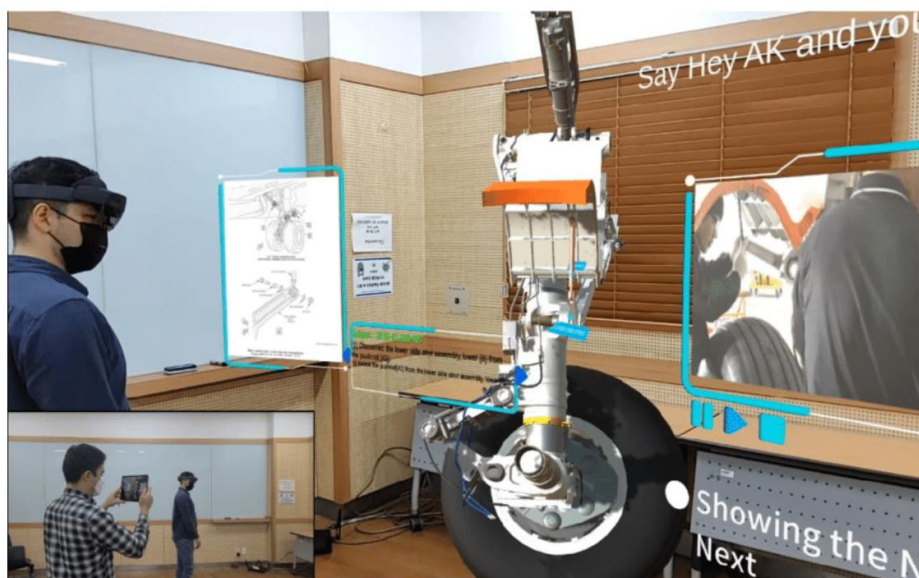


Рисунок 3 – Обучение техническому обслуживанию шасси Boeing 737 на основе смешанной реальности Aziz Siyaev, Geun Sik Jo

Обучение в дополненной и виртуальной реальности развивается и в России. Благодаря гибкости технологий, применение им находится в самых разных сферах: от ЖКХ до атомной энергетики.

В 2020 году холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех представил тренажер для отработки нештатных ситуаций в системе водоснабжения, использующий обе технологии. Разработка позволяет достоверно моделировать аварии и отрабатывать их устранение. Пилотные испытания должны пройти в Нижнем Новгороде. Новые сотрудники главной насосной станции будут обучаться на ее виртуальной модели — это должно не только ускорить их подготовку, но и увеличить срок службы действующего оборудования.

Похожая разработка для обучения сотрудников используется на Ленинградской АЭС-2. VR-тренажер позволяет моделировать шесть различных сценариев для обучения и включает более 500 моделей оборудования, инструментов и объектов. По мнению концерна «Росэнергоатом», тренажер должен повысить качество подготовки сотрудников, а также сократить риск травм и несчастных случаев.

Дополненная реальность хорошо проявляет себя в обучении сотрудников, но это не единственное ее применение. В 2021 году компания «Газпром нефть» в рамках проверки технологии провела шеф-монтажные работы, используя очки с технологией дополненной реальности и разработанную в России платформу дополненной реальности «ИКСАР» (рисунок 3).

За работой сотрудника на месте удаленно наблюдал специалист, который выводил инструкции на экран очков, таким образом сводя к минимуму ошибки. Теперь компания планирует внедрить технологию более чем на 100 площадках.

Как работает платформа?

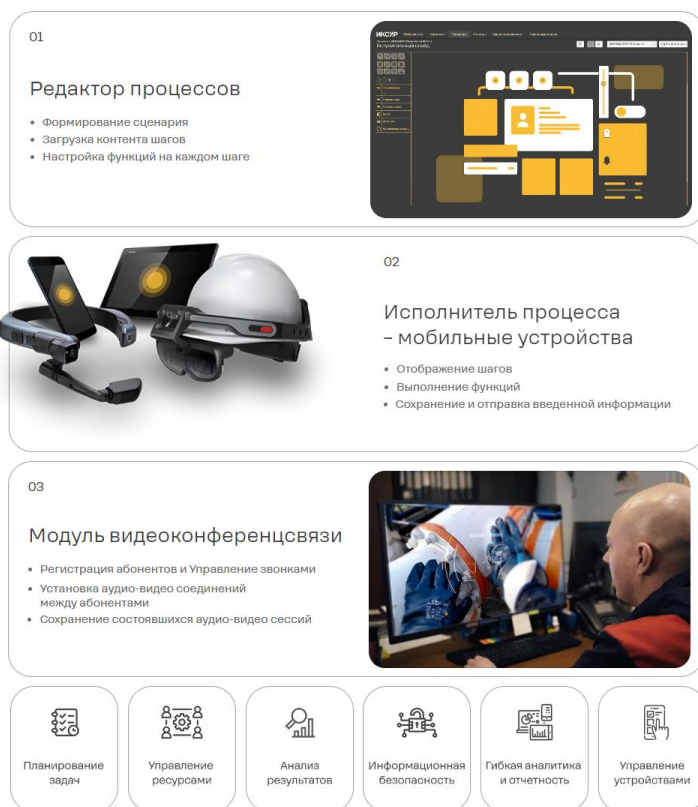


Рисунок 4 – Программная платформа ИКСАР для создания и выполнения различных сценариев работы производственного персонала и «полевых» сотрудников в AR очках

Промышленный интернет вещей.

Время от времени на любом производстве ломается оборудование. Компании необходимо проводить плановое техническое обслуживание, иначе сложный механизм просто не работает из-за нехватки ресурсов или свободных рук. Незапланированные простои обходятся промышленным производителям примерно в 50 млрд. долларов в год.

Избежать неожиданных расходов, как правило, помогает профилактическое обслуживание. И теперь для этой цели компания может использовать промышленный интернет вещей: с помощью датчиков и машинного обучения производственные и промышленные процессы отслеживаются в реальном времени, превращая обыкновенное предприятие в умный завод. Система объединяет данные о состоянии оборудования, рабочих процессах и перемещениях людей. На основе этой информации она формирует прогноз и в случае возможной кризисной ситуации предупреждает руководителей и рабочих.

Например, система мониторинга и предиктивного анализа состояния промышленного оборудования SmartDiagnostics, разработанная Ctrl2GO Solutions, собирает данные телеметрии с датчиков, установленных на оборудовании, информацию внешних факторах, таких как температура и давление, а также данные АСУ ТП. Все это обрабатывается с помощью

машинного обучения и позволяет заранее обнаруживать риски аварий и планировать техническое обслуживание. Согласно данным компании, благодаря системе значительно уменьшается число аварийных остановок.

Доля компаний, внедряющих ИИ, к концу 2022 года стабилизировалась. Предприятия, которые применяют такие решения, добились снижения затрат и увеличения доходов. Ключевыми областями применения ИИ в бизнес-сфере являются автоматизация процессов, компьютерное зрение и виртуальные агенты.

В целом, согласно результатам ежегодного исследования, доля компаний, внедривших ИИ в 2022 году, увеличилась более чем вдвое по сравнению с 2017 годом. Российские компании стараются не отставать от мировых трендов, в том числе и в сфере применения ИИ. Объем российского рынка искусственного интеллекта в 2022 год достиг 647 млрд рублей, что на 17,3% больше, чем годом ранее. Эти данные приводятся в исследовании, которое аналитики Центра компетенций НТИ по направлению «Искусственный интеллект» на базе МФТИ представили в июле 2023 года.

Согласно проведенному анализу, к началу 2024 года в России насчитывалось порядка 400 компаний, работающих в сфере искусственного интеллекта. Среди них:

- 77 разработчиков инструментов бизнес-аналитики;
- 76 разработчиков технологий компьютерного зрения;
- 55 разработчиков решений в сфере обработки естественного языка;
- 54 медицинских проекта;
- 49 разработчиков ПО для анализа данных.

Множество разработок этих компаний используют в работе отечественные промышленные предприятия.

Ниже представлены успешные примеры внедрения искусственного интеллекта в области охраны труда в Российской Федерации.

Так, ИИ следит за безопасностью работников Быстринского ГОКа (входит в Норникель). Искусственный интеллект, разработанный специально для предотвращения несчастных случаев, распознает отсутствие необходимых средств защиты на работниках и сигнализирует руководству. Он имеет дополнительный модуль Face ID, идентифицирующий персонал по лицу. Участки дробления, измельчения, сушки, отгрузки готовой продукции, технологический участок и центральные ремонтно-механические мастерские находятся под круглосуточным видеонаблюдением.

Разработка следит за наличием у работников спецодежды, защитных касок с обязательным применением подбородочного ремня, защитных очков и других средств защиты. Скоро она сможет распознавать и фиксировать использование страховочной привязи при выполнении работ на высоте. Сейчас подобный искусственный интеллект, отвечающий за безопасность, внедрен на нескольких предприятиях Норильского и Кольского дивизионов Норникеля.

В августе 2023 года ММК (Магнитогорский металлургический комбинат) завершил проект по внедрению системы предотвращения нахождения персонала в опасных зонах. Решение, основанное на технологии машинного зрения,

позволяет за счет фиксации перемещений работников повысить безопасность и снизить риски производственного травматизма.

Специалисты коксового цеха и дирекции охраны труда и промышленной безопасности определили места, где работникам может грозить какая-либо опасность. Далее на коксовых машинах установили специальные датчики, которые определяют расстояние, на котором сотрудник находится от включенного оборудования. При сближении коксовых машин с работником на радиометку, выданную ему в начале смены, поступает вибросигнал. В этот же момент на коксовой машине включается световая и звуковая сигнализация и происходит блокировка ее механизмов. А для удобства идентификации работника применяются персональные RFID-метки (транспондеры), нанесенные на каску.

Росэнергоатом (входит в госкорпорацию «Росатом») начал внедрение системы умной видеоаналитики еще в 2019 году на Кольской АЭС. Проект позволяет контролировать использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) на атомных электростанциях. Нейронная сеть анализирует видео с камер наблюдения, тем самым полностью автоматизируя выявление нарушений при применении СИЗ в производственных помещениях, где находятся действующие электроустановки. Система позволяет выявлять и регистрировать 95-98% нарушений, сократить количество несчастных случаев в 8 раз.

Тот же Росэнергоатом в 2021 году испытал на Калининской АЭС новейший роботизированный комплекс противопожарной защиты с элементами искусственного интеллекта. Многофункциональный робототехнический комплекс противопожарной защиты машинных залов атомных станций не имеет аналогов в России и в будущем его применение данных комплексов может быть распространено на электростанции традиционной энергетики, предприятия нефтегазовой, космической и других отраслей промышленности.

Для тушения пожаров эта система использует компрессионную пену. Она обволакивает горящую поверхность и образует плотное пенное покрытие, которое не позволяет проникать кислороду. Благодаря этому горение прекращается практически моментально и в разы сокращается время тушения пожара.

Российская компания Napoleon IT создала модель предсказания несчастных случаев в железнодорожной сфере. Перед этим была выявлена проблема: высокий процент инцидентов с отрицательными последствиями, вызванными определенным физическим или эмоциональным состоянием сотрудников.

За 15 лет были собраны личные и профессиональные данные сотрудников, данные о тренингах и обучении персонала, данные о состоянии материальной базы, используемой сотрудниками. На их основе удалось построить модель экстремального градиентного бустинга с точностью предсказания инцидента с конкретным сотрудником 80% и до 85%, указывая группу лиц, кто с большей степенью вероятности примет участие в инциденте.

Анализ больших объемов данных позволяет заранее просчитать и предсказать вероятность возникновения таких ситуаций и принять

соответствующие меры: усилить человека напарником в день рождения или вывести дополнительных людей в непогоду. Такие предиктивные модели хороши естественной возможностью повлиять на негативный исход и очень зарекомендовали себя.

Другая российская IT-компания – КРОК в 2019 году разработала программную платформу «Цифровой рабочий». Ее модули созданы в интересах руководителей предприятий и служб ОТиПБ, главных инженеров, директоров по производству и самих работников, которые трудятся в зонах риска. Система в режиме реального времени помогает следить за соблюдением правил охраны труда и промбезопасности, выявлять нарушения технологических процессов, предупреждать угрозы и оперативно оповещать заинтересованных лиц. В 2020 году платформа была обновлена. В новой версии особое внимание уделено аналитике данных, которые могут одновременно поступать с камер видеонаблюдения, «умных касок» и других датчиков. Решения компании были внедрены у таких гигантов как Газпромнефть, Сибур, Росэнергоатом, РусГидро, ФосАгро, Транснефть и Лукойл.

Это лишь малая часть решений, внедренных на отечественных предприятиях и касающихся охраны труда и промышленной безопасности. Развитие подобных технологий, которые могут повысить безопасность труда в стране, необходимо поддерживать и всячески поощрять. И здесь стоит подумать о коллаборации IT-компаний, производителей СИЗ, отраслевых ассоциаций, органов власти и, конечно, самих промышленных предприятий.

Список использованной литературы

1. Безопасность труда в строительстве [Электронный ресурс] : СП 12-136-2002. Решения по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ (утв. Постановлением Госстроя РФ от 17.09.2002 № 122). – URL: <https://base.garant.ru/12129183/?ysclid=lmnuuu41v767750252>. (дата обращения: 25.05.2024).
2. Горина Л.Н. Преддипломная практика по направлению подготовки бакалавров «Техносферная безопасность»: учеб.-методическое пособие / Горина Л.Н. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2019. –107 с.
3. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 (ред. от 16.02.2023). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45914/ (дата обращения: 25.05.2024).
4. О принятии строительных норм и правил Российской Федерации «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» [Электронный ресурс] : Постановление Госстроя РФ от 23.07.2001 № 80 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 09.08.2001 № 2862). СНиП 12-03-2001. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33017 (дата обращения: 25.05.2024).

5. О принятии строительных норм и правил Российской Федерации «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство» [Электронный ресурс]: Постановление Госстроя России от 17.09.2002 № 123. СНиП 12-04-2002. (Зарегистрировано в Минюсте России 18.10.2002 № 3880). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_39357/. (дата обращения: 25.05.2024).

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A WAY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL SAFETY AT PRODUCTION FACILITIES

Poyarkova Ekaterina Vasilievna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Battalov Egor Rimovich, 2nd year student

Orenburg State University

Abstract: *This article discusses the ways of using artificial intelligence and the use of new photo-video recording technologies to register cases of violations of industrial safety and labor protection requirements at production facilities. It is proved that the use of artificial intelligence technologies (hereinafter AI) increases the safety culture at production facilities, as well as contributes to solving the problem of ensuring compliance with industrial safety and labor protection requirements at construction sites. The paper considers the use of systems for monitoring compliance with regulations to improve worker safety, as well as complexes for general training and acclimatization of employees.*

Keywords: *prospects, artificial intelligence, safety, PPE, industrial safety, production facilities, labor protection.*

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ЕМКОСТИ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ВМЯТИНЫ НА КОРПУСЕ

Мустафина Элиза Разифовна

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация. В настоящее время технологические емкости находят широкое применение в различных технологических процессах нефтепереработки и нефтехимии. В определенных случаях на корпусах емкостного оборудования можно наблюдать наличие дефектов механического характера, таких как вмятина. Дефекты такого типа являются дополнительными концентраторами напряжений и возможными зонами преждевременного разрушения оборудования. Поэтому представляет большой практический интерес изучение характера распределения зон повышенных напряжений в корпусах емкостного оборудования при наличии на них вмятин несколько больших размеров, чем регламентированных нормативной документацией.

Ключевые слова: емкость, корпус, вмятина, размеры, месторасположение, эксплуатационные нагрузки, нагрузки на штуцеры, максимальные напряжения

В настоящее время в ходе технического прогресса идет активное развитие 3D-моделирования и разработки цифровых двойников технических устройств опасных производственных объектов с целью прогнозирования их поведения в будущем от воздействия различных факторов [1-5].

В данной работе для проведения исследований выбрана технологическая емкость, которая представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд, состоящий из цилиндрической обечайки корпуса, двух эллиптических днищ, технологических штуцеров. Цилиндрическая обечайка в свою очередь состоит из трех обечаек сваренных между собой и имеющих различную длину: 2005 мм – левая обечайка; 600 мм – центральная обечайка; 1895 мм – правая обечайка. В нижней части правой обечайки присутствует отстойник размерами 325×12 мм с длиной обечайки 200 мм. Емкость установлена на двух седловых опорах, одна из которых подвижная, а другая является неподвижной, и имеет следующие параметры и характеристики: рабочее давление – 0,6 МПа; рабочая температура – плюс 30 °С; внутренний диаметр – 2400 мм; толщина цилиндрической обечайки – 14 мм; толщина стенки эллиптических днищ – 18 мм; материал обечайки, днищ, технологических штуцеров – сталь 09Г2С.

На первом этапе была построена 3D-модель емкости в программном комплексе «КОМПАС-3D». В верхней части цилиндрической обечайки была смоделирована вмятина правильной округлой формы с величиной прогиба 7 мм, равной половине толщины стенки обечайки корпуса и размером по поверхности, равного 300 мм (допустимый размер поверхности вмятины согласно требованиям нормативно-технической документации составляет 200 мм). Для того, чтобы изучить тенденцию изменения значений максимальных напряжений

и характер формирования зон концентрации повышенных напряжений при различном месторасположении вмятины, центр вмятины смещался по образующей корпуса относительно кромки правой обечайки на следующие величины: 500 мм, 950 мм, 1380 мм, 2200 мм, 3000 мм, 3500 мм, 4000 мм. 3D-модель емкости с вмятиной, а также месторасположение вмятины относительно кромки правой обечайки показаны на рисунке 1.

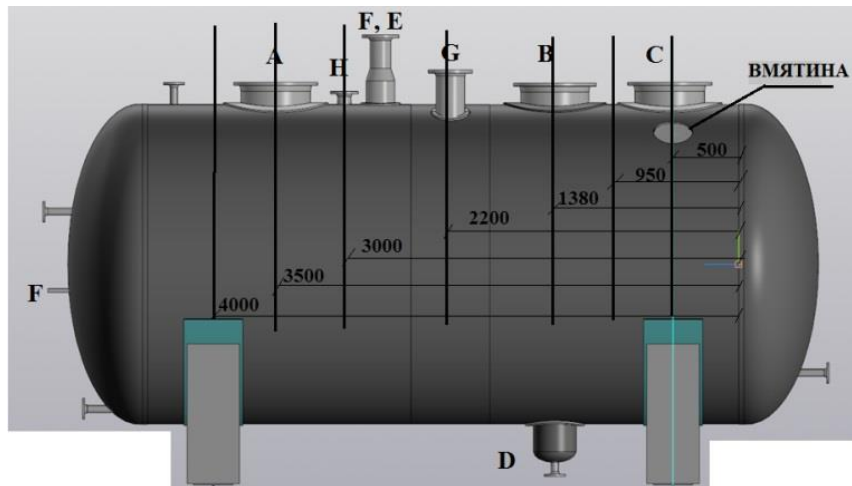


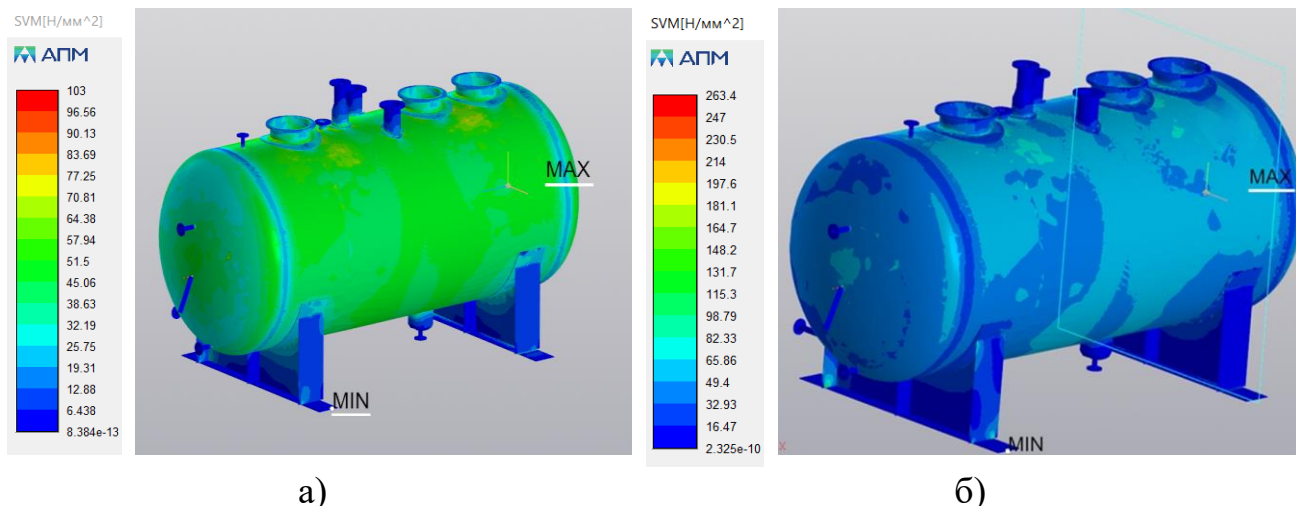
Рисунок 1 – 3D-модель емкости с вмятиной и вариантами месторасположения вмятины на корпусе

Также для проведения прочностного анализа были учтены значения нагрузок на технологические штуцеры А и С Ду500. В таблице 1 указаны значения нагрузок на вышеуказанные штуцеры согласно эксплуатационно-технической документации.

Таблица 1 – Значения нагрузок на штуцеры согласно эксплуатационно-технической документации

Обозначение	Условный проход, Ду	Значения нагрузок					
		Сила, Н			Моменты, Н·м		
		F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
А, С	500	6000	6000	8000	3600	3600	12000

Прочностной анализ проводился с использованием лицензионного программного комплекса «КОМПАС-3D» с интегрированной в него системой АРМ FEM для решения инженерных и исследовательских задач. На первом этапе был проведен прочностной анализ технологической емкости от воздействия рабочих давления и температуры без учета нагрузок на штуцеры, а также с учетом нагрузок на штуцеры А, С Ду500, но без учета наличия вмятины на корпусе. Результаты прочностного анализа приведены на рисунке 2а-б.



- а) – результаты без учета нагрузок на штуцеры А, С;
 б) – результаты с учетом нагрузок на штуцеры А, С

Рисунок 2 – Результаты прочностного анализа емкости от воздействия рабочих давления и температуры без учета и с учетом нагрузок на штуцеры, без учета наличия вмятины на корпусе

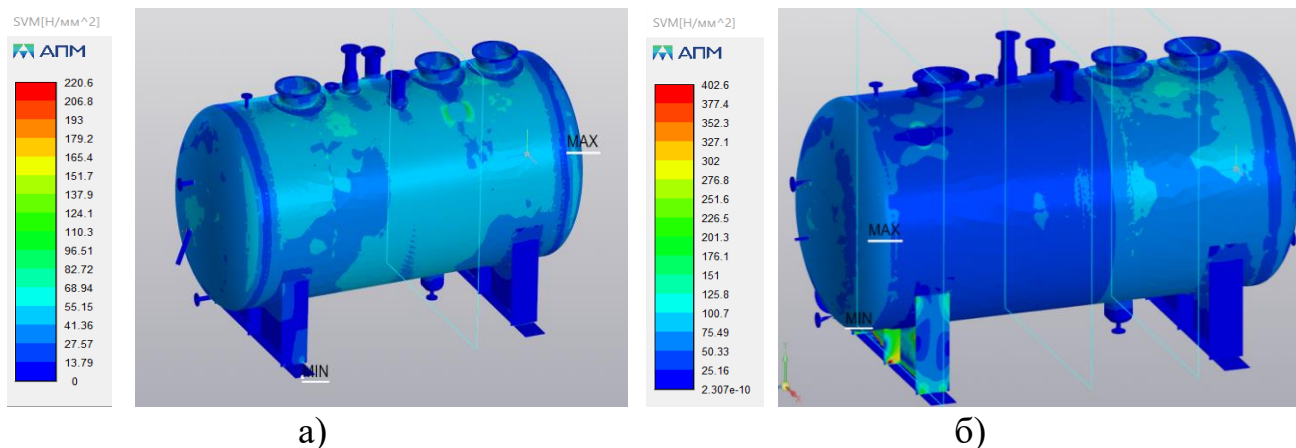
Следующим этапом было проведение прочностного анализа технологической емкости с учетом наличия вмятины, с вариантами её месторасположения на корпусе в соответствии с рисунком 1, без учета нагрузок на штуцеры.

Проведенные расчеты показали, что наибольшие значения напряжений без учета нагрузок на штуцеры, равные 402,6 МПа (что больше расчетного предела текучести при температуре 30 °С для стали 09Г2С, равного порядка 290 МПа) наблюдаются при варианте, когда центр вмятины расположен на образующей корпуса на расстоянии 4000 мм от кромки правой обечайки, а наименьшие значения максимальных напряжений, равные 220,6 МПа наблюдаются для варианта, когда центр вмятины расположен на образующей корпуса на расстоянии 1380 мм.

Вместе с тем, максимальные значения напряжений, больше значения расчетного предела текучести, характерны при вариантах, когда центр вмятины расположен на образующей корпуса на расстоянии 2200, 3000 и 3500 мм и составляют 323,6, 355,1 и 371,9 МПа соответственно.

Максимальные значения напряжений меньше значения расчетного предела текучести, наблюдаются при вариантах, когда центр вмятины расположен на образующей корпуса на расстоянии 500 и 900 мм от кромки правой обечайки и составляют 242,6 и 240,8 МПа соответственно.

На рисунке 3, а-б в качестве примеров приведены некоторые результаты расчетов.



а) – расстояние 1380 мм; б) – расстояние 4000 мм

Рисунок 3 – Результаты прочностного анализа корпуса емкости от воздействия давления и температуры с учетом наличия вмятины на корпусе на различном расстоянии от кромки правой цилиндрической обечайки корпуса без учета нагрузок на штуцеры

Далее, для самого неблагоприятного варианта с точки зрения максимальных напряжений, были проведены исследования по определению размеров вмятины, при которых значения максимальных напряжений составляли бы менее значения расчетного предела текучести. Проведенные расчеты показали, что напряжения равные 275,2 МПа, наблюдаются, когда размер поверхности вмятины составляет 150 мм и величина прогиба вмятины равна 4 мм. Также на штуцеры А и С были приложены нагрузки, значения которых приведены в таблице 1, и проведен прочностной анализ для вышеприведенных вариантов, когда значения максимальных напряжений получились меньше расчетного предела текучести без учета нагрузок на штуцеры. Результаты расчета показывают, что наибольшие напряжения в корпусе емкости с учетом нагрузок на штуцеры наблюдаются при варианте, когда центр вмятины расположен на образующей корпуса на расстоянии 900 мм от кромки правой обечайки, и равны 508,1 МПа.

Обобщая результаты проведенных исследований можно сделать общий вывод о том, что наличие вмятин на корпусах технологических емкостей способствуют значительному увеличению значений максимальных напряжений. Также на величину максимальных напряжений и характер распределения зон напряжений весомый вклад оказывают размеры вмятины, месторасположение вмятины и учет нагрузок на технологические штуцеры. Все вышеуказанные факторы можно использовать при разработке цифровых двойников емкостного оборудования с индивидуальными особенностями конструкции и эксплуатационными нагрузками с целью повышения надежности в процессе дальнейшей эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Закирничная, М. М. Прочностной анализ корпуса технологической емкости с учетом влияния штуцеров / М. М. Закирничная, А. В. Рубцов, А. Х. Габбасова, М. И. Баязитов, Р. Р. Тляшева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 582-590.
2. Rubtsov, A. V. Modeling the stressed-deformed state of a technological tank with a mechanical defect of type "dent" / A. V. Rubtsov, P. A. Kulakov, Z. R. Mukhametzyanov, M. I. Bayazitov, A. R. Farshatov // Journal of Physics: Conference Series. – 1515 (2020) 052053. – DOI:10.1088/1742-6596/1515/5/052053
3. Абдрахманова, К. Н. Верификация цифровой модели нагружением оболочки внутренним давлением до разрушения / К. Н. Абдрахманова, Р. Р. Тляшева, Д. Н. Шерматов, Р. О. Кадыров, В. А. Гафарова, Р. А. Гимаев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2022. – № 2. – С. 5-19.
4. Баязитов, М. И. Оценка напряженно-деформированного состояния центробежного компрессора в ротационно-динамической постановке / М. И. Баязитов, В. К. Бердин, А. В. Рубцов, Р. Р. Тляшева, М. М. Закирничная // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 551-557.
5. Баязитов, М. И. Применение метода цифрового прогнозирования напряженно-деформированного состояния оборудования при гидроиспытании корпуса теплообменника / М. И. Баязитов, Р. Р. Тляшева, Ю. С. Ковшова, И. Р. Кузеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 562-568.

STRENGTH ANALYSIS OF THE VESSEL CONSIDERING THE PRESENCE OF A DENT ON THE BODY

Elisa R. Mustafina,
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Abstract. *Currently, technological containers are widely used in various technological processes of oil refining and petrochemistry. In certain cases, mechanical defects, such as dents, can be observed on the housings of capacitive equipment. Defects of this type are additional stress concentrators and possible zones of premature destruction of equipment. Therefore, it is of great practical interest to study the nature of the distribution of areas of increased stresses in the bodies of capacitive equipment in the presence of dents on them of slightly larger sizes than those regulated by regulatory documentation.*

Keywords: capacity, body, dent, dimensions, location, operating loads, nozzle loads, maximum stresses

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Батталов Егор Римович, студент бакалавриата 2 курса

Оренбургский государственный университет

Аннотация: в статье рассмотрены актуальные проблемы производственной безопасности и пути их решения на объектах ООО «Газпромнефть-Оренбург» (ПАО «Газпром»), как флагмана промышленной отрасли Российской Федерации. Разобраны ключевые проблемы повышения культуры безопасности среди производств промышленной области.

Ключевые слова: промышленная безопасность, охрана труда, повышение эффективности, понижение рисков.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

Обеспечение промышленной безопасности (ПБ) и охраны труда (ОТ) на предприятиях является одной из важнейших задач, стоящих перед современным обществом. Несоблюдение требований промышленной безопасности и охраны труда приводит к несчастным случаям, травмам и заболеваниям сотрудников, а также к материальным потерям для предприятий. В связи с этим актуальным становится исследование проблем ПБ и ОТ, разработка новых методов и подходов к их управлению на предприятиях.

Актуальность текущего исследования обусловлена несоблюдением требований ПБ и ОТ на предприятиях, непониманием их критической важности и необходимостью контроля качества выполнения регламентов технической и производственной безопасности. Цель этой работы была фрагментирована на части, в которые входило:

- повышение интереса обучающихся образовательных организаций, стремящихся в ближайшее время попасть на рынок труда, к изучению требований промышленной безопасности;
- определение уровня значимости соблюдения требований промышленной безопасности и охраны труда, изучение методики проведения технического аудита и аудита по производственной безопасности, фиксация понимания важности техники безопасности не только на производственных объектах, но и в офисах;
- выявление наиболее эффективного метода соблюдения требований промышленной безопасности и техники безопасности у 100% сотрудников на производстве;
- рассмотрение основных задач государственной политики в области охраны труда и будущих перспектив промышленной безопасности, а также

предложение возможности использования искусственного интеллекта для более полного контроля соблюдения техники безопасности.

Новизна исследования заключается в комплексном подходе к изучению проблем промышленной безопасности и охраны труда на предприятиях, а также в предложении использования искусственного интеллекта для более полного контроля соблюдения техники безопасности, что позволит повысить эффективность управления охраной труда и промышленной безопасностью на производстве.

Практическая значимость результатов исследования определена в возможности их использования для разработки программ обучения по промышленной безопасности и охране труда, а также для совершенствования системы управления охраной труда и промышленной безопасностью на предприятиях.

В ходе работы были использованы кейсы по проведению аудитов производственной безопасности и дальнейшего контроля выполнения такими организациями как ООО «Газпромнефть-Оренбург», ООО «Сладковско-Заречная», ООО ПМ «Архитек».

Как ни парадоксально, но промышленное производство, обеспечивая жизнедеятельность государства и общества, одновременно является источником потенциальной опасности. От состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО), их противоаварийной устойчивости зависит не только надежное обеспечение общества и государства всеми видами ресурсов и продукции, но и непосредственно жизнь и здоровье граждан, поддержание нормальных условий для жизнедеятельности, сохранение окружающей среды.

К числу основных источников опасности, причин повышения аварийности относятся такие факторы, как:

- низкое качество проектных и технических решений;
- критический уровень износа основных производственных фондов;
- некачественное или несвоевременное выполнение работ по обслуживанию и ремонту;
- низкая (или недостаточная) квалификация персонала;
- технологическая и трудовая дисциплина;
- отсутствие эффективных стимулов для обновления основных фондов организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности.

Вместе с тем, усиливающееся негативное влияние техногенных факторов на население, производственную и социальную инфраструктуру и окружающую среду, увеличение риска возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций (в том числе ввиду террористических воздействий) на опасных производственных объектах представляют возрастающую угрозу жизнедеятельности человека, национальной безопасности, социально-экономическому развитию Российской Федерации.

При этом необходимость повышения уровня промышленной безопасности обусловлена следующими факторами:

- увеличением количества опасных производственных объектов с близкими к предельным или полностью исчерпанными техническими и технологическими ресурсами;
- необходимостью снижения непроизводительных затрат, связанных как с ущербом от аварий на опасных производственных объектах, так и с неоправданными административными барьерами при осуществлении предпринимательской деятельности в области промышленной безопасности;
- снижением уровня профессиональной подготовки административно-управленческого, технического и обслуживающего персонала, приводящим к росту нарушений требований промышленной безопасности;
- наличием отступлений от технических и технологических норм при производстве оборудования, технических систем (средств), а также от требований и условий, предусмотренных технической документацией, при проектировании, строительстве, эксплуатации, капитальном ремонте, реконструкции, консервации или ликвидации опасных производственных объектов.

Например, на объектах нефтяной добычи одной из самых распространенных причин аварий являются: разгерметизация технологического оборудования и дальнейший разлив топлива, износ основных производственных фондов отрасли, низкая квалификация персонала, отсутствие или недостаток культуры производства и его организации, а также игнорирование производственного надзора. Иногда тяжелые аварии провоцирует оборудование, изготовленное кустарным образом или несертифицированное, в том числе контрафактное. Часто работники нефтяной отрасли сталкиваются с такими проблемами, как дефицит инструментария для обнаружения разнообразных протечек, а также средств защиты против чрезвычайных ситуаций. Специалисты утверждают, что мелочей в их производственной деятельности не существует – любая, даже самая малая недоработка, в итоге приводит к серьезным техногенным авариям и инцидентам. Большое количество производственных происшествий различной тяжести происходят и на предприятиях горной промышленности, в том числе и на объектах, которые связаны с пользованием недр. По оценкам специалистов практически все шахты на территории Российской Федерации связаны с повышенной взрывопожароопасностью, проявлениями геодинамики пластов, а также выделением горючих и токсичных газов.

Анализ вышеизложенного позволяет сделать однозначный вывод о критической значимости соблюдения требований промышленной безопасности.

Обеспечение техники безопасности на строительных, производственных и промышленных объектах является основополагающим фактором для выполнения работ без экономических и экологических рисков, а также для снижения уровня травматизма среди сотрудников. Соблюдение требований промышленной безопасности способствует повышению эффективности выполнения работ, созданию оптимальных условий труда и отдыха для сотрудников, что, в свою очередь, повышает их вовлеченность и мотивацию к совершенствованию своих знаний и квалификаций.

В рамках выполнения данной исследовательской работы были проанализированы методики проведения аудитов производственной безопасности, методика развития производства в рамках 2023-2025 годов в компании ООО «Газпромнефть», представленная ранее на ежегодном форуме специалистов в области мониторинга строительного контроля в Санкт-Петербурге, а также новая методика под эгидой «Производственная безопасность как ключевой фактор развития производственных мощностей предприятий и компании Газпромнефть».

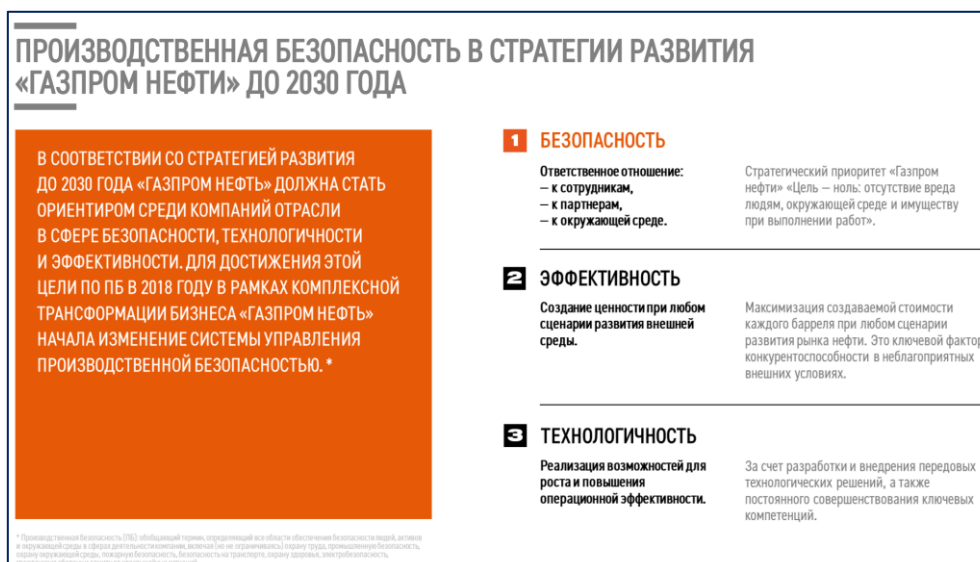


Рисунок 1 – Производственная безопасность в стратегии развития «Газпром Нефти» до 2030 года

Современная промышленная безопасность, как показано на рисунке 1, занимает ключевое место в стратегии развития таких крупных компаний, как «Газпром нефть». В рамках стратегии до 2030 года особое внимание уделяется не только обеспечению безопасности, но и повышению эффективности и технологичности процессов, что отражает комплексный подход к управлению рисками на производстве.

Анализируя содержание информации, представленной на рисунке 2, можно отметить, что текущий прогресс в решении стратегических проблем безопасности демонстрирует систематическую работу по снижению аварийности и повышению культуры безопасности. Это согласуется с мировыми тенденциями, где цифровизация и автоматизация играют решающую роль в контроле и мониторинге состояния производственного оборудования.

Дальнейшее развитие концепции безопасности раскрывается на рисунке 3, где представлено видение «Цели-Ноль» — стратегии, направленной на достижение нулевого уровня несчастных случаев и аварий. Этот подход отражает современные требования к промышленной безопасности, где ключевым становится проактивное управление рисками и использование цифровых инструментов для раннего выявления потенциальных угроз.



Рисунок 4 – Интегральный показатель производственной безопасности (ИППБ)



Рисунок 5 – Достижение стратегической цели

Система управления производственной безопасностью (СУПБ), изображённая на рисунке 6, представляет собой основу для реализации вышеуказанных стратегий и программ. В ней учитываются все ключевые компоненты: от нормативного регулирования до практических механизмов контроля и реагирования на инциденты. Это соответствует мировым стандартам ISO и рекомендациям ведущих экспертных организаций.

На рисунке 7 представлены основные уровни управления рисками, что подчеркивает структурированный подход к безопасности. Управление рисками становится неотъемлемой частью производственной деятельности, особенно в условиях цифровизации, когда возможности мониторинга и анализа данных значительно расширяются.

Исходя из выше изложенного задача производственной безопасности сводиться к ключевому фактору – снижению уровня травматизма и недопущение летального исхода при работе на объектах.



Рисунок 6 – Система управления производственной безопасностью (СУПБ)

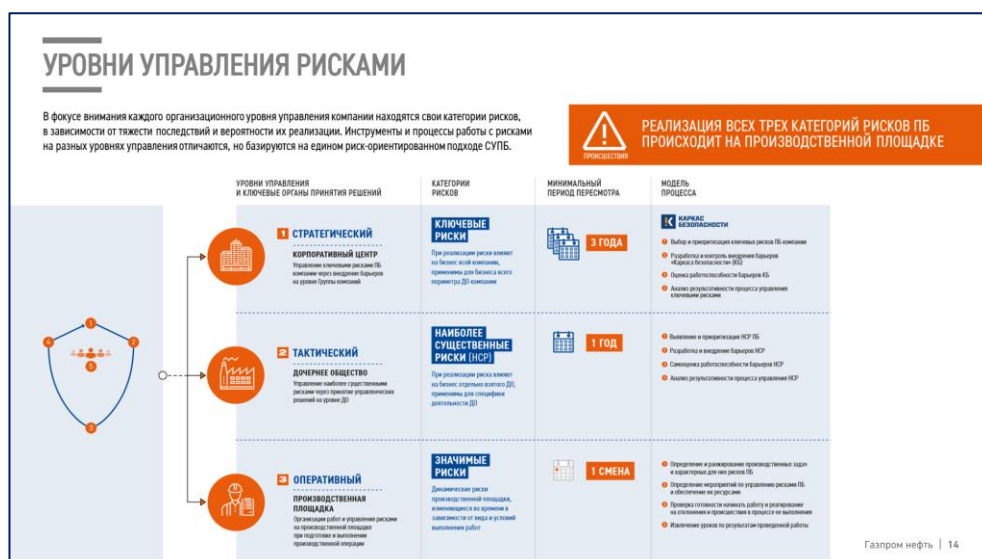


Рисунок 7 – Уровни управления рисками

Методы управления рисками, показанные на рисунке 8, демонстрируют современные инструменты, включая использование искусственного интеллекта и аналитики больших данных, что позволяет оперативно выявлять и снижать потенциальные угрозы. Внедрение таких технологий соответствует актуальным трендам в цифровой механике и безопасности, обсуждаемым на международных форумах и в профильных изданиях.

Таким образом, представленная визуализация и анализ стратегических документов и методик подтверждают, что промышленная безопасность в цифровую эпоху приобретает новые формы и инструменты управления. Интеграция современных технологий, в том числе искусственного интеллекта, в системы безопасности способствует не только снижению аварийности, но и

повышению общей эффективности производства, что является актуальной и востребованной задачей для научного сообщества и промышленности в целом.



Рисунок 8 – Методы управления рисками

Перспективы и развитие промышленной безопасности обусловлены не только техническим совершенствованием производственных комплексов, но и возможностью проведения контроля с внедрением использования новейших развивающихся технологий искусственного интеллекта на ранних стадиях, что позволит минимизировать риски для безопасности жизни не только сотрудников предприятий, но и граждан Российской Федерации.

Список использованной литературы

1. Безопасность труда в строительстве [Электронный ресурс] : СП 12-136-2002. Решения по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ (утв. Постановлением Госстроя РФ от 17.09.2002 № 122). URL: <https://base.garant.ru/12129183/?ysclid=lmnuuu41v767750252>. (дата обращения: 25.05.2024).
2. Горина Л. Н Преддипломная практика по направлению подготовки бакалавров «Техносферная безопасность»: учеб.-методическое пособие / Горина Л.Н. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2019. – 107 с.
3. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 (ред. от 16.02.2023). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45914/ (дата обращения: 25.05.2024).
4. О принятии строительных норм и правил Российской Федерации «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» [Электронный ресурс] : Постановление Госстроя РФ от 23.07.2001 № 80 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 09.08.2001 № 2862). СНиП 12-03-2001. URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33017 (дата обращения: 29.05.2024).

5. О принятии строительных норм и правил Российской Федерации «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство» [Электронный ресурс]: Постановление Госстроя России от 17.09.2002 № 123. СНиП 12-04-2002. (Зарегистрировано в Минюсте России 18.10.2002 № 3880). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_39357/ (дата обращения: 29.05.2024).

THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF INDUSTRIAL SAFETY OF PRODUCTION FACILITIES

Ekaterina V. Poyarkova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Egor R. Battalov, undergraduate student 2nd year

Orenburg State University

Abstract: *the article discusses current problems of industrial safety and ways to solve them at the facilities of Gazpromneft-Orenburg LLC (Gazprom PJSC), as the flagship of the industrial sector of the Russian Federation. The key problems of improving safety culture among industrial production facilities are analyzed.*

Key words: *industrial safety, labor protection, increasing efficiency, reducing risks.*

СЕКЦИЯ 8



«МЕХАНИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ И БИОТЕХНОЛОГИЯХ»

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭРГОНОМИЧНОСТИ ПРОТЕЗОВ ЧЕРЕЗ ИНТЕГРАЦИЮ ПРИНЦИПОВ БИОМЕХАНИКИ В КОНСТРУКЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

Бакаев Антон Алексеевич, преподаватель кафедры медико-биологической техники,

Говорова Вероника Дмитриевна, бакалавриат, 3 курс

Матюшко Константин Алексеевич, бакалавриат, 1 курс

Оренбургский государственный университет

***Аннотация.** В статье представлен обзор современных технологических решений в области протезирования утраченных конечностей и предложены возможные пути повышения эргономичности протезов через интеграцию принципов биомеханики в конструкционные решения при изготовлении. В работе рассматриваются современные технологические решения в области протезирования связанные с применением внешних источников питания, приводов и микроконтроллеров, обеспечивающие как саму механическую подвижность элементов протеза, так и управление ею. Предложенные пути повышения эргономичности протезов включили такие направления разработок как биомиметика, программирование и 3D –моделирование.*

***Ключевые слова:** биомеханика, протезирование, 3D-моделирование, гильзы для протезов, эргономичность протезов.*

Актуальность поиска путей повышения эргономичности протезов связана с высоким спросом на эти медицинские изделия и с внедрением в практику протезирования концепции персонального подхода к конструированию протезов. Высокий спрос на протезы обусловлен ростом числа пациентов лишившихся конечностей или частей тела в результате боевых действий или природных катастроф.

Проблема эргономичности, удобства протеза в эксплуатации, проявляется в возникновении дискомфортных для пользователя ситуации обусловленных недостаточным учетом принципов биомеханики в конструкции протеза. Это может быть связано с несовершенствами модулей управления, отсутствием обратной связи с протезом, а также недостаточной эргономичности гильзы. Уровень эргономичности протезов влияет и на срок службы изделия.

Цель работы – предложить возможные пути повышения эргономичности протезов через интеграцию принципов биомеханики в конструкционные решения при изготовлении.

Как известно, протезирование представляет собой комплекс мероприятий, направленных на замену утраченных или необратимо

повреждённых частей тела искусственными заменителями. Протезирование – важный этап процесса социально-трудовой реабилитации человека, утратившего части тела или конечности.

Современные технологические решения в области протезирования связаны с применением внешних источников питания и приводов, способных обеспечивать подвижность деталей и диапазон движений, схожие с живой человеческой конечностью. Благодаря развитию микроконтроллеров, появилась и совершенствуются системы электроимпульсного управления протезами [1].

Применяемые сейчас системы управления протезами является основополагающим фактором повышения эргономики изделия, так как система управления отвечает за то, на каком уровне, по сравнению с утраченной конечностью, протез может обеспечить сохранение функциональности. В большей степени это касается протезов верхних конечностей, ведь именно ими человек совершает множество различных действий, требующих быстроты и точности.

Системы для управления протезами верхних конечностей можно разделить на миотонические, биоэлектрические и контактные. При биоэлектрическом типе систем управление протезом происходит под действием биоэлектрической компоненты мышечной активности, при миотоническом – управляющий фактор представлен объемным изменением мышц, при контактном – воздействие на элемент управления осуществляется программой микроконтроллера. Все перечисленные типы систем позволяют частично восстановить функции моторики рук, но не могут обеспечить быстрого и точного управления элементами протеза.

Если рассматривать протезы нижних конечностей, то можно отметить, что существуют два типа управления для протезов с коленным модулем: механический и электронный. При использовании механического коленного модуля у пользователя могут возникать проблемы при изменении скорости движения: перед тем, как пользователь наступит на протез, он должен зафиксироваться, иначе возможна потеря равновесия. Электронный модуль позволяет менять темп движения наиболее схоже с живой конечностью, что обеспечивает устойчивость при ходьбе [2].

Пути повышения эргономичности протезов через интеграцию принципов биомеханики в конструкционные решения при изготовлении могут включать несколько направлений разработок.

Разработка конструкций, обеспечивающих не простое сжатие искусственной кисти, а повторение биомеханики сжатия фаланг пальцев живой руки, обеспечит более гибкую и точную механику движения протеза. Для данной работы потребуется создание компьютерной модели анатомии и механики движения костей, суставов и мышц кисти с учетом диапазонов всех возможных движений. Затем элементы биологических конструкций необходимо воссоздать с использованием синтетических материалов, схожих по техническим свойствам: кости воспроизвести композитом, мышцы – гибкими полимерами, нервы – оптоволоком. Для повышения уровня качества

манипуляций протезами как верхних, так и нижних конечностей необходимо создание системы датчиков, наиболее приближенной к системе рецепторов кожи человека. Концепция приближения протеза по свойствам к живой конечности требует исследований в области биомиметики и материаловедения [3].

Перспективным направлением развития системы управления протезов является так же интеграция нейросетей в процесс удаленного управления. Нейросети позволят значительно ускорить распознавание и фильтрацию сигналов в случае использования биоэлектрических и миотонических систем управления. Нейросети с функцией распознавания образов, считывающие сигналы мозга человека и анализирующие их, позволят создать системы управления, не требующее применения биоэлектрических и миотонических датчиков. Такие системы смогут обеспечивать удобство, скорость и точность команд, сопоставимую с живой конечностью, кроме того, время, необходимое для обучения использованию протеза будет значительно сокращено [4].

Наиболее эффективным решением по повышению эргономичности протезов может стать 3D-сканирование культей для создания при помощи аддитивных технологий персональных гильз. При этом сканирование необходимо не только в статике, но и в динамике – это поможет обеспечить комфортные посадку и ношение протеза пользователем благодаря учету параметров биомеханики костей, суставов и мышц конкретного человека [5].

Большинство путей повышения эргономичности протезов лежит в ключе учета биомеханических параметров конечностей как в статике, так и в движении.

В заключение важно отметить, что технологии повышения эргономичности протезов быстро развиваются в современном мире, и хотя в нашей стране на данный момент нет возможности обеспечивать эргономичными и высокотехнологичными протезами всех нуждающихся, это положение дел может быть исправлено путем активного внедрения новых технологий в процесс производства.

Список использованной литературы

1. Позняк, В.Н. Технологический прорыв развитого мира в области бионического протезирования как возможность интеграции инвалидов в общество / В.Н. Позняк, Е.В. Богданова. – 2024.
2. Ганем, М. А. Исследование биомеханических характеристик протеза нижних конечностей человека / М. А. Ганем // Школа молодых новаторов. – 2023. – С. 286-289.
3. Ишкина Е. И. Создание бионического протеза кисти руки / Е. И. Ишкина // Студенческая наука и медицина XXI века: традиции, инновации и приоритеты. – 2020. – С. 466-467.

4. Шалаева, И. Г. Распознавание образов ЭМГ на основе глубокого обучения для протезирования верхней конечности / И. Г. Шалаева // 12.03.04 Биотехнические системы и технологии. – 2023.

5. Хашев, Д. Р. Методы моделирования культи пациента по точкам на основе экспериментальных данных / Д. Р. Хашев, Н. А. Дегтярев, А. К. Тугенгольд // Междисциплинарные исследования: опыт прошлого, возможности настоящего, стратегии будущего. – 2021. – №. 5. – С. 48-58.

WAYS TO IMPROVE THE ERGONOMICS OF PROSTHESES THROUGH THE INTEGRATION OF BIOMECHANICS PRINCIPLES INTO DESIGN SOLUTIONS

Bakaev Anton Alexeyevich, lecturer at the Department of Biomedical Engineering,

Govorova Veronika Dmitrievna, Bachelor's degree, 3rd year

Matyushko Konstantin Alekseevich, Bachelor's degree, 1st year

Orenburg State University

Annotation. *The article provides an overview of modern technological solutions in the field of prosthetics of lost limbs and suggests possible ways to improve the ergonomics of prostheses through the integration of biomechanics principles into structural solutions during manufacture. The paper considers modern technological solutions in the field of prosthetics associated with the use of external power sources, drives and microcontrollers, providing both the mechanical mobility of the prosthesis elements and its control. The proposed ways to improve the ergonomics of prostheses included such areas of development as biomimetics, programming and 3D modeling*

Keywords: *biomechanics, prosthetics, 3D modeling, sleeves for prostheses, ergonomics of prostheses.*

АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ ЗУБНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ

Куменова Рада Тулегеновна, студент бакалавриата 2 курса

Оренбургский государственный университет

Аннотация: В данной статье рассматриваются основные вопросы и различные материалы протезов для замещения части удаленной челюсти человека. Характеристики изучаемых материалов сопоставлены с ГОСТ 51889-2002. На основании физико-механических и санитарно-химических исследований установлено, что полиуретановая базисная пластмасса «nylon» значительно превосходит своего акрилового аналога стомакрил.

Ключевые слова: полимеры, акрил, нейлон, AcryFree, зубные протезы, физико-механическая характеристика.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

В последние десятилетия стоматология претерпевает значительные изменения и совершенствования, особенно в области моделирования зубных протезов. Это сфера, где стоматология встречается с техническими науками, такими как механика и биомеханика. Создание моделей зубных протезов требует не только тщательной работы стоматолога, но также важной помощи в области механики.

Зубные протезы являются неотъемлемой частью стоматологической практики, предоставляя пациентам возможность восстановить свою утраченную жевательную функцию и эстетику улыбки.

Согласно данным А.В. Гуськова с коллегами, «потребность в стоматологической ортопедической помощи в России составляет более 60% от числа обследованного населения. При этом доля использования съемных зубных протезов для реабилитации пациентов с частичным или полным отсутствием зубов составляет 40,2% от всех видов протезирования. Съемное протезирование остается актуальным вариантом лечения пациентов с частичным или полным отсутствием зубных рядов наравне с несъемными конструкциями, в том числе с опорой на дентальных имплантатах. Совершенствование подходов к изготовлению и конструированию зубных протезов, привело к значительному увеличению числа вариантов комбинаций материалов и методик их изготовления» [1].

При изготовлении зубных протезов используются различные материалы, каждый из которых обладает своими уникальными физико-механическими свойствами [2]. На сегодняшний день одними из самых популярных съемных протезов являются съемные пластиночные протезы из акриловой пластмассы [3, 4]. С момента своего появления в 1938 году

акриловые пластмассы стали основным материалом для изготовления съемных зубных протезов. Их широкое применение обусловлено рядом преимуществ, включая биосовместимость и низкий риск аллергических реакций, легкость обработки и изготовления, относительно низкую стоимость, а также достаточно удовлетворительные эстетические свойства.

Как известно, акрил устойчив к химическим воздействиям, хорошо держит форму, протезы из акрила просты в изготовлении, их можно ремонтировать. Но, к сожалению, он гигроскопичен, легко покрывается микротрещинами, в которых накапливаются бактерии. Чтобы привыкнуть к системам из акрила требуется много времени, и они часто вызывают дискомфорт. С этими недостатками легко смириться, но акриловые пластмассы содержат момеры, вещества, которые вызывают аллергические реакции (это главный недостаток акрила). Перед протезированием обязательна проверка на аллергию. И тем не менее, в настоящее время акриловые пластмассы по-прежнему широко используются в качестве материала основы для съемных протезов.

Однако в последние годы появились альтернативные материалы, такие как нейлон, который обладает дополнительными преимуществами в виде гибкости, устойчивости к поломкам и эстетичности. Априори, проблеме аллергии могут решить термопласты – пластмассы, в которых нет мономеров. Самый распространенный из них – нейлон. Нейлон более гибкий, чем акрил, что обеспечивает более комфортную посадку и снижает риск поломки протеза. Нейлон обладает более высокой прочностью на разрыв, чем акрил, что делает протезы более устойчивыми к различным повреждениям. Также нейлон имеет полупрозрачный вид, который имитирует цвет десны, что приводит к более естественному внешнему виду протеза. Системы из нейлона не натирают слизистую, занимают мало места во рту. Привыкают к ним быстрее, чем к акриловым. Но и у нейлона, как материала съемных протезов, тоже есть недостатки. Из-за гибкости нейлон легко отлепляется от неба. Жевательная нагрузка распределяется неравномерно. Работать с нейлоном сложнее, изделия из него делают не везде.

Для изготовления искусственных зубов в съемных протезах используются различные материалы, такие как пластик и керамика. Пластиковые зубы относительно недороги и просты в обработке, но могут быть менее эстетичными и долговечными, чем керамические зубы. В то же время, керамические зубы обладают превосходными эстетическими свойствами и высокой прочностью, но они более дороги и сложны в обработке.

При этом, по мнению В.А. Клемина и А.А. Ворожко, «признана необходимость дифференцированного подхода к выбору конструкционного материала для изготовления съемного зубного протеза с учетом индивидуальных особенностей стоматологического и соматического статуса, и микроэкологии полости рта больного.» [5]. То есть, выбор материала для основы протеза и искусственных зубов зависит от индивидуальных потребностей и предпочтений пациента, а также от клинических показаний.

Особый интерес представляет сравнение таких материалов, используемых в стоматологической практике зубного протезирования, как нейлон и стомакрил, и сопоставление их физико-механических характеристик требованиям ГОСТ 51889-2002 (аутентичного текста международного стандарта ИСО 1567-99 «Полимеры для базисов зубных протезов») [6].

Коваленко О.И. в своем диссертационном исследовании «Клинико-лабораторное обоснование применения базисной пластмассы на основе нейлона» [7] проводил ряд экспериментов с образцами стомакрила и выполнял сопоставление полученных результатов физико-механических свойств этого материала с требованиями выше обозначенного стандарта.

Пирматов А.М. в своей работе «Сравнительная физико-механическая и санитарно-химическая характеристика термопластических и пластмассовых базисных материалов на основе нейлона и стомакрила» [8] также приводит результаты экспериментальных исследований над образцами из нейлона и сопоставляет данные с требованиями ГОСТ 51889-2002 (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Физико-механические свойства материалов, используемых для изготовления зубных протезов

		Материал				Норма по ГОСТ 51889-2002
		Стомакрил		Nylon		
Источник данных		[7]		[8]		[6]
физико-механические свойства образцов	Показатели прочности пластмасс при изгибе, МПа	91,22	Среднее значение σ (M $\pm$ m) 84,7 $\pm$ 5,48	70,84	Среднее значение σ (M $\pm$ m) 69,6 $\pm$ 2,47	65 МПа
		83,06		68,7		
		77,77		72,53		
		78,35		66,7		
		87,05		66,57		
		91,16		72,48		
	Показатели модуля упругости, МПа	2638	Среднее значение E (M $\pm$ m) 2675 $\pm$ 42,6	1873	Среднее значение E (M $\pm$ m) 1865 $\pm$ 141,2	2000 МПа
		2657		2097		
		2641		1743		
		2743		1996		
		2646		1703		
		2726		1779		
	Водопоглощение, мкг/мм ³	23,89	Среднее значение Wv (M $\pm$ m)	12,52	Среднее значение Wv (M $\pm$ m)	не более 32 мкг/мм ³
		24,88		11,32		
		24,11		12,98		
		22,77		9,73		
		23,04	23,7 $\pm$ 0,76	12,34	11,7 $\pm$ 1,15	
	Растворимость	0,31	Среднее значение Wp (M $\pm$ m)	1,12	Среднее значение Wp (M $\pm$ m)	не более 1,6
		0,29		1,10		
		0,19		1,56		
		0,66		1,22		
		0,63	0,4 $\pm$ 0,19	1,25	1,1 $\pm$ 0,26	

Проанализировав табличные данные, можно обобщить, что образцы материала на основе термопластических масс «nylon» соответствуют нормативу по прочности на изгиб, но незначительно уступают по модулю упругости. Следует, однако, отметить, что при указанных предельных нагрузках образцы «nylon» не ломаются как акриловые, но гнутся и соскакивают с опор. В то время как стомакрил превышает норму по ГОСТ и по показателям прочности [7].

По показателям водопоглощения и растворимости все анализируемые материалы (см. таблицу 1) отвечают требованиям норматива. Однако заслуживают внимания показатели растворимости образцов из «nylon». Четыре из пяти образцов имели растворимость меньше 1,3 единицы и один образец на пределе допустимости.

По основным физико-механическим и эксплуатационным свойствам нейлоновая базисная пластмасса значительно отличается от акриловых, аналогов. Прочность на изгиб нейлоновых образцов почти вдвое меньше норматива, но образцы не ломаются, а изгибаются и соскальзывают с опор. Более чем вдвое отличается модуль Юнга нейлоновых образцов.

Сапронов Д.О. в своем исследовании [9] о применении различных материалов для протезирования зубов утверждает, что технологам удалось найти золотую середину между акрилом и нейлоном (см. таблицу 2).

AcryFree представляет собой современный термопластичный материал, который сочетает в себе преимущества как акрила, так и нейлона, обеспечивая уникальные свойства для изготовления зубных протезов. По сравнению с нейлоном, AcryFree обладает более высокой жесткостью, что обеспечивает равномерное распределение жевательных сил, уменьшая риск перегрузки отдельных зубов и дискомфорта. В то же время, он мягче, чем традиционный акрил, что делает протезы более комфортными в ношении.

Таблица 2 – Сравнение полимеров [9]

Свойства	Акрил	AcryFree	Нейлон
Наличие аллергенов	Да	Нет	Нет
Цена	Низкая	Средняя	Высокая
Эластичность	Низкая	Средняя	Высокая
Вероятность поломки	Высокая	Средняя	Низкая
Возможный ремонт	Да	Да	Нет
Риск расшатывания соседних зубов	Высокий	Низкий	Низкий

AcryFree также обладает способностью замедлять потерю костной ткани за счет своей умеренно жесткой структуры. В отличие от акрила, AcryFree не содержит мономеров, которые могут вызывать аллергические реакции, что делает его биосовместимым и безопасным для пациентов.

Процесс литьевого прессования, используемый при изготовлении протезов из AcryFree, исключает образование микропор, что обеспечивает гладкую и непористую поверхность. Это снижает риск накопления бактерий и улучшает гигиену полости рта.

AcryFree и по сей день является инновационным материалом, который предлагает ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами для зубных протезов, включая повышенную жесткость, комфорт, биосовместимость и улучшенную гигиену.

В целом, выбор материала для зубных протезов является сложным процессом, который требует учета различных факторов, включая индивидуаль-ные потребности и предпочтения пациента, клинические показания и свойства доступных материалов.

Физико-механические свойства материалов, такие как прочность, долговечность и устойчивость к износу, имеют первостепенное значение для обеспечения функциональности и долговечности протезов. Однако эстетические качества, биосовместимость и стоимость материала также должны учитываться для достижения оптимальных результатов лечения.

Совместная работа пациента и стоматолога позволяет определить наиболее подходящий материал для зубных протезов, который обеспечит комфорт, функциональность и эстетичность. Непрерывные исследования и разработки в области стоматологических материалов продолжают расширять спектр доступных вариантов, обеспечивая пациентам широкий выбор для удовлетворения их индивидуальных потребностей.

Список использованной литературы

1. Гуськов, А.В., Современные подходы к реабилитации пациентов с использованием съемных пластиночных зубных протезов / А.В. Гуськов, С.И. Калиновский, А.А. Олейников, М.С. Кожевникова // Наука молодых – Eruditio Juvenium. – 2021. – Том 9. – №4. – С. 631–646. – <https://doi.org/10.23888/HMJ202194631-646>.
2. Альтер, Ю.М. Съемные зубные протезы с базисом из полиуретана: учебное пособие / Ю.М. Альтер, М.Ю. Огородников. – М., 2009. – 25 с.
3. Кочурова, Е.В. Современные взгляды на ортопедическое лечение пациентов с новообразованиями челюстно-лицевой области / Е.В. Кочурова, В.Н. Николенко, В.А. Кочуров // Забайкальский медицинский вестник. – 2016. – № 4. – С. 180–185.
4. Садыков М.И. Изготовление съемных зубных протезов из акриловой пластмассы, содержащей наночастицы серебра (лабораторное исследование) / М.И. Садыков, А.М. Нестеров, Е.В. Фесик // Врач-аспирант. – 2011. – №6.3(49). — С. 451-456.
5. Клемин, В.А. Современное состояние вопроса выбора материала для ортопедического лечения больных, нуждающихся в съемном протезировании / В.А. Клемин, А.А. Ворожко // Дальневосточный медицинский журнал. – 2015. – №1. – С. 41-46.
6. ГОСТ Р 51889-2002 Материалы полимерные для базисов зубных протезов. Технические требования. Методы испытаний. – М.: ИПК: Издательство стандартов, 2002. – 16 с.

7. Коваленко, О.И. Клинико-лабораторное обоснование применения базисной пластмассы на основе нейлона: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – М., 2011. – 24 с.

8. Пирматов, А.М. Сравнительная физико-механическая и санитарно-химическая характеристика термопластических и пластмассовых базисных материалов на основе нейлона и стомакрила / А.М. Пирматов // Стоматология. – 2012. – Режим доступа: <https://vrach-aspirant.ru/articles/stomatology/12515/> (дата обращения: 17.05.2024).

9. Сапронов, Д.О. Материалы для протезирования зубов. – Режим доступа: <https://dentalroott.ru/articles/protezirovanie-zubov/material/> (дата обращения: 19.05.2024).

ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS USED IN THE DENTAL PRACTICE OF DENTAL PROSTHETICS

Kunenova Rada Tulegenovna, 2nd year student

Abstract: *This article discusses the main issues and various materials of prostheses for replacing a part of a removed human jaw. The characteristics of the studied materials are compared with GOST 51889-2002. Based on physico-mechanical and sanitary-chemical studies, it was found that the polyurethane base plastic "nylon" is significantly superior to its acrylic counterpart stomacrylic.*

Keywords: *polymers, acrylic, nylon, AcryFree, dentures, physical and mechanical characteristics.*

СЕКЦИЯ 9



«ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ВЫБОРЕ СОСТАВА И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Паршина Анастасия Анатольевна, кандидат технических наук, старший преподаватель

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Аннотация. *В современной индустрии все более значимую роль играют нейросетевые методы, используемые на различных этапах проектирования и оптимизации технических систем. Одним из ключевых направлений их применения является выбор состава и принципиальной схемы механических приводов технологических машин. Этот процесс требует учета множества факторов, включая требования по производительности, энергоэффективности, надежности и других. В свете быстрого развития нейросетевых технологий, их способность адаптироваться к сложным задачам принятия решений и обработки данных делает их мощным инструментом для оптимизации и совершенствования механических систем. В данной статье рассматривается актуальность использования нейросетевых методов при выборе состава и принципиальной схемы механических приводов при проектировании конструкций технологических машин.*

Ключевые слова: *нейросети, проектирование технологических машин, методики проектирования, механические приводы*

Код и рубрика: *55.03.14 Проектирование, конструирование и расчет машин и механизмов*

Введение

Выбор состава и принципиальной схемы механических приводов технологических машин играет ключевую роль в обеспечении их эффективной работы и конкурентоспособности на рынке. Неправильный выбор такой схемы может привести к недостаточной производительности, избыточному энергопотреблению, увеличенным издержкам на обслуживание и ремонт, а также к риску аварий и простоев в производственном процессе.

С учетом постоянного развития технологий и повышения требований к производительности и экологической безопасности, правильный выбор состава и схемы приводов становится особенно важным. Технологические машины все чаще должны быть адаптированы под различные условия эксплуатации, работу с разнообразными материалами и выпуск продукции с высокими стандартами качества. Это требует от инженеров и проектировщиков не только глубоких знаний в области механики и электротехники, но и способности учитывать множество переменных и оптимизировать систему под конкретные потребности.

Правильно спроектированные и подобранные приводы позволяют снизить затраты на производство, повысить его эффективность и гибкость, а также сократить вредное воздействие на окружающую среду. Кроме того, они способствуют улучшению конкурентоспособности предприятия за счет оптимизации производственных процессов и увеличения выхода качественной продукции.

Таким образом, правильный выбор состава и принципиальной схемы механических приводов технологических машин в условиях современного рынка является необходимым условием для производства конкурентоспособной продукции и представляет собой важный элемент инженерной практики, требующий комплексного анализа и оптимизации.

Обзор методов выбора

Выбор состава и принципиальной схемы механических приводов технологических машин является сложной задачей, требующей учета множества технических, экономических и функциональных ограничений. В традиционных подходах к решению этой задачи используются методы математического моделирования, оптимизации и анализа, такие как аналитические вычисления, численные методы, методы графов и другие. Особенности их следующие:

1. Аналитические методы основаны на математическом анализе структуры и работы механических систем. Они позволяют провести теоретический анализ различных вариантов приводов и оценить их производительность, надежность и энергоэффективность. Примерами таких методов являются аналитические вычисления в области кинематики и динамики механических систем, расчеты нагрузок и моментов, а также анализ прочности и жесткости элементов.

2. Численные методы используются для решения сложных математических задач, которые не могут быть решены аналитически. Они включают в себя методы конечных элементов, методы конечных разностей, методы Монте-Карло и другие. Эти методы позволяют проводить компьютерное моделирование работы механических систем с высокой точностью и учитывать различные внешние воздействия и условия эксплуатации.

3. Недавние исследования показывают, что методы искусственного интеллекта, включая нейросетевые подходы, могут быть эффективны в решении задач выбора состава и схемы приводов технологических машин [1, 2]. Нейросетевые модели могут обучаться на больших объемах данных, учитывая множество входных параметров и требований к системе, что позволяет автоматизировать и оптимизировать процесс выбора приводов с учетом множества ограничений и критериев. Рассмотрим эти методы подробнее.

Нейросетевой подход в конструировании приводов машин

Теория нейросетевого поиска оптимального варианта относится к области искусственного интеллекта и машинного обучения. Она использует нейронные сети для поиска оптимального решения в задачах оптимизации. Основная идея состоит в том, чтобы обучить нейронную сеть предсказывать оптимальное

решение на основе входных данных и целевой функции, которую необходимо оптимизировать [3].

Применение нейросетевых методов в конструировании приводов машин открывает перед инженерами и проектировщиками ряд преимуществ, которые делают этот подход особенно привлекательным в современной индустрии.

Среди них следующие:

1. Нейросетевые модели способны учитывать сложные взаимосвязи между различными параметрами и характеристиками системы, которые могут быть сложны или невозможны для формализации аналитическими методами. Это позволяет более полно и точно оценивать влияние различных факторов на работу приводов и выбирать оптимальные решения.

2. Нейронные сети могут быть обучены на больших объемах данных, что позволяет учесть разнообразные условия эксплуатации и требования к системе. Это делает нейросетевые модели более гибкими и адаптивными, способными к адекватной реакции на изменяющиеся условия и потребности.

3. Использование нейросетевых моделей позволяет автоматизировать процесс выбора состава и схемы приводов машин, что сокращает время и затраты на проектирование и оптимизацию. Это особенно важно в условиях быстрого темпа развития технологий и постоянно меняющихся требований рынка.

4. Нейросетевые модели могут быть легко адаптированы и расширены для учета новых факторов и условий, что обеспечивает гибкость и масштабируемость под различные задачи и потребности. Это позволяет создавать индивидуальные и оптимальные решения для различных типов машин и производственных процессов.

5. Благодаря способности к учету большого количества данных и сложных взаимосвязей, нейросетевые модели обладают высокой точностью и эффективностью в предсказании характеристик и параметров системы. Это позволяет сократить вероятность ошибок и улучшить качество проектирования и конструирования приводов машин.

Таким образом, применение нейросетевого подхода в конструировании приводов машин является перспективным направлением, которое позволяет улучшить качество и эффективность проектирования, сократить время и затраты на разработку, а также создавать более гибкие и адаптивные технические системы.

В процессе обучения нейросеть адаптируется к данным, чтобы выявить закономерности и шаблоны, которые позволяют прогнозировать оптимальное решение. Этот процесс может включать в себя использование различных алгоритмов оптимизации, таких как градиентный спуск или методы оптимизации на основе эволюционных алгоритмов [4].

Когда нейронная сеть обучена, она может использоваться для быстрого и эффективного поиска оптимального решения для новых входных данных.

Для использования информации в обучении нейронной сети необходимо, чтобы она соответствовала определенным принципиальным требованиям [5]:

1. Репрезентативность данных. Данные должны адекватно представлять ту информацию, которую нейронная сеть должна изучить. Они должны содержать достаточное разнообразие и объем для того, чтобы модель могла обобщить обучающие примеры на новые данные.

2. Качество данных. Данные должны быть точными, актуальными и свободными от ошибок. Некорректные или неточные данные могут привести к искажению обучения и неправильным выводам модели.

3. Нормализация и предобработка. Входные данные должны быть нормализованы и предварительно обработаны для обеспечения стабильности и эффективности обучения. Это может включать в себя масштабирование признаков, обработку выбросов, заполнение пропущенных значений и другие техники предобработки данных.

4. Разметка данных. Для задач обучения с учителем данные должны быть размечены, то есть каждому входному примеру должен соответствовать правильный ответ или целевая переменная. Это позволяет модели обучаться на основе предоставленных правильных ответов.

5. Доступность и конфиденциальность. Данные должны быть доступными для обучения, но при этом не нарушать конфиденциальность или права субъектов, если это касается личных данных.

6. Сбалансированность классов (для задач классификации). В случае задач классификации необходимо, чтобы данные содержали примерно равное количество примеров для каждого класса, чтобы предотвратить смещение модели в сторону часто встречающихся классов.

Соблюдение этих принципов помогает гарантировать успешное обучение нейронной сети и получение адекватных результатов на новых данных.

Для обучения нейронной сети инженерная информация должна быть структурирована. Следует произвести четкое определение задачи, которую необходимо решить с помощью нейронной сети. Это может быть классификация, регрессия, кластеризация или другие задачи. Далее осуществить сбор данных, необходимых для обучения нейронной сети. Это может включать в себя как структурированные данные (таблицы, базы данных), так и неструктурированные данные (тексты, чертежи), и провести предобработку данных для обучения, включая очистку от выбросов, обработку пропущенных значений, масштабирование признаков и другие техники [6, 7].

Затем требуется произвести разделение данных на обучающий, валидационный и тестовый наборы. Это позволяет оценить производительность модели на новых данных и избежать переобучения, и на основе этого выбрать подходящую архитектуру нейронной сети, включая количество слоев, типы слоев (полносвязные, сверточные, рекуррентные и т. д.), функции активации и другие параметры. Для выбранной нейросети требуется произвести обучение на обучающем наборе данных с использованием выбранной архитектуры и оптимизатора, оценить производительность модели на валидационном наборе данных для выбора оптимальных параметров, и произвести тестирование обученной модели на тестовом наборе данных для оценки ее обобщающей способности и производительности на новых данных. При необходимости может

быть произведена настройка параметров модели и процесса обучения для достижения лучших результатов и развертывание обученной модели в продукционную среду для использования в реальных приложениях.

На практике, это означает следующее.

Поскольку состав оборудования, а также требования к нему с достаточной точностью могут быть перечислены в текстовом описании, достаточным условием для нейросетевого анализа может быть использование известных текстовых нейросетей, дополненных необходимой системой расшифровки получаемых ответов.

Нейронная сеть может быть обучена на большом наборе данных, содержащем информацию о различных типах схем технологических машин, их характеристиках и производительности в различных условиях. После обучения сеть сможет предсказывать наилучшие схемы для конкретных условий и требований. Входные данные для нейронной сети могут включать в себя параметры, такие как виды обрабатываемых материалов, рабочие условия (например, внутри помещения или на открытом воздухе), требуемая точность и скорость работы, а также доступные бюджет и ресурсы.

Нейронная сеть обучается на этом наборе данных, оптимизируя свои веса и параметры для предсказания наилучших схем технологических машин в зависимости от входных параметров. После обучения она может быть использована для быстрого и эффективного выбора оптимальной схемы для новой технологической машины.

Например, для выбора схемы привода роликового транспортера, следует выполнить следующие шаги:

- сбор данных о различных схемах приводов транспортеров схожего назначения, включая их технические характеристики, производительность, энергопотребление и другие параметры в формате текстовых описаний;
- подготовка данных для обучения нейронной сети. Это включает в себя нормализацию данных, удаление выбросов и разделение на обучающий и тестовый наборы;
- обучение нейронной сети. Нейронная сеть должна научиться связывать входные параметры, такие как типы транспортируемых грузов, скорость и нагрузка, с оптимальной схемой привода;
- тестирование нейронной сети на отложенном наборе данных, чтобы оценить ее производительность и точность в предсказании оптимальной схемы привода.
- использование - задаются входные параметры, такие как типы грузов, скорость и нагрузка, чтобы получить рекомендацию по оптимальной схеме привода роликового транспортера для конкретной ситуации.

Заключение

В данной статье были рассмотрены основные методы выбора состава и принципиальной схемы механических приводов технологических машин. Традиционные методы, такие как аналитические и численные, имеют свои преимущества и недостатки и широко используются в инженерной практике.

Однако, с развитием нейросетевых технологий, появляются новые перспективы в автоматизации и оптимизации процесса выбора приводов, что делает данное направление актуальным для дальнейших исследований и разработок.

Список использованной литературы

1. Николенко, С.И. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С.И. Николенко, Е.В. Архангельская // СПб.: Питер. – 2018. – 480 с.
2. Мюллер, А. Машинное обучение с помощью Python / А. Мюллер, С. Гвидо // М.: Диалектика-Вильямс. – 2022.
3. Дайзенрот, М.П. Математика в машинном обучении / М.П. Дайзенрот, А.А. Фейзал, Ч.С. Он // СПб.: Питер. – 2023. – 512 с.
4. Бенгфорт, Б. Прикладной анализ текстовых данных на Python. Машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка / Б. Бенгфорт, Р. Билбро // СПб.: Питер. – 2023. – 512 с.
5. Учебник по машинному обучению от Академии Яндекс (online). <https://education.yandex.ru/handbook/ml> (дата обращения: 19.05.2024).
6. Бишоп, К.М. Распознавание образов и машинное обучение / К.М. Бишоп // М.: Вильямс. – 2020. – 960 с.
7. Бенгфорт, Б. Прикладной анализ текстовых данных на Python. Машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка / Б. Бенгфорт, Р. Билбро, Т. Охеда // СПб.: Питер. – 2020. – 368 с.

ASPECTS OF APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN SELECTION OF COMPOSITION AND SCHEMATIC DIAGRAM OF MECHANICAL DRIVES OF TECHNOLOGICAL MACHINES

Anastasia A. Parshina, candidate of technical sciences, senior lecturer

Ural Federal University, Yekaterinburg

Abstract. *In modern industry, neural network methods play an increasingly important role in various stages of design and optimization of technical systems. One of the key areas of their application is the selection of the composition and schematic diagram of mechanical drives for technological machines. This process requires consideration of many factors, including performance, energy efficiency, reliability and other requirements. In the light of rapid development of neural network technologies, their ability to adapt to complex decision-making and data processing tasks makes them a powerful tool for optimization and improvement of mechanical systems. This paper considers the relevance of using neural network methods in selecting the composition and principle scheme of mechanical drives in the design of technological machine structures*

Keywords: *neural networks, design of technological machines, design methods, mechanical drives*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНИЧЕСКО-ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

Решетов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин,

Черноусов Егор Александрович, Касимов Роман Андреевич,

**Кашапов Тимур Динарович, Барановский Кирилл Владиславович,
студенты бакалавриата, 3 курс**

Оренбургский государственный университет

Аннотация. *Статья посвящена проектированию конструкции коническо-планетарного редуктора беспилотного летательного аппарата вертолетного типа в САПР Компас-3D и в программном комплексе MathCad. Решена проблема снижения затрат времени и ресурсов на проектирование авиационных редукторов подобного типа. В результате работы сформирована трехмерная модель вновь создаваемого изделия, достаточная для формирования пакета конструкторских документов.*

Ключевые слова: *проектирование, редуктор, САПР Компас-3D, беспилотный летательный аппарат.*

Код и рубрика: *81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства.*

В настоящее время беспилотные авиационные системы развиваются все более быстрыми темпами. Тема инженерных расчетов конструкций и основных деталей и узлов таких аппаратов с использованием современных САПР является актуальной задачей. В настоящем докладе рассмотрены вопросы трехмерного геометрического моделирования одного из ключевых узлов беспилотного летательного аппарата вертолетного типа – бортового редуктора несущих винтов, расположенных по соосной схеме.

Вновь создаваемый редуктор относится к классу авиационных редукторов, к которым предъявляются повышенные требования к надежности, ресурсу, вибрациям и весу, что ведет к повышению требований к точности изготовления и применению малых коэффициентов запаса прочности ($f = 1,2 - 1,5$) для облегчения конструкции без ущерба надежности [3].

Ранее проблемой являлись также большие трудозатраты на проектирование, связанные с отсутствием достаточно мощных САПР. В настоящее же время создано множество САПР, как зарубежных (Siemens NX, SolidWorks, AutoCad и др.), так и отечественных (Компас-3D, T-Flex CAD и др.). Для проектирования редуктора была выбрана САПР Компас-3D, в виду того, что учебная лицензия распространяется бесплатно, система обладает интуитивно понятным интерфейсом и уже знакома авторам, а также имеет достаточно мощную основу для создания крупных сборок [4].

Редуктор спроектирован с использованием широкого ряда библиотек Компас-3D – валы и механические передачи 2D/3D, стандартные изделия и т. д. На рисунке 2 представлена трехмерная модель редуктора, созданная в Компас-3D.

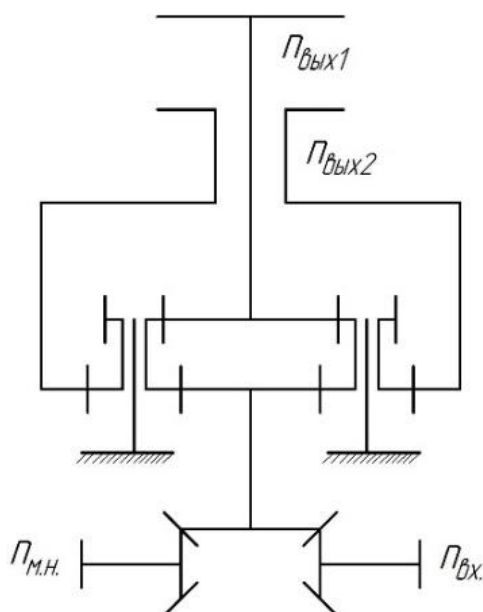


Рисунок 1 – Кинематическая схема разработанного редуктора

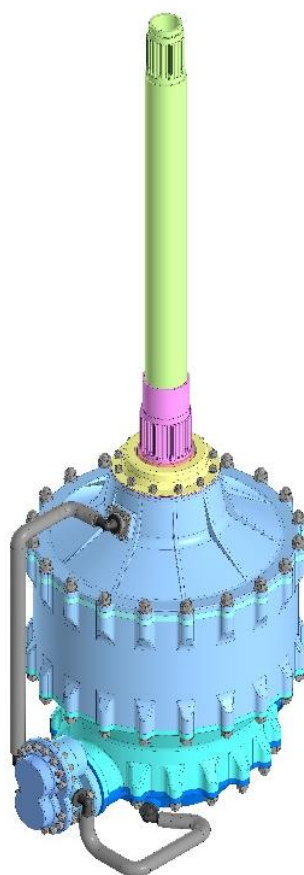


Рисунок 2 – Трехмерная модель спроектированного редуктора

Редуктор двухступенчатый, коническо-планетарный. Состоит редуктор из следующих ступеней:

- быстроходной конической;
- тихоходной планетарной.

Такое расположение и тип ступеней выгодны в весовом и технологическом отношении. Корпус редуктора осесимметричный и более технологичный, чем у редуктора, созданного авторами ранее, а именно, у коническо-цилиндрического редуктора, изображенного на рисунке 3.

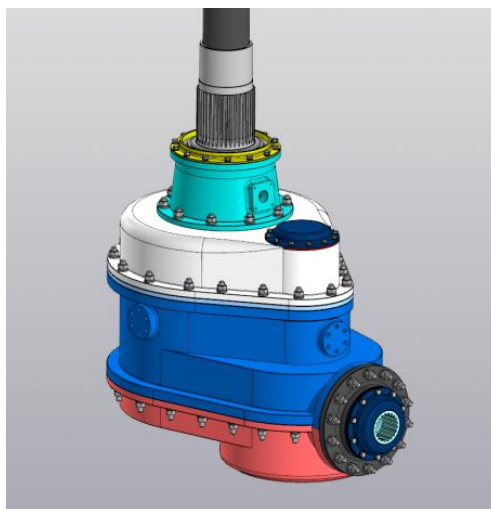


Рисунок 3 – Коническо-цилиндрический редуктор

Основные параметры коническо-цилиндрического редуктора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры редуктора

Параметр		Значение
Передаточное отношение	общее	10
	быстроходной ступени	2
	тихоходной ступени	2,5
Передаваемая мощность	на внешний тихоходный вал	44 кВт
	на внутренний тихоходный вал	44 кВт
Частоты вращения валов	входного	2700 об/мин
	выходных	270 об/мин
	на маслонасос	2700 об/мин

Все валы и зубчатые колеса редуктора изготавливаются из стали 12ХН3А ГОСТ 4543-2016, зубья колес цементируются. Корпус редуктора изготавливается методом литья из алюминиевого сплава АЛ8 ГОСТ 1583-93. Стаканы подшипников изготавливаются из сталей 40ХН ГОСТ 4543-2016 или 12ХН3А ГОСТ 4543-2016 [5].

Быстроходная ступень редуктора состоит из входной конической вал-шестерни и конического колеса [2]. Коническое колесо через шлицевое соединение соединяется с вал-шестерней (солнечной шестерней) тихоходной ступени (планетарного механизма). Также на быстроходной ступени устанавливается колесо привода масляного насоса. На рисунке 4 представлена конструкция быстроходной ступени в разрезе.

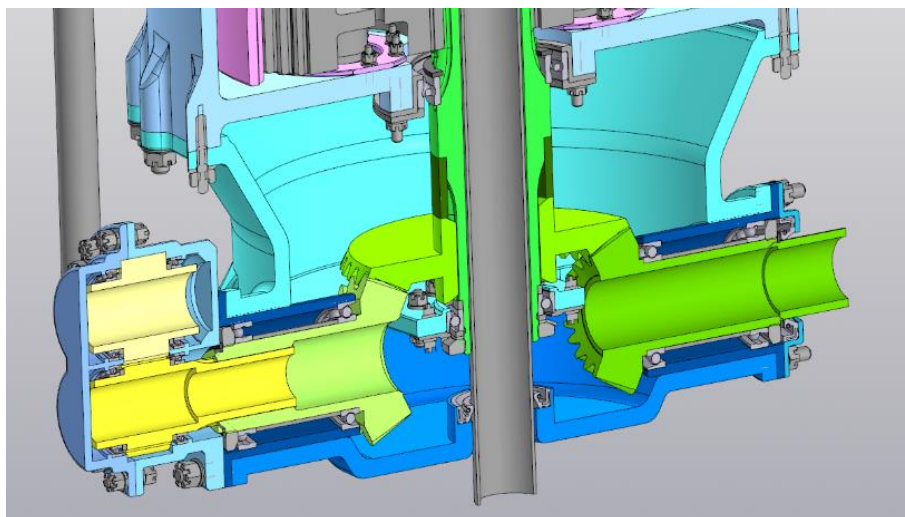


Рисунок 4 – Конструкция быстроходной ступени

Тихоходная ступень редуктора представляет собой многопоточный планетарный механизм с двойными сателлитами (рисунок 5). Крутящий момент от солнечной шестерни передается на сателлиты, с них крутящий момент делится и уходит на эпицикл (внешний тихоходный вал) и на колесо внутреннего тихоходного вала. Тем самым реализуется противоположное вращение валов редуктора.

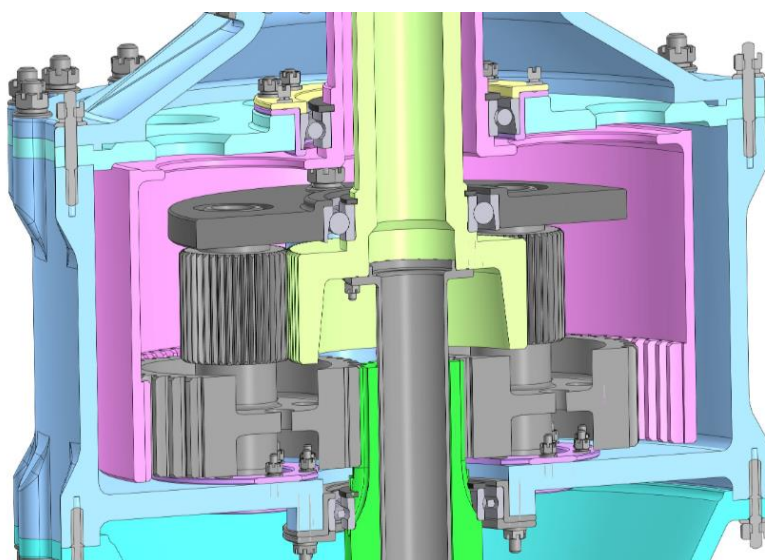


Рисунок 5 – Конструкция тихоходной ступени редуктора

Для расчета тихоходной ступени авторами была написана программа на основе методики, приведенной в работе [1]. На рисунке 5 приведен общий вид алгоритма программы расчета планетарной ступени редуктора, написанного на платформе программного комплекса MathCad. Благодаря распределению вращающего момента между несколькими сателлитами удалось снизить массово-габаритные параметры рассматриваемого редуктора, по сравнению с базовой конструкцией на 10-15 %, что позволяет существенно снизить затраты на материал и снизить взлетную массу летательного аппарата, при реализации тех же нагрузок на несущем винте летательного аппарата.

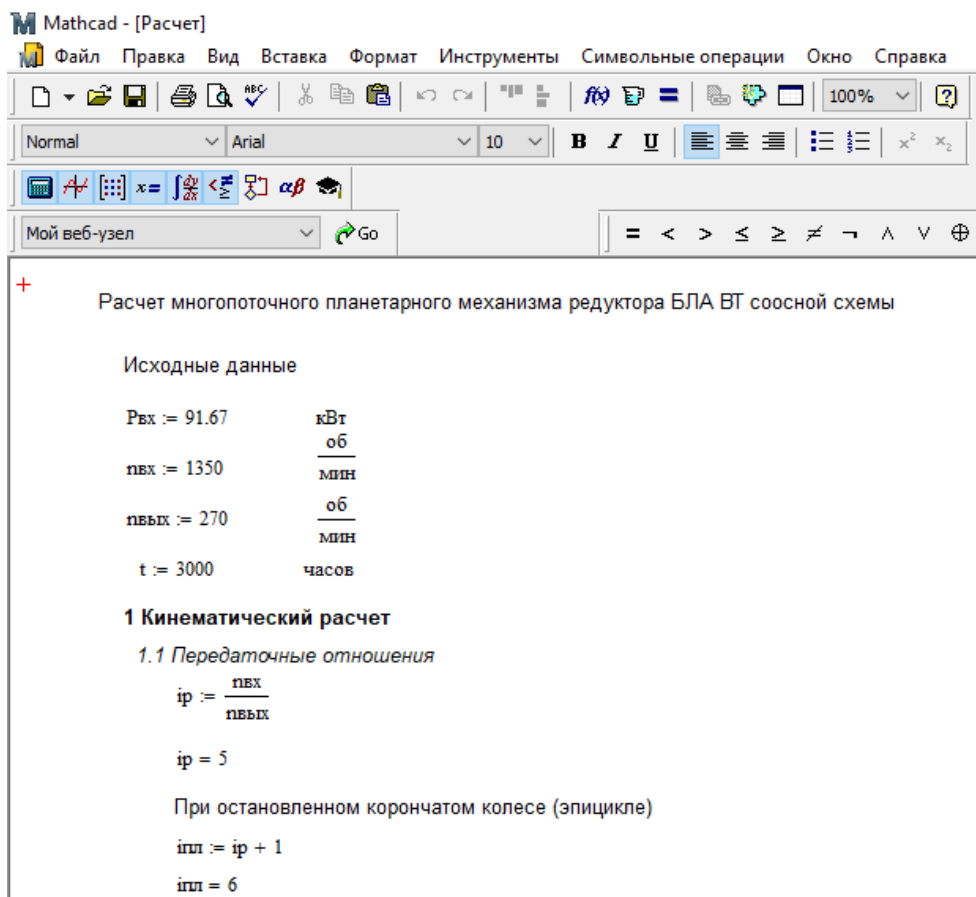


Рисунок 5 – Пример алгоритма расчета тихоходной ступени

В результате выполненных расчетно-конструкторских работ получены следующие результаты:

- разработана программа расчета планетарных механизмов в системе MathCad, получены геометрические и прочностные данные тихоходной ступени, в частности: модуль передачи, межосевое расстояние, соответствие условиям соседства и сборки сателлитов, а также условию соосности элементов планетарной ступени редуктора;

- спроектирован коническо-планетарный главный редуктор привода несущих винтов беспилотного летательного аппарата вертолетного типа, выполненного по соосной схеме, который обеспечивает передачу вращающего

момента на противоположно вращающиеся валы несущих винтов аппарата, при условии обеспечения минимальных габаритов.

Список использованных источников

1. Балякин, В.Б. Расчет и проектирование планетарных передач авиационных редукторов: учебное пособие / В.Б. Балякин, И.С. Барманов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 76 с.: ил.
2. Расчет закрытых конических передач силового привода: методические указания / Г.А. Клещарева, С.Ю. Решетов, Ю.А. Чирков; Оренбургский государственный ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 29 с.
3. Силаев, Б.М. Расчет и конструирование деталей авиационных механических передач: учебно-справочное пособие / Б.М. Силаев. – Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2008. – 150 с.: ил.
4. Черноусов, Е.А. Системы автоматизированного проектирования в реализации задач авиастроения // Шаг в науку. – 2022. – №4. – С. 81–86.
5. Шугаев В. И. Справочник конструктора и технолога авиационного агрегатостроения. Допуски и посадки. / В. И. Шугаев. – Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1953. – 132 с.: ил.

CAD IN THE DESIGN OF CONICAL-PLANETARY GEARBOX OF THE HELICOPTER-TYPE UNMANNED AIRCRAFT

**Sergey Yu. Reshetov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines,
Egor A. Chernousov, Roman A. Kasimov,
Timur D. Kashapov, Kirill V. Baranovsky, undergraduate students, 3rd year**

Orenburg State University

Abstract. The article is devoted to the design of conical-planetary gearbox of helicopter-type unmanned aircraft in CAD Kompas-3D and in the program complex MathCad. The problem of time and resource cost reduction for the design of aircraft gearboxes of this type has been solved. As a result of the work a three-dimensional model of the newly created product sufficient for the formation of a package of design documents was formed.

Key words: design, gearbox, CAD Kompas-3D, unmanned aircraft.

САПР КОМПАС-3D В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНИЧЕСКО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

Решетов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин,

**Черноусов Егор Александрович, Касимов Роман Андреевич,
Кашапов Тимур Динарович, Барановский Кирилл Владиславович,**
студенты бакалавриата, 3 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация. *Статья посвящена проектированию конструкции коническо-цилиндрического редуктора беспилотного летательного аппарата вертолетного типа в САПР Компас-3D. Решена проблема снижения затрат времени и ресурсов на проектирование авиационных редукторов подобного типа. В результате работы создана трехмерная модель передаточного механизма, по которой можно достаточно легко формировать пакета конструкторских документов для изготовления искомого механизма.*

Ключевые слова: *проектирование, авиационные редукторы, беспилотные летательные аппараты, трехмерная модель.*

Код и рубрика: *81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства.*

В наше время достаточно быстрыми темпами развиваются различные транспортные беспилотные системы. Так, в рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы», уделяется значительное внимание не только авиационным дронам, типа «квадрокоптер», но и беспилотным летательным аппаратам вертолетного типа различной грузоподъемности: от сверхмалых, способных нести незначительный по весу груз, до крупных беспилотных летательных аппаратов, построенных по традиционной, либо соосной схемам расположения несущих винтов. Тема инженерных расчетов подобных конструкций и их адекватное моделирование и конструирование для последующей проработки и расчетов основных деталей и узлов с целью получения наиболее достоверных результатов является актуальной задачей. В настоящем докладе рассмотрены вопросы трехмерного геометрического моделирования одного из ключевых узлов беспилотного летательного аппарата – бортового редуктора несущих винтов, установленных по соосной схеме.

Создаваемый редуктор относится к классу авиационных редукторов, к которым предъявляются повышенные требования по надежности, ресурсу, вибрациям и весу, что, в свою очередь, ведет к повышению требований к точности изготовления и при использовании малых коэффициентов запаса прочности различных деталей ($n = 1,2 - 1,5$) для облегчения конструкции, но не в ущерб надёжности. Ранее проблемой являлись также большие трудозатраты на проектирование, связанные с отсутствием достаточно мощных систем

автоматизированного проектирования (САПР). В настоящее же время нашем арсенале имеется достаточное количество CAD/CAE систем, как зарубежных (например, Siemens NX, SolidWorks, AutoCad и др.), так и отечественных (например, КОМПАС-3D, T-Flex CAD и др.) разработчиков. Для проектирования редуктора была выбрана CAD/CAE система КОМПАС -3D в виду её доступности (учебная лицензия распространяется бесплатно), данная система обладает интуитивно понятным интерфейсом и уже знакома авторам, а также имеет достаточно мощную основу для создания крупных сборок различного назначения [4].

Редуктор спроектирован с использованием множества библиотек и расчетных модулей КОМПАС -3D, таких как: валы и механические передачи 2D/3D, стандартные изделия, соединения и т.п. Все расчетные модули используют стандартные алгоритмы расчетов и разработки конструкций механических передач, валов, соединений и т.п. За прототип редуктора выбран аналог, предложенный КБ им. Камова (кинематическая схема представлена на рисунке 1), доработанный с учетом габаритов, массы и грузоподъёмности разрабатываемого летательного аппарата. На рисунке 2 представлена трехмерная модель редуктора, созданная в системе КОМПАС-3D.

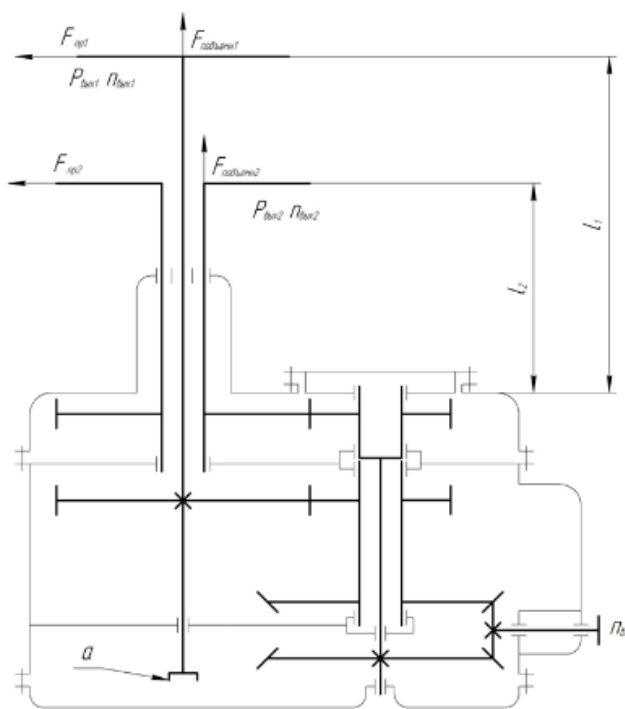


Рисунок 1 – Кинематическая схема разработанного редуктора

Редуктор двухступенчатый коническо-цилиндрический с раздвоенной быстроходной ступенью, что позволяет вращать тихоходные валы в разные стороны. Традиционно, все валы авиационного редуктора полые. Это позволяет два тихоходных вала установить на одной оси, причем, вращаться они будут в

противоположные стороны с одинаковой скоростью, создавая подъёмную и движущую силы летательного аппарата.

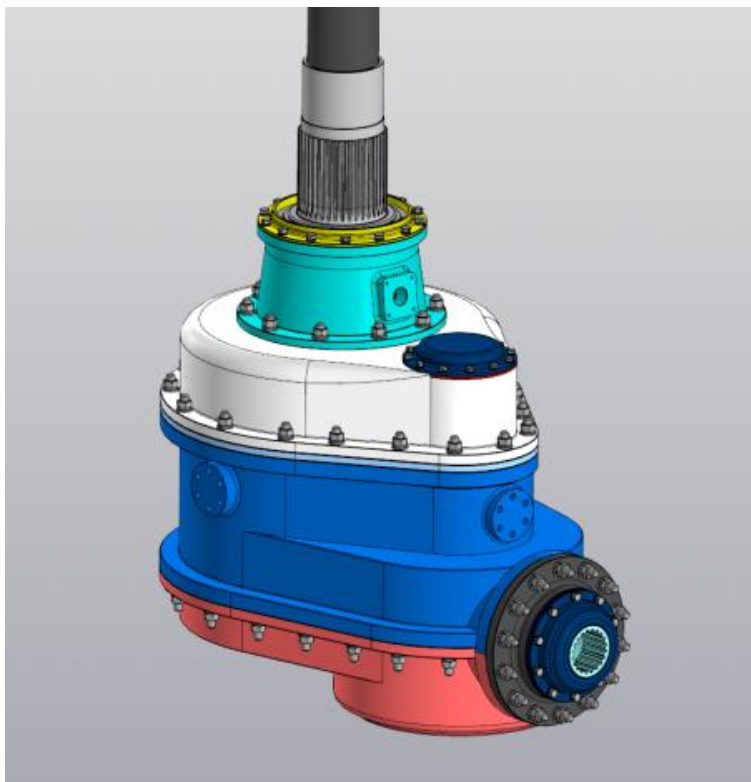


Рисунок 2 – Общий вид спроектированного редуктора

Основные параметры редуктора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры редуктора

Параметр		Значение
Передаточное отношение	общее	10
	быстроходной ступени	2,5
	тихоходной ступени	4
Передаваемая мощность	на внешний тихоходный вал	44 кВт
	на внутренний тихоходный вал	44 кВт
Частоты вращения валов	входного	2700 об/мин
	выходных	270 об/мин

Все валы и зубчатые колеса редуктора изготавливаются из стали 12ХН3А ГОСТ 4543-2016, поверхности зубьев колес подвергаются цементации с последующей закалкой, что позволяет предельно уменьшить размеры механических передач. Корпус редуктора изготавливается методом литья из алюминиевого сплава АЛ8 ГОСТ 1583-93. Стаканы подшипников изготавливаются из сталей 40ХН ГОСТ 4543-2016 или 12ХН3А ГОСТ 4543-2016 [5]. Все это позволяет минимизировать массогабаритные параметры редуктора с сохранением его работоспособности даже на предельных нагрузках.

Быстроходная ступень редуктора состоит из ведущей конической вала-шестерни и двух конических колес – верхней и нижней. Коническая шестерня соединяется с ведущим валом двигателя через шлицевое соединение. Верхнее коническое колесо соединяется через шлицы с валом-шестерней цилиндрической передачи тихоходной ступени, в свою очередь нижнее коническое колесо соединяется шлицами с торсионом и передает крутящий момент на вал-шестерню тихоходной ступени. На рисунке 3 представлена 3D - конструкция быстроходной ступени редуктора в разрезе.

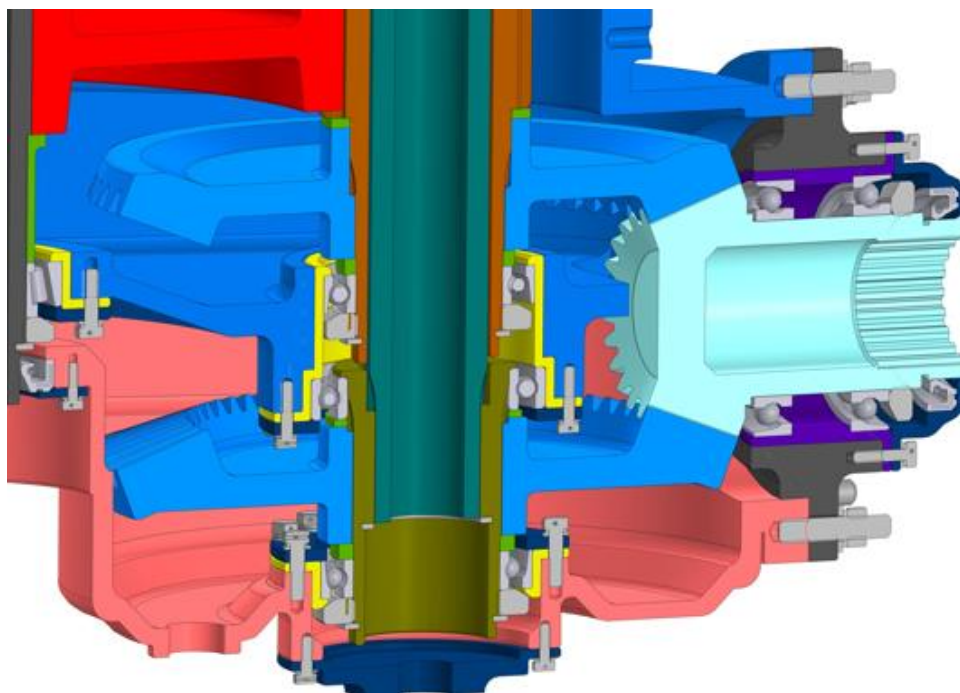


Рисунок 3 – Конструкция быстроходной ступени в разрезе

Тихоходная ступень редуктора представляет собой две цилиндрические передачи. Нижнее цилиндрическая передача приводится в движение верхним коническим колесом. Нижнее цилиндрическое колесо соединяется через шлицевое соединение с внутренним валом привода верхнего несущего винта беспилотного летательного аппарата вертолетной схемы. Верхняя цилиндрическая передача приводится во вращение нижним коническим колесом. Верхнее цилиндрическое колесо шлицами соединено с внешним валом привода нижнего несущего винта беспилотной вертолетной системы.

Особенностью соосной схемы расположения винтов заключается в том, что несущие винты должны вращаться в противоположные стороны. В разработанном редукторе дифференциальное вращение выходных валов достигается за счет того, что с входного вала шестерни мощность коническими колесами снимается в диаметрально противоположных точках.

Так же была проведена работа по расчету внутреннего тихоходного вала в системе ANSYS Static Structural. Была скомпилирована твердотельная модель, которая закреплена относительно опор. Приложены нагрузки со стороны

несущего винта, а также приложен вращающий момент с использованием рекомендаций [2, 3] и произведен расчет, описанный в статье [1].

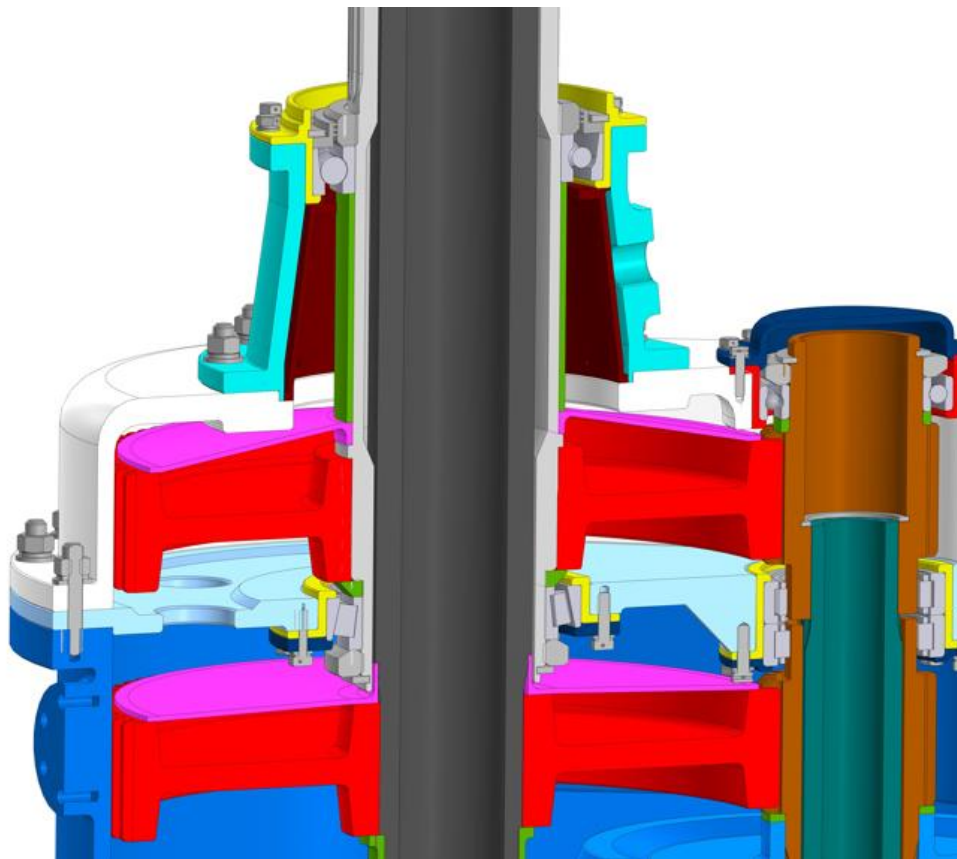


Рисунок 4 – Конструкция тихоходной ступени редуктора

На рисунке 5 представлен результат расчета вала. Максимальные напряжения составили 108,79 МПа, что допустимо для вышеуказанного материала.

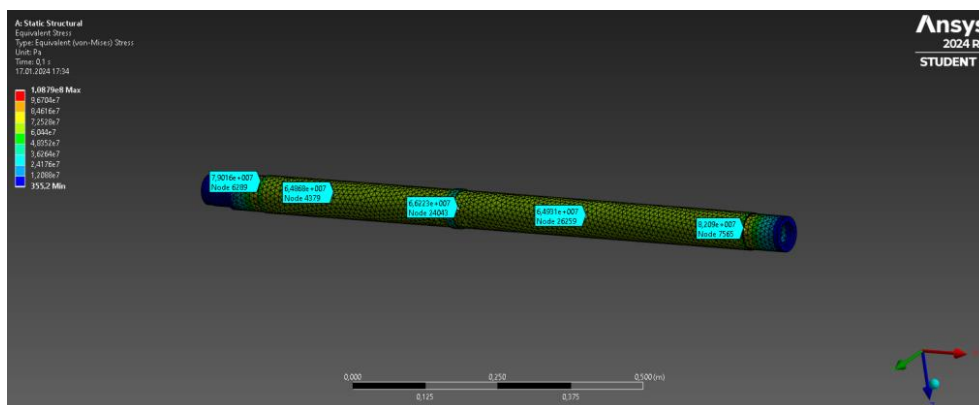


Рисунок 5 – Результаты расчета в ANSYS Static Structural

В результате выполненных расчетно-конструкторских работ получены следующие результаты:

- спроектирован главный редуктор привода к несущему винту беспилотного летательного аппарата вертолётного типа, выполненного по соосной схеме;
- смоделирован и рассчитан на прочность в системе ANSYS Static Structural тихоходный вал несущего винта аппарата на прочность в картина напряжений по поверхности вала, по результатам которого можно сделать вывод о том, что условие прочности в каждом из сечений вала выполняются.

Список использованной литературы

1. Применение компьютерных систем инженерного анализа для определения параметров напряженно-деформированного состояния тихоходного вала главного редуктора беспилотного летательного аппарата вертолётного типа соосной схемы / Е. А. Черноусов, Р. А. Касимов, Т. Д. Кашапов, С. Ю. Решетов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. – 2024. – С. 2130-2134. – <https://conference.osu.ru/>.
2. Расчет закрытых конических передач силового привода: методические указания / Г. А. Клещарева, С. Ю. Решетов, Ю. А. Чирков; Оренбургский государственный ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 29 с.
3. Силаев, Б. М. Расчет и конструирование деталей авиационных механических передач: учебно-справочное пособие / Б. М. Силаев. – Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2008. – 150 с.: ил.
4. Черноусов Е.А. Системы автоматизированного проектирования в реализации задач авиастроения // Шаг в науку. – 2022. – №4. – С. 81–86.
5. Шугаев В. И. Справочник конструктора и технолога авиационного агрегатостроения. Допуски и посадки. / В. И. Шугаев. – Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1953. – 132 с.: ил.

CAD KOMPAS-3D IN THE DESIGN OF THE CONICAL-CYLINDRICAL GEARBOX OF THE HELICOPTER-TYPE UNMANNED AIRCRAFT

**Sergey Yu. Reshetov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Egor A. Chernousov, Roman A. Kasimov,
Timur D. Kashapov, Kirill V. Baranovsky, undergraduate students, 3rd year**

Orenburg State University

Abstract. *The article is devoted to designing the design of conical-cylindrical gearbox of helicopter-type unmanned aircraft in CAD Kompas-3D. The problem of reducing time and resources for the design of aircraft gearboxes of this type is solved. As a result of the work a three-dimensional model of the transmission mechanism is created, on which it is possible to form quite easily a package of design documents for manufacturing of the sought mechanism.*

Keywords: *design, aircraft gearboxes, unmanned aircraft, three-dimensional model.*

СЕКЦИЯ 10



«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА В ЭНЕРГЕТИКЕ И ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ»

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОЦЕНКИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ

Цыганова Ирина Александровна, кандидат экономических наук, доцент
Поярков Климент Никитич, студент бакалавриата, 2 курс

Оренбургский государственный университет

Аннотация: В работе представлены результаты разработки информационной системы для определения наиболее подходящего вида альтернативного источника электроэнергии. Система использует многокритериальный подход с применением теории полезности, позволяя оценивать различные варианты на основании экономических, экологических, технических и социальных критериев. Разработка предполагает анализ альтернативных источников электроэнергии, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия, биомасса и ядерная энергия, с целью выбора оптимального решения для конкретного предприятия или региона.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, теория полезности, многокритериальный анализ, информационная система, энергетическая устойчивость.

Код и рубрика: 81.00.00 Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства

В условиях глобального энергетического кризиса и повышения требований к экологической безопасности поиск и использование альтернативных источников энергии является важнейшей задачей для устойчивого развития общества. Переход на возобновляемые источники энергии снижает зависимость от ископаемого топлива, минимизирует воздействие на окружающую среду и способствует решению проблемы изменения климата.

Согласно энергетической стратегии России, на период до 2035 г. повышение устойчивости и надежности энергоснабжения макрорегионов будет осуществляться с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергетических ресурсов, возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и распределенной генерации. Особенную роль должны сыграть ВИЭ и местные энергоресурсы в решении задач освоения удаленных и изолированных районов [1].

Для принятия обоснованных решений по выбору локальных энергосистем важно совершенствовать методическое и программное обеспечение с учетом различных критериев. Эти критерии могут включать нормированную стоимость энергии, оценку экологической эффективности и учет общественного мнения относительно возможных последствий, связанных со строительством объектов

возобновляемых источников энергии. Также необходимо уделить внимание аспектам неопределенности первоначальной информации и различным сценариям развития.

Развитие такого методического и программного обеспечения представляет собой ключевой инструмент для улучшения процесса принятия решений в области выбора локальных энергосистем. Учет множества критериев позволяет более полно оценивать различные аспекты энергетических систем, что способствует выработке наиболее оптимальных стратегий и решений.

Способность учитывать неопределенность и различные сценарии развития в проводимых оценках и анализах позволяет учесть потенциальные риски и учитывать возможные изменения во внешней среде. Это помогает повысить уровень надежности и адаптивности локальных энергосистем к переменным условиям окружающей среды и рыночной конкуренции.

Например, учеными Иркутского государственного технического университета в работе [1] представлен многокритериальный выбор мощности электростанций на основе возобновляемых источников энергии и местных видов топлива в составе локальной энергосистемы, а в работе [2] представлена методика многокритериального выбора ограниченного количества наиболее перспективных типов электростанций.

Таким образом, постоянное совершенствование методологии и программного обеспечения для учета множества критериев, неопределенности и сценариев развития является важным шагом для обеспечения эффективного выбора и развития локальных энергосистем, способствуя устойчивому и экологически безопасному энергетическому развитию.

Данное исследование базируется на применении многокритериального анализа с использованием теории полезности. Этот подход позволяет совместно учитывать различные критерии выбора, включая экономическую эффективность, экологическую устойчивость, надежность и доступность, гибкость и адаптивность, техническую интеграцию, а также социальную ответственность и общественное мнение. В работе рассмотрены пять основных альтернативных источников энергии: солнечная, ветровая, гидроэнергия, биомасса и ядерная энергия.

На основе многокритериального анализа были определены веса для каждого критерия и оценены альтернативные источники энергии. Ядерная энергия показала наивысшую общую полезность благодаря высокой энергоэффективности и надежности, несмотря на необходимость серьезных мер по обеспечению безопасности. Солнечная и гидроэнергия также демонстрируют высокие показатели, учитывая их экологическую устойчивость и возможности технической интеграции.

Выбор альтернативного источника энергии зависит не только от технических характеристик и экономической эффективности, но и от местных условий, доступности ресурсов и социального восприятия. Разработанная информационная система позволяет пользователям оценивать различные варианты с учетом комплекса факторов, облегчая принятие обоснованных решений.

Далее в работе приводится анализ критериев выбора источников электроэнергии, таблица оценок альтернатив и разработанная программа на Python для вычисления общей полезности каждого источника энергии.

Для оценки альтернативных источников электроэнергии в работе применялись следующие критерии:

- экономическая эффективность учитывает затраты на установку и обслуживание источника энергии, а также срок окупаемости инвестиций;
- экологическая устойчивость включает оценку уровня выбросов вредных веществ и общего воздействия на окружающую среду;
- надежность и доступность определяются стабильностью работы источника энергии и его способностью обеспечивать энергией на протяжении всего времени эксплуатации;
- гибкость и адаптивность оцениваются возможностью интеграции с существующей инфраструктурой и способностью к масштабированию;
- техническая интеграция предполагает оценку совместимости с существующими техническими системами и необходимость в модификациях;
- социальная ответственность и общественное мнение учитывают влияние выбора источника энергии на общество и его восприятие заинтересованными сторонами.

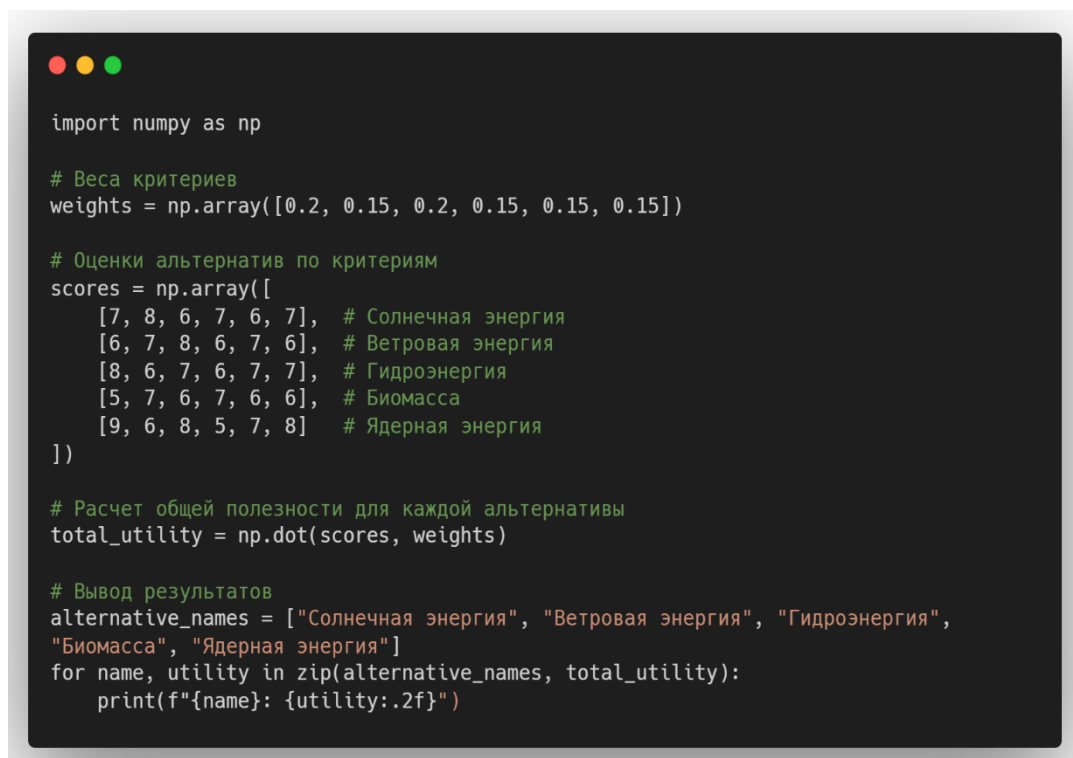
Информация, содержащаяся в таблице 1, представляет оценку каждого источника энергии по вышеуказанным критериям и их весам. Такой подход способствует более объективному и всестороннему выбору источника электроэнергии с учетом многогранных факторов, влияющих на устойчивость и эффективность энергетической системы.

Таблица 1–Оценка альтернатив по критериям различных источников энергии

Критерии	Весовой показатель критерия	Солнечная энергия	Ветряная энергия	Гидро-энергия	Био-масса	Ядерная энергия
Экономическая эффективность	0.2	7	6	8	5	9
Экологическая устойчивость	0.15	8	7	6	7	6
Надежность и доступность	0.2	6	8	7	6	8
Гибкость и адаптивность	0.15	7	6	6	7	5
Техническая интеграция	0.15	6	7	7	6	7
Социальная ответственность и общественное мнение	0.15	7	6	7	6	8

Использование весовых коэффициентов позволяет гибко адаптировать модель к специфическим требованиям конкретного региона или предприятия, придавая большей значимости наиболее критичным аспектам. Таким образом, таблица служит основой для математической реализации многокритериального анализа и является ключевым элементом информационной системы, направленной на поддержку принятия решений в области альтернативной энергетики.

На рисунке 1 представлен фрагмент Python-кода, реализующий вычисление общей полезности каждого альтернативного источника энергии на основе заданных весов критериев и их оценок. Этот программный модуль интегрирует многокритериальный подход с использованием теории полезности, позволяя свести разнородные параметры к единой метрике. Такой подход значительно упрощает процесс сравнения и выбора оптимального варианта, обеспечивая наглядность и прозрачность оценки.



```
import numpy as np

# Веса критериев
weights = np.array([0.2, 0.15, 0.2, 0.15, 0.15, 0.15])

# Оценки альтернатив по критериям
scores = np.array([
    [7, 8, 6, 7, 6, 7], # Солнечная энергия
    [6, 7, 8, 6, 7, 6], # Ветровая энергия
    [8, 6, 7, 6, 7, 7], # Гидроэнергия
    [5, 7, 6, 7, 6, 6], # Биомасса
    [9, 6, 8, 5, 7, 8]  # Ядерная энергия
])

# Расчет общей полезности для каждой альтернативы
total_utility = np.dot(scores, weights)

# Вывод результатов
alternative_names = ["Солнечная энергия", "Ветровая энергия", "Гидроэнергия",
                    "Биомасса", "Ядерная энергия"]
for name, utility in zip(alternative_names, total_utility):
    print(f"{name}: {utility:.2f}")
```

Рисунок 1– Python-код для оценки полезности различных источников энергии с учетом многокритериального подхода

В процессе работы программы, проводится оценка пяти альтернативных источников энергии: солнечной, ветровой, гидроэнергии, биомассы и ядерной энергии. Каждый источник оценивался по всем выше упомянутым критериям, что позволило выявить их сильные и слабые стороны.

Результаты применения разработанной модели представлены на рисунке 2 в виде таблицы и графического интерфейса. Здесь пользователь видит численную оценку общей полезности для каждого источника энергии, что позволяет выявить наиболее предпочтительные альтернативы. Визуализация

данных облегчает восприятие результатов и способствует более информированному и обоснованному принятию решений при выборе источника электроэнергии с учетом комплексного анализа.

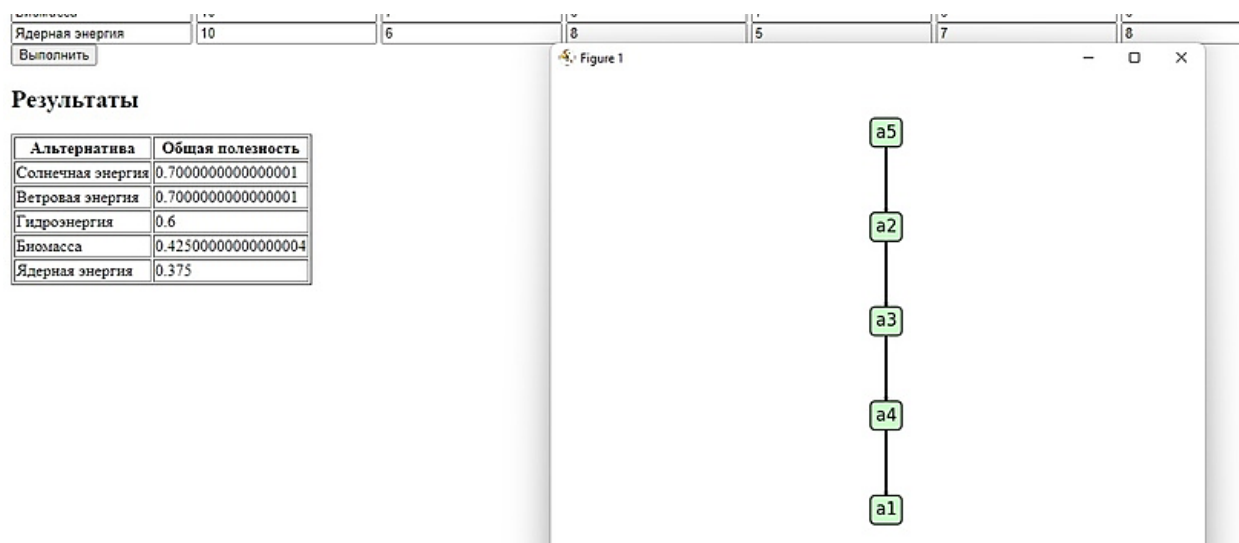


Рисунок 2 – Результаты применения метода оценки многокритериальных альтернатив

Ядерная энергия показала себя как один из наиболее эффективных и надежных источников, благодаря высокой энергоэффективности и стабильности производства энергии. Однако, необходимо учитывать и высокий уровень экологических рисков.

Разработанная информационная система представляет собой важный инструмент для выбора наиболее подходящего альтернативного источника электроэнергии. Применение многокритериального анализа и теории полезности позволяет учитывать широкий спектр критериев и способствует принятию устойчивых энергетических решений.

Список используемой литературы

1. Нефедов, А. С. Многокритериальный выбор мощности электростанций на основе возобновляемых источников энергии и местных видов топлива в составе локальной энергосистемы / А. С. Нефедов, Т. Н. Яковкина // Вестник Иркутского государственного технического университета. –2020. –Т. 24. –№ 6. –С. 1255–1270.
2. Нефедов, А. С. Многокритериальный выбор технологий производства электрической энергии при развитии локальной системы электроснабжения / А. С. Нефедов, В. А. Шакиров // Системы. Методы. Технологии. –2019. –№ 1. –С. 60–67.

3. Богданова, П. А. Обзор методов многокритериальной оптимизации в задачах принятия решений / П. А. Богданова, Д. М. Сахаров, Т. В. Васильева // Инновационные аспекты развития науки и техники. – 2021. – № 4. – С.153-157. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-mnogokriterialnoy-optimizatsii-v-zadachah-prinyatiya-resheniy> (дата обращения: 11.04.2023).

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR DETERMINING THE TYPE OF ALTERNATIVE SOURCE OF ELECTRICITY USING THE METHOD OF EVALUATING MULTICRITERIA ALTERNATIVES BASED ON UTILITY THEORY

Irina A. Tsyganova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Kliment N. Poyarkov, undergraduate student, 2nd year

Orenburg State University

Abstract: *The paper presents the results of the development of an information system to determine the most appropriate type of alternative source of electricity. The system uses a multi-criteria approach using utility theory, allowing you to evaluate various options based on economic, environmental, technical and social criteria. The development involves the analysis of alternative sources of electricity, such as solar, wind, hydropower, biomass and nuclear energy, in order to choose the optimal solution for a particular enterprise or region.*

Keywords: *alternative energy, utility theory, multi-criteria analysis, information system, energy sustainability*

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И СБОРА ДАННЫХ О НЕИСПРАВНОСТЯХ И РИСКАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Филимошин Данил Дмитриевич, Мурзабулатов Ильфат Фуатович,
аспиранты 1 курса**

Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье проанализированы основные методы диагностики состояния насосно-компрессорного оборудования (НКО), приведены примеры применения современных систем диагностики. Авторами рассмотрены преимущества комбинированного подхода, обеспечивающего более точное выявление дефектов.

Ключевые слова: насосно-компрессорное оборудование, вибрационный анализ, термографический контроль, анализ смазочных материалов, акустическая эмиссия, мониторинг состояния, диагностика неисправностей

Код и рубрика: 81.83.20 Техническая диагностика машин и оборудования

Насосно-компрессорное оборудование (НКО) является неотъемлемой частью многих промышленных процессов, обеспечивая транспортировку жидкостей и газов, сохранение давления в системах и выполнение множества других критически важных функций в различных отраслях, включая нефтегазовую, химическую и энергетическую промышленность. Однако данное оборудование часто находится в сложных эксплуатационных условиях и может подвергаться значительным нагрузкам и износу, что может привести к неисправностям и аварийным ситуациям. Для своевременного предотвращения таких проблем и обеспечения бесперебойной работы оборудования необходимы эффективные методы мониторинга и диагностики.

Помимо традиционного контроля технологических параметров (давление, температура, расход и так далее), позволяющих оценить рабочие условия НКО и выявить отклонения от нормального режима работы, одним из самых часто используемых методов диагностики состояния насосно-компрессорного оборудования является вибрационный мониторинг. Данный метод основан на измерении и анализе вибрационных характеристик оборудования и позволяет выявлять неисправности на ранних стадиях их развития. Современные исследования показывают, что вибрационный анализ остается одним из наиболее эффективных методов диагностики НКО. По данным исследования [1] Malla и Panigrahi, проведенном в 2019 году, вибрационный анализ позволяет выявлять более 90% механических неисправностей на ранних стадиях. Среди преимуществ данного метода можно выделить высокую чувствительность, разнообразие детектируемых дефектов (к примеру, дисбаланс, износ

подшипников и трещины), а также возможность проведения непрерывного мониторинга в реальном времени. Однако в связи с высокой чувствительностью можно выявить и недостатки, заключающиеся в чувствительности к внешним помехам, смещению, дрейфу и другим сбоям при достаточно высокой стоимости оборудования и обслуживания. Тем не менее в данной области продолжают проводиться исследования, фокусирующиеся на улучшении точности и эффективности вибрационного анализа. Например, предложенный в работе [2] 2023 года исследователями Ullah, Ahmad и др. метод, включающий интеллектуальную систему диагностики неисправностей для центробежных насосов на основе вейвлет-когерентного анализа (WCA) и глубокого обучения (deep learning), выявляет неисправности с большей точностью по сравнению с существующими методиками. Можно так же упомянуть исследование [3], проведенное Fan, Li, Peng и др. в 2023 году, фокус которого направлен на диагностику неисправностей самих вибрационных датчиков. Исследователи подчеркивают, что, как правило, срок службы оборудования значительно превышает срок службы датчиков и они могут выйти из строя намного раньше самого оборудования. Для своевременного предотвращения данной ситуации они предлагают метод диагностики неисправностей датчиков, основанный на экстремальном усилении градиента, что позволяет выявлять семь распространенных типов неисправностей. Не исключено, что в обозримом будущем будут получены наиболее высокоточные системы вибрационного анализа, которые будут более доступными и удобными в эксплуатации.

Следующим методом можно отметить термографический (тепловизионный) контроль. ИК-термография позволяет выявлять перегрев компонентов, локальных зон трения, утечек тепла и другие тепловые аномалии, свидетельствующие о неисправностях. Преимущества данного контроля заключаются в бесконтактности, быстрой и точной диагностики в реальном времени. Однако, как и в случае с вибрационным анализом, имеются ограничения, связанные с влиянием внешних условий на точность измерений и высокую стоимость оборудования. С другой стороны, всё больше проводятся исследования, изучающие методы активной-инфракрасной термографии (IRT) в различных областях применения, позволяющей уменьшить влияние внешних условий на измерения. К примеру, в исследовании [4] Ciampa, Mahmoodi и др. рассматриваются новые подходы, основанные на терморезистивном внутреннем нагреве, которые могут повысить точность и снизить энергозатраты. Нельзя также забывать о применении методов машинного обучения. Интеграция новых алгоритмов обработки данных может увеличить эффективность термографии.

Анализ смазочных материалов (АСМ) представляет собой метод диагностики состояния НКО, позволяющий оценить состояние масла и выявить наличие загрязнений и продуктов износа. Традиционно, данный метод содержит сбор проб смазочных материалов из оборудования и их лабораторный анализ, включающий: спектрометрию, хроматографию, феррографию, а также вязкостные и кислотные числа. Однако данный метод требует наличия специализированного оборудования и высококвалифицированного персонала для интерпретации данных, не говоря уже о временных затратах на проведение

анализов [5]. При этом, современные разработки и исследования показывают, что автоматизация анализа возможна и активно развивается. Автоматизированные системы анализа масла используют датчики и встроенные микрочипы для интерпретации измерений и передачи данных в реальном времени. Уже давно существуют системы [6], по типу Oil Condition Monitor (OCM) от Foster-Miller, представляющие собой оптическую систему, оснащенную миниатюрным инфракрасным спектрометром, отслеживающим определенные длины волн, соответствующие характеристикам масла. Данные системы [6] позволяют измерять состояние масла в реальном времени, включая его кислотность, содержание воды, термоокислительную деградацию, разбавление топливом и истощение антиоксидантов. Автоматизация АСМ позволит повысить эффективность мониторинга, снизить затраты на обслуживание и уменьшить влияние человеческого фактора [7].

Акустическая эмиссия (АЭ) является методом диагностики и мониторинга состояния насосно-компрессорного оборудования, основывающимся на регистрации и анализе высокочастотных акустических волн, возникающих при образовании и распространении дефектов в материале. Эти волны регистрируются датчиками акустической эмиссии, которые преобразуют их в электрические сигналы. Затем сигналы анализируются для определения местоположения, интенсивности и характера источника акустической эмиссии. Как и предыдущие, данный метод позволяет выявлять начальные стадии разрушения материалов, а также определять местоположение и характер дефектов в реальном времени. При высокой чувствительности и неразрушающем контроле, данный метод имеет несколько недостатков, заключающихся в чувствительности к внешним шумам и сложной интерпретации данных. Тем не менее, исследования [8] Valeh I. Bakhshali, Nail T. Mardanov и др., а также работа [9] Gongtian Shen, Junjiao Zhang с соавторами показывают, что данный метод демонстрирует высокую эффективность в обнаружении трещин и коррозии в насосно-компрессорных установках. Использование современных алгоритмов обработки сигналов, таких как декомпозиция сигнала и применение фильтров, позволяют улучшить качество диагностики и снизить влияние внешних шумов [9]. В свою очередь, в статье [10] Beijer, Drzewieniecki и др. подчеркивается, что интеграция АЭ с другими методами мониторинга, такими как вибрационный анализ, позволяет получить более полную картину состояния оборудования.

Существует ещё много различных методов и технологий диагностики и мониторинга неисправностей НКО, включая электрический анализ, газовый анализ, рентгеновскую дефектоскопию и др. Каждый из них имеет свои сильные и слабые стороны, либо направлен на выявление конкретных неисправностей, что делает невозможным полагаться только на один из них. Комбинированный подход объединяет несколько методов диагностики и обеспечивает более точное обнаружение дефектов. Это подтверждается многочисленными исследованиями, в том числе работами [11] Achouch и др., [12] Liu и Wu, а также уже упомянутой выше работе [10] Beijer, Drzewieniecki и др. Использование нескольких методов обеспечивает полное понимание состояния оборудования, что способствует раннему выявлению и устранению неисправностей НКО, в дальнейшем снижая

затраты на ремонт и обслуживание, а также продлевая срок службы оборудования.

В промышленности уже широко применяются так называемые системы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), которые обеспечивают централизованный сбор и обработку данных с различных датчиков и устройств. Они позволяют оперативно реагировать на изменения в состоянии оборудования и формировать отчеты для дальнейшего анализа. Современные программные решения используют алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта для прогнозирования неисправностей и оценки рисков. Они обрабатывают большие объемы данных и выявляют скрытые закономерности, недоступные традиционным методам анализа. Отчет [13] Control Engineering подчеркивает, что SCADA-системы играют ключевую роль в предотвращении простоев и обеспечении предиктивного и профилактического обслуживания. Опрос [13] показал, что 64% респондентов отметили значимость обновления SCADA-систем для предотвращения непредвиденных простоев, что способствует повышению безопасности и надежности операций. Технологии интернета вещей (IoT) позволяют создавать интегрированные системы мониторинга, где все устройства связаны в единую сеть, что обеспечивает доступ к данным в режиме реального времени и позволяет удаленно контролировать состояние оборудования. В частности, исследователи [14] Chen, Wei и др., рассматривающие системы IoT, предназначенные для мониторинга центробежных насосов, выявили, что использование интеллектуальных датчиков и облачных технологий позволило достичь высокой точности диагностики и прогнозирования отказов, что способствует более эффективному управлению техническим обслуживанием и снижению затрат на ремонт. К тому же в вышеупомянутой работе [11] Achouch и др., проведенной на базе многосекционного центробежного компрессора, было выявлено, что использование алгоритмов машинного обучения и IoT-сенсоров позволяет намного эффективней предсказывать отказы и оставшийся срок службы оборудования.

Таким образом, комбинированный подход с интеграцией современных технологий мониторинга является ключевым элементом в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации НКО в различных отраслях промышленности. Этот подход не только значительно снижает риски аварий и продлевает срок службы оборудования, но и улучшает эффективность управления техническим обслуживанием, обеспечивая раннее выявление потенциальных неисправностей и их своевременное устранение.

Список используемой литературы

1. Chandrabhanu Malla, Isham Panigrahi. Review of Condition Monitoring of Rolling Element Bearing Using Vibration Analysis and Other Techniques [Electronic resource]. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42417-019-00119-y> – DOI: 10.1007/s42417-019-00119-y (дата обращения: 05.06.2024).

2. Niamat Ullah, Zahoor Ahmad, Muhammad Farooq Siddique, Kichang Im, Dong-Koo Shon, Tae-Hyun Yoon, Dae-Seung Yoo, Jong-Myon Kim. An Intelligent Framework for Fault Diagnosis of Centrifugal Pump Leveraging Wavelet Coherence Analysis and Deep Learning [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/21/8850>. – DOI: 10.3390/s23218850 (дата обращения 05.06.2024)
3. Chao Fan, Cheng Li, Yanfeng Peng, Yiping Shen, Guanghui Cao, Sai Li. Fault Diagnosis of Vibration Sensors Based on Triage Loss Function-Improved XGBoost [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/21/4442>. – DOI: 10.3390/electronics12214442 (дата обращения 05.06.2024).
4. Francesco Ciampa, Pooya Mahmoodi, Fulvio Pinto, Michele Meo. Recent Advances in Active Infrared Thermography for Non-Destructive Testing of Aerospace Components [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/2/609>. – DOI: 10.3390/s18020609 (дата обращения 05.06.2024)
5. Ковальский, Болеслав Иванович. Методы контроля смазочных материалов для машин и механизмов различной степени нагруженности: монография / Б. И. Ковальский; Сиб. федер. ун-т, Ин-т нефти и газа. – Красноярск: ИПК СФУ, 2011. – 128 с.
6. David C. Schalcosky, Carl S. Byington. Advances in Real-Time Oil Analysis. Feature Article in Practicing Oil Analysis Magazine, Published by Noria Corporation [Electronic resource]. – URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/138/real-time-oil-analysis>. (дата обращения 05.06.2024)
7. Roy M. Mortier, Malcolm F. Fox, Stefan T. Orszulik. Chemistry and Technology of Lubricants // Springer. 2009. pp. 459-495. DOI: 10.1023/b105569
8. Valeh I. Bakhshali, Nail T. Mardanov, Aygun A. Bekirova, Ismayil A. Ismayil. Development of Methods for Processing Acoustic Emission Signals of Sensors for the Compressor-Pump Station's Control [Electronic resource]. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-92127-9_93. DOI: 10.1007/978-3-030-92127-9_93 (дата обращения 05.06.2024)
9. Gongtian Shen, Junjiao Zhang, Zhanwen Wu. Advances in Acoustic Emission Technology. Springer Proceedings in Physics [Electronic resource]. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-9837-1>. DOI:10.1007/978-981-15-9837-1 (дата обращения 05.06.2024)
10. Artur Bejger, Jan Bohdan Drzewieniecki, Przemysław Bartoszek, Ewelina Frank. The Use of Coherence Functions of Acoustic Emission Signals as a Method for Diagnosing Wind Turbine Blades [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/22/7474>. – DOI: 10.3390/en16227474 (дата обращения 05.06.2024)
11. Mounia Achouch, Maria Dimitrova, Rizck Dhouib, Hussein Ibrahim, Mehdi Adda, Sasan Sattarpanah Karganroudi, Khaled Ziane, Ahmad Aminzadeh. Predictive Maintenance and Fault Monitoring Enabled by Machine Learning: Experimental Analysis of a TA-48 Multistage Centrifugal Plant Compressor [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1790>. DOI: 10.3390/app13031790 (дата обращения 05.06.2024)

12. Tao Liu, Zaixin Wu. A Vibration Analysis Based on Wavelet Entropy Method of a Scroll Compressor [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/1099-4300/17/10/7076>. DOI: 10.3390/e17107076 (дата обращения 05.06.2024)
13. Mark T. Hoske. Control Engineering 2023 SCADA research: Many wait too long to upgrade [Electronic resource]. – URL: <https://www.controleng.com/articles/control-engineering-2023-scada-research-many-wait-too-long-to-upgrade/>. (дата обращения 05.06.2024)
14. Lei Chen, Lijun Wei, Yu Wang, Junshuo Wang, Wenlong Li. Monitoring and Predictive Maintenance of Centrifugal Pumps Based on Smart Sensors [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/6/2106>. DOI: 10.3390/s22062106 (дата обращения 05.06.2024)

MONITORING AND DATA COLLECTION METHODS FOR FAULTS AND OPERATIONAL RISKS OF PUMP AND COMPRESSOR EQUIPMENT

Ekaterina Vasilyevna Poyarkova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Daniil Dmitrievich Filimoshin, Ilfat Fuatovich Murzabulatov, 1st-year postgraduate students

Orenburg State University

Abstract. *The article analyzes the main methods of diagnosing the condition of pump and compressor equipment (PCE) and provides examples of the application of modern diagnostic systems. The authors discuss the advantages of a combined approach that ensures more accurate detection of defects.*

Keywords: *pump and compressor equipment, vibration analysis, thermographic control, oil analysis, acoustic emission, condition monitoring, fault diagnosis*

СЕКЦИЯ 11

(специальная секция для школьников)



«КРЕАТИВНАЯ МЕХАНИКА И КОНСТРУКТИВНОЕ ТВОРЧЕСТВО»

ГРАФЕН – МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО

Иткулов¹ Ильнар Ильфатович, студент бакалавриата, 2 курс

Дмитриева² Мария Юрьевна, ученица 9 класса

¹Оренбургский государственный университет

²МАОУ «Равнинная СОШ», п. Равнинный Оренбургской области

Аннотация: В данной статье рассмотрена особенность графена, представлены области применения исследуемого материала, дано представление об удивительных механических свойствах этого материала.

Ключевые слова: графен, графит, прочность, аэрографен, нанотрубки

Код и рубрика: 43.00.00 Общие и комплексные проблемы естественных и точных наук

Как известно, механика – это наука о прочности, жесткости и устойчивости. В мире много материалов, которые обладают этими способностями, например, резина, она сильна в упругости, что обеспечивает ей высокую прочность, но она не жесткая и не устойчивая. Но есть материал, который силен во всех трёх способностях, это графен.

Графен – это одноатомный слой углерода, уложенный в виде шестиугольной решётки. Графен получают с помощью механического расщепления или химического осаждения из графита, являющегося его трёхмерным аналогом. Графен обладает рядом уникальных свойств, делающих его одним из самых перспективных материалов:

Графен является одним из самых прочных известных материалов – его прочность в 200 раз выше прочности стали при сопоставимой гибкости. Это делает его идеальным кандидатом для создания новых композитных материалов, лёгких и прочных конструкций.

Графен обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, превосходящей многие традиционные материалы, что открывает перед ним широкие перспективы в электронике и энергетике. Эти свойства позволяют использовать графен для создания высокоэффективных теплоотводов, гибких экранов, электронных компонентов.

Графен пропускает до 97,7% видимого света, делая его идеальным для применения в сенсорных экранах и солнечных панелях. При этом он практически непроницаем для газов и жидкостей, что позволяет использовать его в качестве сверхтонких, но эффективных барьерных покрытий [1].

Графен имеет прочность около 130 гигапаскалей для прочности и 1,0 терапаскаль для эластичности. Однако графен также имеет низкую стойкость к трещинам, другими словами, он очень хрупкий [2]. За счет таких свойств графен начали добавлять в другие материалы, и ещё это снижает его стоимость. На рисунке 1 представлен аэрографен.



Рисунок 1 – Аэрографен [3]

Аэрографен гибкий и эластичный, он может возвращаться к своей конфигурации после сжатия (рисунок 2). Кроме того, он может абсорбировать в 850 раз больше собственного веса. Аэрографен описывается как «сеть ковалентно связанных листов графена, окружающих большие воздушные карманы, что приводит к плотности порядка 3 мг / см^3 » [3].

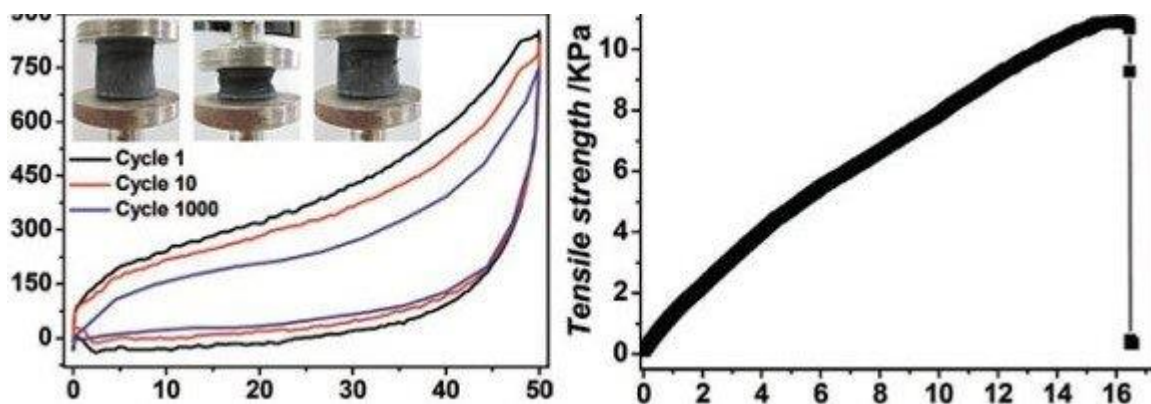


Рисунок 2 – Эксперимент на сжатия аэрографена [3]

Также можно менять форму графена, так как он очень податливый материал. За счёт изменения формы могут получаться другие прочные материалы, например, нано трубки (рисунок 3). Углеродные нанотрубки – аллотропная модификация углерода, представляющая собой полую цилиндрическую структуру диаметром от десятых до нескольких десятков нанометров и длиной от одного микрометра до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей [4-5].

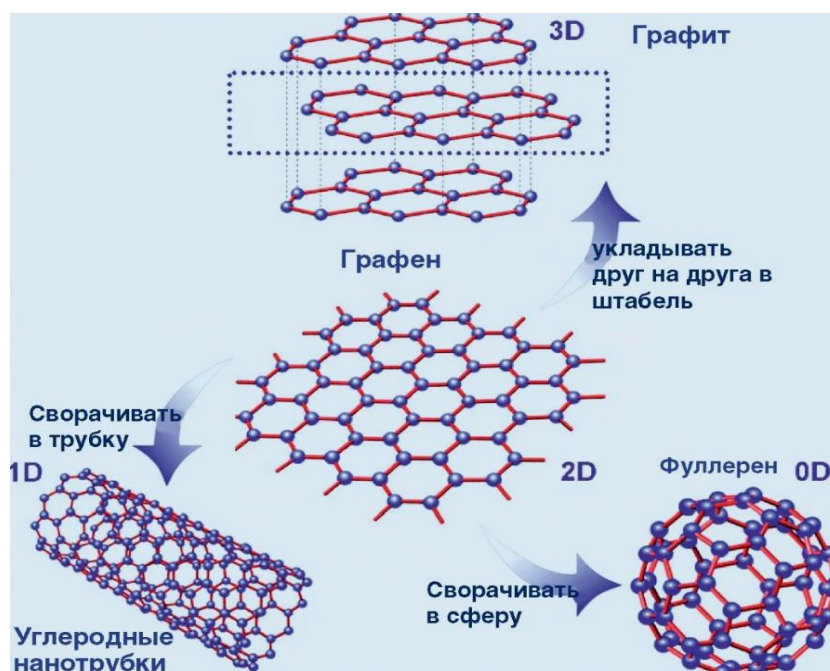


Рисунок 3 – Изменение формы графена [5]

На данный момент из-за своей цены и сложности добывания, графен есть только в лабораториях, но, когда материал с такими потрясающими свойствами покинет стены лабораторий, станет понятно, в каком направлении пойдет развитие практического применения данного вещества. На сегодняшний день химики, физики, а также инженеры-электронщики уже заинтересовались уникальными возможностями графена. Ведь всего несколькими граммами этого вещества можно покрыть территорию, равную футбольному полю [6]. Основными направлениями, где может применяться графен, станут: электроника следующего поколения, включая гибкие и носимые устройства; создание новых композитных материалов с улучшенными механическими и теплопроводными свойствами; а также развитие энергоэффективных систем и сенсорных технологий. Внедрение графена позволит значительно повысить производительность и долговечность устройств, что откроет новые горизонты в науке и технике.

Также графен используют для создания сверхлегких, тонких, гибких, но при этом чрезвычайно прочных экранов, транзисторов и других электронных компонентов. Его применение обещает революцию в производстве мобильных телефонов, ноутбуков и даже носимой электроники, делая устройства более мощными, энергоэффективными и устойчивыми к повреждениям.

В области энергетики графен способствует созданию более эффективных, быстрозаряжаемых и долговечных аккумуляторов и суперконденсаторов. Это позволяет улучшить хранение и использование энергии, что критически важно для развития возобновляемых источников энергии.

Графен также применяют в создании новых биосенсоров, способных обнаруживать очень низкие концентрации биомаркеров для ранней диагностики заболеваний. Также он используется в разработке

инновационных доставочных систем для лекарств и в регенеративной медицине для поддержки роста клеток.

Добавление графена в как пластик значительно улучшает прочность, устойчивость к ударам и термостойкость. Это открывает новые возможности для строительства и производства более легких и прочных конструкций [1].

В будущем графен может быть использован для колонизации на Марс, потому что из-за его прочности и легкости он отлично подходит, чтобы из него делать различные комплектующие, так как в космос поднять очень тяжелые, но в то же время крепкие материалы стоит очень дорого. Но различные соединения с графеном, могут стать дешевле и прочнее, что даст огромный простор для его использования, например, сделать не стальные балки, а графеновые, это повысит прочность балки, и такая балка сможет выдержать больше напряжение, что поможет при землетрясениях и разрушении зданий.

Список используемых источников

- 1 Сайт Trendmind. –URL: <https://trendmind.space/techtrends/grafen/> (дата обращения 27.05.2024)
- 2 Статья в Яндекс Дзен. –URL: <https://clck.ru/3At9id> (дата обращения 27.05.2024)
- 3 Статья в Яндекс Дзен. –URL: <https://dzen.ru/a/YFrjcGckn0fUizA4> (дата обращения 27.05.2024)
- 4 Маркетинговый отчет рынка производства графена. –URL: <https://keuees.ru/files/graphene-03-2023.pdf> (дата обращения 27.05.2024)
- 5 Сайт mediaex наука. – URL: https://mediaex.ru/the_science/grafen-okazalsa-procnee-vseh.html (дата обращения 27.05.2024)
- 6 Статья Про100наука. – URL: <https://vk.com/@-184977692-grafen-chno-za-chudo-material> (дата обращения 27.05.2024)

GRAPHENE IS THE MATERIAL OF THE FUTURE

Ilnar I. Itkulov¹, Bachelor's degree student, 2nd year
Maria Yu. Dmitrieva², 9th grade student

¹Orenburg State University

²MAOU "Ravninnaya SOSh", village of Ravninny, Orenburg region

Abstract: *In this article, a feature of graphene is considered. An idea of the amazing mechanical properties of this material is given. The areas of application of the studied material are also presented.*

Keywords: *graphene, graphite, strength, aerographene, nano tubes*

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Медведев¹ Савелий Сергеевич, студент бакалавриата, 2 курс
Дмитриева² Мария Юрьевна, ученица 9 класса

¹Оренбургский государственный университет

²МАОУ «Равнинная СОШ», п. Равнинный Оренбургской области

Аннотация. В статье проанализированы основные механические свойства древесины. Описаны результаты при проверке на прочность при разных видах нагрузок. Описано использование древесины при строительстве.

Ключевые слова: древесина, прочность, изгиб, растяжение, сжатие, скалывание, плотность, жесткость.

Код и рубрика: 43.00.00 Общие и комплексные проблемы естественных и точных наук

Клеточные стенки растений являются прочными жесткими структурами, которые обеспечивают поддержку клетке. Целлюлоза-главный компонент растительной клетки. Как известно, целлюлоза –это белое твердое, стойкое вещество, которое не разрушается при нагревании. Она нерастворима в воде, слабых кислотах и большинстве органических растворителей. Ее молекулы расположены в длинных параллельных цепях, которые образуют сильные микрофибриллы. Эти микрофибриллы встроены в другие полисахариды и белки, придавая клеточной стенке прочность и структуру. Они представляют собой длинные нитеподобные структуры-трубочки.

Таким образом, с инженерной точки зрения любую древесину можно считать пучком параллельных трубок. Поскольку материал этих трубок по существу для всех пород одинаков, то прочность древесины зависит от толщины стенок и, следовательно, от средней плотности древесины.

Свойства волокон или трубок из целлюлозы идентичны механическим качествам древесины и практически не отличаются от них.

Механические свойства - совокупность показателей, характеризующих сопротивление материала воз действующей на него нагрузке.

Механические свойства древесины оцениваются путем анализа нетронутых образцов, у которых нет каких-либо видимых дефектов. Эти тесты дают оценку сопротивления при приложении к древесине различных сил:

- 1) сжатие (сопротивление дробления);
- 2) растяжение (сопротивление сил тяги);
- 3) статический изгиб (сопротивление из-за изгибающих нагрузок);
- 4) сдвиг (сила, действующая параллельно волокнам) [1].

Эти тесты дают ценную информацию о структурной целостности и пригодности древесины для конкретных применений.

Различают следующие свойства древесины, проявляющиеся под воздействием механических нагрузок: прочность –свойство материала

сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих под действием внешних сил, деформативность – способность материала изменять форму без разрушения, например изгибаться. Поскольку древесина – анизотропный материал, т.е. материал с различными свойствами в разных направлениях, указывают направление действия нагрузок: вдоль или поперек волокон. При применении внешних сил материал начинает сопротивляться им. Из-за этого в его структуре возникают внутренние силы. Отношение этих сил к площади сечения называются напряжениями.

Предел прочности – максимальное механическое напряжение, выше которого происходит разрушение материала, подвергнутого деформации.

Предел прочности определяют на малых, чистых и не имеющих пороков образцах в лабораториях на испытательных машинах. Эти образцы имеют базисное сечение с размерами 20*20 мм и должны включать не менее 4-5 годовичных слоёв. Некоторые виды испытаний производят на образцах, сечение которых отличается от указанного. Прочность при сжатии определяется на образцах призматической формы. Призматические (прямоугольные образцы) являются очень распространенными для использования их при тестировании на прочность при сжатии. Это связано с тем, что такие образцы предлагают простую и последовательную геометрию, которая допускает надежные результаты [2].

Обычно, при изгибе, древесина может прочно сопротивляться деформации и сохранять свою форму, особенно если она имеет высокую плотность и прочность. Однако, некоторые виды древесины могут быть более склонны к трещинам или разрывам при изгибе из-за своей структуры или наличия дефектов.

Кроме того, влажность древесины также может влиять на ее прочность при изгибе. Сухая древесина обычно более крепка и устойчива к изгибу, в то время как влажная древесина может быть более подвержена деформации. Также важно учитывать направление волокон древесины при изгибе, поскольку оно может влиять на ее прочность и устойчивость.

Прочность древесины при растяжении вдоль более высока, чем прочность при растяжении поперек. Эта прочность примерно в 20 раз меньше. Это означает, что древесина редко используется, когда растяжение идет поперек волокон.

Предел прочности при сжатии зависит от направления приложенной силы относительно структуры материала. Есть различия при сжатии вдоль и поперек волокон.

При сжатии вдоль волокон материал испытывает небольшое укорочение, что указывает на его сопротивление. Происходит продольный изгиб отдельных волокон. Если при этом древесина влажная и мягкая, то это может привести к раздавливанию по бокам. В сухой древесине происходит сдвиг между разными участками. При сжатии вдоль: волокна древесины длинные и плотно упакованы, что дает им значительную устойчивость к раздавливанию.

Прочность древесины при сжатии поперек волокон ниже, чем вдоль волокон, примерно в восемь раз. При сжатии поперек: структура здесь намного слабее, волокна легко разделяются, что приводит к более низкой прочности. Сопротивление материала снижается, что приводит к большей деформации при той же силе. При сжатии поперек волокон не всегда можно точно установить момент разрушения древесины и определить величину разрушающего груза [3].

Прочность древесины при сдвиге определяется ее способностью сопротивляться сдвигающим усилиям, действующим параллельно ее годичным кольцам. При сдвиге древесина обычно деформируется пластически, т.е. изменяет свою форму без разрушения. Однако при превышении предельной прочности древесины происходит разрыв волокон, что приводит к ее разрушению. Но когда древесина подвергается силам, приложенным перпендикулярно, она становится слабее. Все это из-за того, что волокна легко отделяются и древесина подвержена растрескиванию и расщеплению.

Поведение древесины при сдвиге зависит и от других многих факторов, таких как порода дерева, влажность, структура, размер и ориентация волокон. Некоторые породы древесины, такие как дуб и ясень, обладают высокой прочностью при сдвиге, в то время как другие, например, сосна, обычно имеют более низкую прочность.

Прочность древесины при скалывании определяется ее способностью сопротивляться разделяющим силам при воздействии ударной нагрузки или резких движений. Под ударной нагрузкой понимается нагрузка, которая составляет значительной величины за очень короткий промежуток времени. Этот параметр важен для оценки возможности использования древесины в конструкциях и изготовлении деревообрабатывающих изделий.

Прочность древесины при скалывании зависит от ее внутренней структуры, плотности и влажности. Для определения этого параметра проводят специальные испытания, в ходе которых измеряют силу, необходимую для разделения древесины на части. Высокая прочность при скалывании означает, что древесина будет устойчива к механическим воздействиям, таким как удары или резкие нагрузки. Низкая прочность при скалывании может привести к повреждениям конструкций из древесины или к быстрому износу изделий.

Различные виды древесины являются главным фактором при анализе механического поведения древесины, так как они находятся под сильным влиянием его структуры.

Прочность древесины значительно варьируется в зависимости от породы дерева, что обусловлено различиями в структуре волокон, плотности и химическом составе. Твердые породы, такие как дуб, ясень и гикори, обладают высокой плотностью и прочностью, что делает их особенно подходящими для несущих конструкций и изделий, испытывающих значительные механические нагрузки. Например, дуб отличается высокой устойчивостью к сжатию и изгибу, а также хорошей сопротивляемостью к

износу и деформации, что объясняется плотным расположением волокон и высоким содержанием лигнина.

В то же время мягкие породы, такие как сосна, ель и лиственница, характеризуются более низкой плотностью, но обладают хорошей упругостью и легкостью обработки. Лиственница, кроме того, славится своей высокой стойкостью к гниению благодаря наличию природных смол, что расширяет область её применения в наружных и влажных условиях. Выбор древесины для конкретных конструкций и изделий должен учитывать эти механические особенности, а также условия эксплуатации, чтобы обеспечить необходимую долговечность и надежность.

Плотность древесины повышается относительно возраста дерева. Когда дерево стареет, его рост в диаметре замедляется. Это замедление сопровождается ростом годовых колец, каждое из которых составляет примерно 1 см. Из-за этого доля позднего дерева увеличивается. Это приводит к некоторому повышению механических свойств. В пределах одного ствола эти свойства изменяются по высоте и радиусу. По радиусу механические свойства увеличиваются постепенно от ядра дерева к его коре, где наблюдается более высокая прочность. Но при приближении к внешнему слою коры эти свойства начинают снижаться [4].

Помимо ценных архитектурных особенностей, область применения древесины зависит от ее местоположения.

Деревянные конструкции для общественных зданий, промышленных и сельскохозяйственных зданий могут быть изготовлены с наиболее оптимальными конструкционными свойствами благодаря малой плотности и высокой прочности и жесткости сушеной древесины. Экологическая чистота делает древесину особенно целесообразной для строительства жилья, в частности коттеджного типа. Она является возобновляемым ресурсом, в отличие от бетона и стали. Он может быть переполнен и восстановлен. В ограждающих частях отапливаемых зданий при этом хорошо используется малая теплопроводность сухой древесины поперек волокон. Клеевые деревянные конструкции имеют ряд преимуществ: металлоемкость снижается в 2-3 раза, масса зданий в 2-3 раза, трудоемкость монтажа в 2,5 раза. Несущие конструкции построены из сосны, ели и лиственницы, а также пихты и кедра. Это связано с тем что такие виды деревьев относительно легкие, но достаточно прочные, их легко резать, их виды широко доступны, более влагоустойчивы, более долговечны. Лиственные породы так как они хорошо держат свою форму, часто используют для опалубки. Относительно короткий срок службы лиственных лесов делает их подходящими для временных структур, которые будут демонтировать позже, такие как леса, опалубку и временные укрытия.

Прочность на изгиб делает ее идеальным материалом для строительства несущих конструкций, таких как балки, стойки, стропила. Также древесину хорошо использовать для оконных рам, полов, лестниц. Также ее можно использовать для обшивки стен и потолков, так как она обладает хорошей звукоизоляцией [5].

Список использованной литературы

1. Механические свойства древесины: данные технической строительной экспертизы. – Режим доступа: <https://tse.expert/info-block/opinions/mekhanicheskie-svoystva-drevesiny/> (дата обращения 27.05.2024)
2. Механические свойства древесины. – Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=808772> (дата обращения: 02.06.2024)
3. Прочность древесины при растяжении вдоль и поперек волокон. Форма и размеры образцов. Чем объясняется разница в прочности древесины при растяжении вдоль и поперек волокон? – Режим доступа: [https://stud-wood.net/1756408/tovarovedenie/prochnost-drevesiny-szhatii-rastyazhenii-vdol-poperek-voлокон-staticheskom-izgibe-sdvige](https://stud-wood.net/1756408/tovarovedenie/prochnost-drevesiny-szhatii-rastyazhenii-vdol-poperek-voлокon-staticheskom-izgibe-sdvige) (дата обращения: 27.05.2024)
4. Механические свойства и испытания древесины: учебное пособие / И. Е. Папулова. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 85 с.
5. Древесина и ее значение в строительстве. – Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=803642> (дата обращения: 02.06.2024)

MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD MATERIALS

Saveliy S. Medvedev¹, Bachelor's degree student, 2nd year
Maria Yu. Dmitrieva², 9th grade student

¹Orenburg State University

²MAOU "Ravninnaya SOSH", village of Ravninny, Orenburg region

Annotation. *The article analyzes the basic mechanical properties of wood. The results of testing for strength under different types of loads are described. The use of wood in construction is described.*

Keywords: *wood, strength, bending, stretching, compression, chipping, density, rigidity.*

ИННОВАЦИОННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И ПЕРЕПЛАНИРОВКА

Иванова¹ Виктория Станиславовна

Иванов² Владислав Александрович, ученик 5 класса

¹Оренбургский государственный университет

²МОАУ «Лицей №8», г. Оренбург

Аннотация. В работе представлены наблюдения за домом по адресу: город Москва, бульвар Матроса Железняка, дом 11 до и после реконструкции, строительные работы которого производились без выселения жильцов.

Ключевые слова: реконструкция и перепланировка, независимый фундамент

Код и рубрика: 67.00.00 Строительство. Архитектура

Строительство на базе старого дома, также известное как реконструкция или перепланировка, может быть выгодным способом обновления и расширения существующего жилого пространства.

Одним из примеров такой реконструкции жилой пятиэтажный дом, расположенный по адресу: бульвар Матроса Железняка, д. 11 на севере столицы [1]. Реконструкция дома началась в октябре 2019 года. Фотография дома до реконструкции представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Дом по адресу: г. Москва, бульвар Матроса Железняка, д. 11 [1]

Первый опыт по расширению жилплощади в домах Сталинской постройки был получен в 2017 году в Москве на ул. Мишина, д. 32. На примере московской четырехэтажки стало возможным создавать новые проекты обстроек и надстроек для сотен подобных зданий [2].

Реконструкция подобных домов проходит по всем правилам, прямо с живущими в здании жителями. Единственное, в период реконструкции, людям рекомендуют меньше времени проводить дома в дневные часы, во время строительных работ, чтобы не мешал шум стройки, грязь и пыль. Но эти все неудобства временные и полностью себя оправдывают. Взамен, жители получают капитальный ремонт с заменой всех коммуникаций в своем доме, плюс увеличение площади квартиры за счёт обстройки, вне зависимости от того, вкладывают ли они деньги, от 18 до 34 квадратных метров.

Это стало возможным совсем недавно. В итоге, само здание обстраивается, а вверх устремляется ещё несколько этажей. Такое обновление не самый бюджетный вариант, но платит не город, и не застройщик, а жители, которые становятся пайщиками и помогают реконструкции дома, приобретая дополнительные квадратные метры по себестоимости. Это очень выгодный и привлекательный вариант для больших семей, что делает возможным и комфортным проживание бабушек и внуков в одном доме, что существенно может облегчить жизнь всей семьи в большом мегаполисе.

При таком способе реконструкции нагрузка на старое здание не увеличивается, верхние этажи стоят на собственном фундаменте, а площадь таких квартир и планировка уже совсем другая. Но под такую реконструкцию подходят не все здания.

Перед реконструкцией проходит обязательное обследование зданий. Фундамент и стены не должны иметь трещин. Дом должен находиться вне улично-дорожной сети более трех метров, вне ограничения культурных, высотных, природных зон. На то, чтобы собрать всю документацию потребуется несколько месяцев, но самое сложное, получить согласие на строительство всех жильцов.

Строительство дома начинают с укрепления старого фундамента с помощью буронабивных свай. Потом заливают новый независимый фундамент, который служит основанием для двадцати пилонов [3]. Колонны выстраивают до уровня крыши. Затем на них устанавливают основу для будущей надстройки и возводят верхние этажи. Возводят стены из монолитного бетона, с отступом на два метра от старого здания. Этот отступ в два метра и есть пристройка с новыми «квадратами» [4].

Образовавшееся пространство можно использовать по-разному, насколько позволяет фантазия жильцов. Вход в данное пространство без двери, просто широкий проем на месте бывшего окна. В доме появится лифт, а у жителей также появятся межквартирные просторные холлы к лифтам.

Будет произведена полная замена электрики, инженерных систем и систем отопления. Также газовое оборудование будет заменено на электрическое.

Фотографии объекта в процессе строительства на бульваре Матроса Железняка представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Дом по адресу: бульвар Матроса Железняка, д. 11 в процессе реконструкции [4]

Преимуществом проекта реконструкции старого жилья становится: увеличение жилой площади в районе; создание современного и комфортного

жилья; улучшение инфраструктуры района; повышение инвестиционной привлекательности территории.

Список использованной литературы

1. Реконструкция с надстройкой жилого дома: как из 5 этажей выйдет 12 (октябрь 2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=KIoDNw2wG9c> (дата обращения: 29.05.2024).
2. О реконструкции дома на ул. Мишина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yandex.ru/video/preview/8740994286220450878> (дата обращения: 26.05.2024).
3. Телеканал Москва 24. Программа Строительство в деталях. О реконструкции дома на ул. Мишина, 32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yandex.ru/video/preview/4346495776609212090> (дата обращения: 26.05.2024).
4. Москвичи решили свою пятиэтажку превратить в 13-этажный дом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2023/11/01/reg-cfo/personalnaia-renovaciia.html> (дата обращения: 28.05.2024).

INNOVATIVE RENOVATION AND REDEVELOPMENT

Victoria S. Ivanova¹

Vladislav A. Ivanov², 5th grade student

¹*Orenburg State University*

²*MOAU "Lyceum No. 8", Orenburg*

Annotation. *The work presents observations of the house at the address: 11 Matros Zheleznyak Boulevard, Moscow, before and after reconstruction, the construction work of which was carried out without eviction of residents.*

Keywords: *reconstruction and redevelopment, independent foundation*

АРХИТЕКТУРА И ФИЗИКА

Иванова¹ Виктория Станиславовна

Иванова² Вероника Александровна, ученица 8 класса

¹Оренбургский государственный университет

²МОАУ «Лицей №8», г. Оренбург

Аннотация. В работе показана взаимосвязь физики и архитектурных решений в строительстве, влияние внешних факторов на способность зданий и сооружений выдерживать определенную нагрузку. На примере разных видов опор из бумаги показана устойчивость и способность выдерживать нагрузку в зависимости от формы, высоты и площади поперечного сечения опоры.

Ключевые слова: нагрузка, площадь поперечного сечения, опора, устойчивость, распределение нагрузки, внешние силы.

Код и рубрика: 29.00.00 Физика

Строительство любого объекта начинается с проекта, над которым вместе работают дизайнеры и инженеры – специалисты, владеющие глубокими техническими знаниями. Мы уверены, что с физикой мы встречаемся только в средних классах обучения в школе, но на самом деле задуматься можно ещё и в детстве, читая сказки. Яркий пример сказка «Три поросенка» С.В. Михалкова, где мы видим, что домик из камня намного прочнее домика из соломы и домика из прутьев и веток. Ребенок уже делает вывод, без знаний математики и физики, что каменный домик надежнее.

Физические законы механики, такие как законы Ньютона, динамика и статика, играют ключевую роль в проектировании и строительстве зданий. Они помогают инженерам и архитекторам понять воздействие нагрузок на конструкции, распределить нагрузки и обеспечить устойчивость зданий. Здесь речь идёт о внешних и внутренних силах, распределении нагрузки, воздействие внешних природных факторов, таких как ветер, дождь и снеговая нагрузка, сейсмическая активность и другие. Не секрет, что на сооружение влияют и перепады температур, и это тоже важно учитывать при возведении сооружений. К внутренним силам относят нагрузку оборудования, толпы людей, удары, биологические вредители и тому подобное.

На фотографии, представленной на рисунке 1, мы видим, как в некоторых местах разрушается материал, из которого возведено здание под действием влаги и ветра. И даже птицы влияют на прочность конструкции. Из этого примера мы видим, сколько факторов нужно учитывать при строительстве сооружений.

Знания физических законов важны при строительстве. Замечали, что здания имеют разный угол наклона кровли? Почему так? Можно ли построить крышу здания так, как нравится или хочется? Конечно, нет. Угол наклона – это важнейший параметр кровли [1], от которого зависит не только

эстетический вид здания, но и даже требования к фундаменту. Угол наклона кровли учитывает ветровую и снеговую нагрузку, а также материал, выбранного кровельного покрытия и наличие жилого мансардного этажа в планах [2]. Примеры приведены на рисунке 2. Чем больше угол наклона, тем сильнее ветровая нагрузка, но ниже снеговая.



Рисунок 1 – Разрушение материала под действием внешних факторов

На рисунке 1 наглядно показано разрушение строительного материала под воздействием внешних факторов, таких как влажность и ветер. Этот пример демонстрирует важность учета природных нагрузок при проектировании зданий и сооружений, поскольку даже самые прочные материалы могут подвергаться деградации при неблагоприятных условиях эксплуатации.



Рисунок 2 – Угол наклона кровли [2]

Рисунок 2 иллюстрирует зависимость ветровой нагрузки от угла наклона кровли. Чем больше угол наклона, тем выше воздействие ветра на конструкцию, что требует тщательного инженерного расчёта для обеспечения устойчивости здания и предотвращения повреждений в сложных климатических условиях.

Как в физике, так и в архитектуре важно умение анализировать проблемы, применять научные принципы, решать сложные задачи и создавать инновационные решения. Здесь важно инженерное мышление.

Рассмотрим на примере листа бумаги, насколько способность материала выдерживать нагрузку зависит от формы и размеров элементов конструкции.

Два листа бумаги формата А4 скрутили в трубку и зафиксировали с помощью клея. Вес, который выдержали опоры:

$$P = mg = 2,028 \cdot 9,81 = 19,9 \text{ Н.}$$

Проделав тот же опыт, но с опорами в два раза короче, мы увидели, что вес, которые выдержали опоры, уже больше. На рисунке 3 представлены результаты эксперимента.

$$P = mg = 4,836 \cdot 9,81 = 47,4 \text{ Н.}$$

Те же листы, но уже сложенные гармошкой, выдерживают больший вес. Также на способность выдерживать нагрузку влияет и площадь поперечного сечения опоры (см. рисунок 4). В первом случае нагрузка, которую выдержали опоры:

$$P = mg = 3,108 \cdot 9,81 = 30,5 \text{ Н.}$$

Во втором случае:

$$P = mg = 4,22 \cdot 9,81 = 41,4 \text{ Н.}$$



Рисунок 3 – Цилиндрические опоры

На рисунке 3 представлены цилиндрические опоры, которые использовались в эксперименте для оценки способности выдерживать

нагрузку. Видно, что даже при уменьшении длины опор их грузоподъемность увеличивается, что указывает на важность оптимизации формы и размеров конструктивных элементов для повышения прочности.



Рисунок 4 – Опоры из гофры

Рисунок 4 демонстрирует опоры из гофрированной бумаги, которые по сравнению с гладкими цилиндрическими опорами обладают большей жесткостью и способны выдерживать значительные нагрузки. Такой пример подчеркивает роль геометрии сечения и ребер жесткости в повышении устойчивости конструкций.

На рисунке 5 представлена зависимость максимальной выдерживаемой нагрузки от типа опоры и площади её поперечного сечения. График ясно показывает, что уменьшение высоты опоры и увеличение площади сечения значительно увеличивают её способность к сопротивлению нагрузкам, что является важным фактором при проектировании устойчивых конструкций.

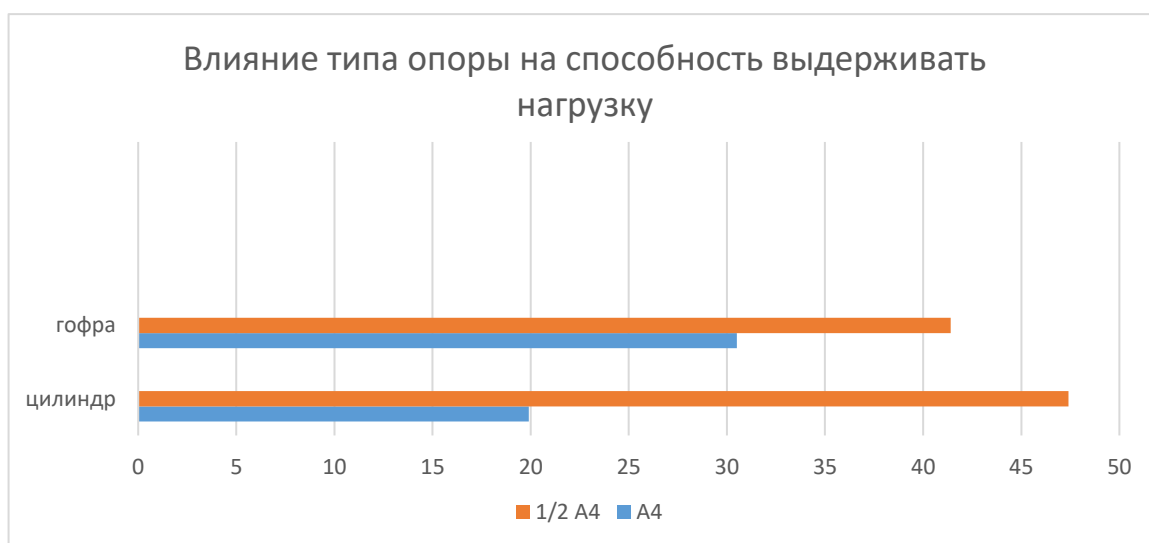


Рисунок 5 – Зависимость выдерживаемой нагрузки от типа опоры

Чем ниже опора и больше площадь поперечного сечения, тем большую нагрузку может выдержать конструкция.

Ребра жесткости также повышают шансы выдержать большую нагрузку, но здесь играет также роль площадь поперечного сечения. Опоры из гофрированной бумаги выдержали нагрузку в 1,5 раза большую, чем опоры без ребер жесткости. При той же площади поперечного сечения, но более низкой опоры, также увеличивается способность материала выдерживать нагрузку.

Таким образом, устойчивость объекта зависит от формы и распределения внутреннего веса. Основываясь на этом, можно правильно сконструировать объект, не боясь за его безопасность и сохранность.

Список использованной литературы

1. Физика в архитектуре доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://obrazovanie-gid.ru/doklady/fizika-v-arhitecture-doklad.html> (дата обращения: 08.04.2024).

2. Исследовательская работа по физике на тему «Физика и архитектура» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://koncpekt.ru/spo-vuz/5006-issledovatel'skaya-rabota-fizika-i-arhitektura.html> (дата обращения: 08.04.2024).

ARCHITECTURE AND PHYSICS

Victoria S. Ivanova¹

Veronika A. Ivanova², 8th grade student

¹*Orenburg State University*

²*MOAU «Lyceum No. 8», Orenburg*

Annotation. *The paper shows the relationship between physics and architectural solutions in construction, the influence of external factors on the ability of buildings and structures to withstand a certain load. Using the example of different types of paper supports, stability and the ability to withstand loads are shown, depending on the shape, height and cross-sectional area of the support.*

Keywords: *load, cross-sectional area, support, stability, load distribution, external forces.*

БУМАГА – ЭТО ПРОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ИЛИ НЕТ?

Пояркова¹ Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент
Подоляк² Ярослав Александрович, ученик 3 класса

¹Оренбургский государственный университет

²МОАУ «Средняя образовательная школа № 68 с углубленным изучением
русского языка и математики» города Оренбурга

***Аннотация.** В данной статье рассматривается вопрос прочности бумаги как материала с точки зрения механики и конструкции. На примере традиционных и современных технологий, а также через сравнение с другими строительными материалами, анализируется, может ли бумага служить основой для создания прочных конструкций. Рассматриваются особенности структуры бумаги, методы повышения её прочности и примеры практического применения.*

***Ключевые слова:** бумага, прочность, механика, конструктивное творчество, строительные материалы, бумажный материал, инженерия, конструкция.*

***Код и рубрика:** 29.00.00 Физика*

Бумага – это один из самых распространённых и привычных материалов, который мы используем каждый день. Мы пишем на бумаге, рисуем, складываем из неё поделки. Но задумывались ли вы когда-нибудь, насколько бумага прочна? Может ли она служить материалом для создания настоящих конструкций, например, домов или мостов?

Изначально нужно определиться, что же такое прочность материала?

Прочность – это способность материала выдерживать нагрузки, не разрушаясь.

Примеры оценки прочности материалов многие непреднамеренно изучали в сказке «Три поросенка» (англ. Three Little Pigs) – одной из самых популярных детских сказок. Сюжет «Трёх поросят» восходит к английскому фольклору; литературные версии «Трёх поросят» известны с XIX века и входят, в частности, в книгу «Детские стишки и истории» («Nursery Rhymes and Nursery Tales»), изданную в Лондоне в 1890 году Джеймсом Холивеллом-Филлипсом [1]. Перевод сказки имеется практически в любой стране мира.

В анонсе платформы литературных произведений для детей [2] сказка с иллюстрациями «Три поросенка» советского и российского писателя и военного корреспондента Сергея Владимировича Михалкова рассказывает: «о братцах, решивших обзавестись собственной жилплощадью. Ниф-Ниф долго думал, с чего построить свое будущее жилище, но, будучи очень ленивым, решил просто связать пучок соломы. Нуф-Нуфа трудоголиком тоже назвать нельзя, поэтому поросенок быстренько слепил некое подобие домика из глины. По серьезному к идее отнесся работяга Наф-Наф. Наплевав на насмешки братьев...» [2].

В детской сказке «Три поросенка» каждый из поросят строит свой домик из разных материалов: соломы, дерева и кирпича. И когда злой коварный Волк без труда рушит жилища Ниф-Нифа и Нуф-Нуфа, именно дом Наф-Нафа становится надёжным строением для всех трёх поросят. Этот сюжет отлично иллюстрирует концепцию прочности материалов (см. рисунок 1) и может быть использован для сравнения с бумагой.

Домик из соломы – самый слабый из всех. Он легко разрушился, когда на него подул волк. Это показывает, что солома, как и обычная бумага, не обладает достаточной прочностью для защиты от внешних сил.

Домик из дерева оказался более прочным, чем соломенный, но всё же не смог выдержать натиск волка. Это демонстрирует, что дерево, несмотря на свою прочность, также имеет пределы, и для создания действительно крепких конструкций нужны более прочные материалы.

Кирпичный дом был самым прочным. Волк не смог его разрушить, что подчеркивает важность выбора правильного материала для строительства. Этот дом можно сравнить с конструкциями, созданными из бумаги, когда она обработана и используется в сочетании с другими материалами для повышения прочности.

Как видим на примере сказки «Три поросенка», выбор материала имеет решающее значение для прочности конструкции.



Рисунок 1 – Разрушение конструкций из разных материалов под действием «ветровой нагрузки» (иллюстрации заимствованы из [3])

Стало быть, для строительных материалов очень важно быть прочными, чтобы здания и сооружения были безопасными и долговечными. Как правило, для строительства используют бетон, кирпич, дерево, металл — материалы, которые мы считаем крепкими. А бумага? Обычно бумага кажется очень хрупкой и легко рвущейся. Бумага, подобно соломе, может показаться слабой, но с помощью инновационных технологий и методов обработки становится возможным создавать прочные и устойчивые конструкции. Например, использование бумаги в сочетании с другими материалами или применение специальных методов складывания может значительно повысить её прочность.

Известно, что бумага состоит из волокон целлюлозы, которые переплетаются друг с другом. Эти волокна делают бумагу лёгкой и гибкой. Но именно переплетение волокон придаёт бумаге удивительную прочность на разрыв в одном направлении и хорошую упругость. При этом бумага очень тонкая и легко деформируется.

Плюсы бумаги: лёгкая, гибкая, доступная, экологичная.

Минусы: боится влаги, легко рвётся при неправильном использовании.

Ниже приводятся примеры использования бумаги как прочного материала.

Например, в Японии существуют традиционные дома (рисунок 2), в которых используются панели из японской бумаги — ваши (васи). Эти панели крепятся к деревянному каркасу и служат лёгкими ограждающими элементами. Несмотря на тонкость материала, такие дома могут служить долгие годы, так как бумага с пропитками становится прочной и устойчивой к внешним воздействиям.

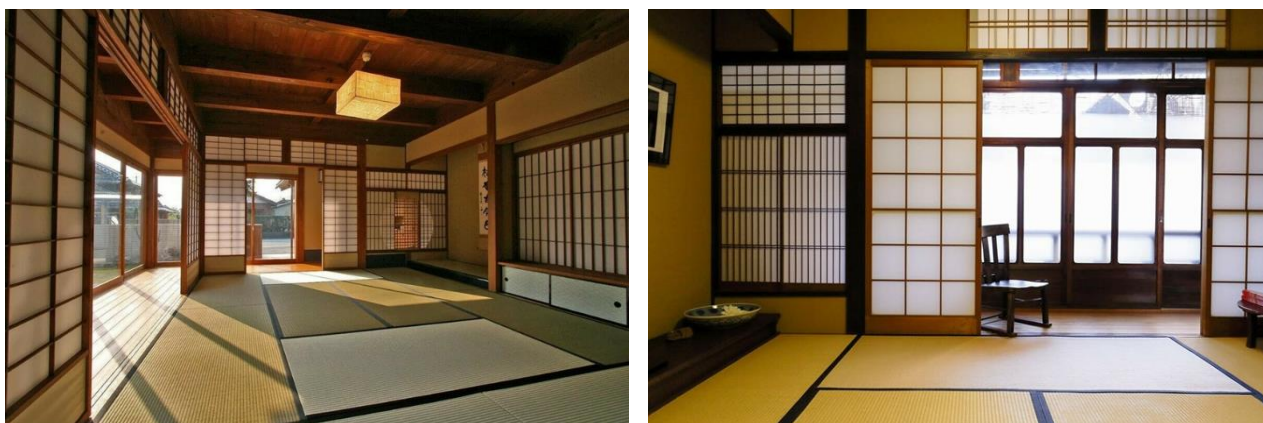


Рисунок 2 – Традиционные дома в Японии

Также учёные и инженеры экспериментируют с бумагой, создавая бумажные строительные блоки, панели и даже мосты. Примеры таких конструкций можно увидеть на изображениях из презентаций по «бумажному сопромату» (например, на мастер-классах для детей и взрослых по бумажному проектированию, которые проводятся на кафедре механики материалов, конструкций и машин Оренбургского государственного университета [4, 5]). При правильном расчёте и использовании специальных методов укрепления (например, складывание бумаги в несколько слоёв, пропитка клеями) бумага может выдерживать значительные нагрузки.

Для уточнения ответа на вопрос, заданный в названии настоящей статьи, можно провести эксперименты с прочностью бумаги и понять, насколько бумага прочна.

1. Тест на разрыв: берём лист бумаги и пытаемся его разорвать. Обычно это легко сделать, но, если сложить лист несколько раз, он становится гораздо прочнее.

2. Тест на давление: если свернуть бумагу в трубочку, она сможет выдержать вес, который не под силу обычному листу.

3. Тест на изгиб: бумага хорошо гнётся, но при многократном изгибе ломается.

Эти простые опыты показывают, что прочность бумаги сильно зависит от формы и структуры.

Вместе с тем возникает и другой вопрос – как повысить прочность бумаги? Решением может быть любой из ниже приведенных вариантов манипуляций с бумагой:

1. Сложение и складывание. Оригами — пример того, как из бумаги можно создавать сложные и прочные формы.

2. Пропитка и ламинирование. Бумагу можно покрывать специальными составами, которые делают её водостойкой и более прочной.

3. Комбинирование с другими материалами. Например, бумажные панели на деревянном каркасе.

Хотя бумага сама по себе не является классическим строительным материалом, её уникальные свойства и возможности обработки делают её перспективной для создания лёгких и экологичных конструкций. В сочетании с современными технологиями бумага может стать основой для инновационных решений в строительстве и дизайне.

Итак, можно ли считать бумагу прочным материалом? Ответ не однозначен. С одной стороны, обычный лист бумаги легко рвётся и боится влаги. С другой стороны, при правильной обработке и использовании в конструкциях бумага проявляет удивительную прочность и устойчивость. Традиционные японские дома и современные бумажные прототипы показывают, что бумага — это не просто хрупкий материал, а перспективный объект для креативной механики и конструктивного творчества.

Список использованной литературы

1. Три поросёнка: материал из Википедии – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%91%D0%BD%D0%BA%D0%B0 (дата обращения: 28.04.2024).

2. Фригато (Ех Расконяга) – развлекательно-образовательный портал для детей и родителей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skazki.frigato.ru/drugie-avtory/16-tri-porosenka.html> (дата обращения: 08.04.2024).

3. Иллюстрации к сказке «Три поросенка» (Михалков Сергей Владимирович) на портале Хранители сказок (Собирание авторских и народных сказок) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hobbitaniya.ru/illustrations/tri-porosenka-mihalkov.php> (дата обращения: 08.04.2024).

4. К вопросу организации профориентационной работы в вузе: опыт разработки и реализации проекта «Инженерные каникулы» [Электронный ресурс] / Е. В. Пояркова, Е. В. Дырдина, О. А. Фролова [и др.] // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 1-3 февр. 2024 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Зайцев. – Оренбург : ОГУ, 2024. – С. 233-240.

5. Пояркова, Е. В. Профориентация школьников на мастер-классах как стратегическая сфера партнерства образовательных кластеров [Электронный ресурс] / Е. В. Пояркова, О. А. Фролова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 1-3 февр. 2024 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Зайцев. – Оренбург : ОГУ, 2024. – С. 2095-2099.

PAPER – IS IT A STRONG MATERIAL OR NOT?

Poyarkova¹ Ekaterina Vasilevna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Podolyak² Yaroslav Alexandrovich, 3rd Grade Student

¹Orenburg State University

²Municipal General Education School No. 68 with Advanced Study of Russian Language and Mathematics, Orenburg

Abstract. *This article examines the question of paper strength as a material from the perspective of mechanics and construction. Using examples of traditional and modern technologies, as well as comparisons with other building materials, it analyzes whether paper can serve as a basis for creating strong structures. The article discusses the features of paper structure, methods to enhance its strength, and examples of practical applications.*

Keywords: *paper, strength, mechanics, constructive creativity, building materials, paper material, engineering, construction.*

Code and rubric: 29.00.00 Physics

МАТЕРИАЛЫ

**III ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»**

30-31 мая 2024 г.

Дата принятия к использованию 29.11.2024
Размер 4,75 Мб
**Оренбургский государственный университет
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13**