

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

Политехнический институт

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет
им И. Н. Ульянова»



Современные технологии: проблемы и перспективы

Сборник статей
Всероссийской научно-практической конференции
для аспирантов, студентов и молодых ученых
14 - 17 апреля 2025 года



Севастополь, 2025

УДК [001.895:004.9]:62](063)

ББК 30.6я43

C568

Организаторы конференции:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им И. Н. Ульянова»

Редакционная коллегия:

В.И. Головин - канд. техн. наук, доцент, директор Политехнического института;
А.Ю. Тараховский - канд. техн. наук, доцент, зав. каф. «Цифровое проектирование»;
О.В. Мухина - канд. техн. наук, PhD, доцент каф. «Цифровое проектирование»;
Т.А. Перевай - канд. техн. наук, доцент каф. «Цифровое проектирование»;
А.Ю. Бут - канд. техн. наук, доцент каф. «Цифровое проектирование».

Р е ц е н з е н т :

Н И. Мартемьянов – директор ООО «СЕВМОРМАШ – 2М»

C568 **Современные технологии: проблемы и перспективы** : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, г. Севастополь, 14 - 17 апреля 2025 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет, Политехнический институт, Чувашский государственный университет им И. Н. Ульянова ; главный редактор О. В. Мухина. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 267 с.: ил. – Текст : электронный.

Публикуется по решению оргкомитета Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, проведенной 14 - 17 апреля 2025 г. в ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь (приказ №685-п от 31.03.2025).

Материалы публикуются в авторской редакции.

В сборнике представлены результаты научно-исследовательской работы аспирантов, студентов и молодых учёных по проблемам современных технологий.

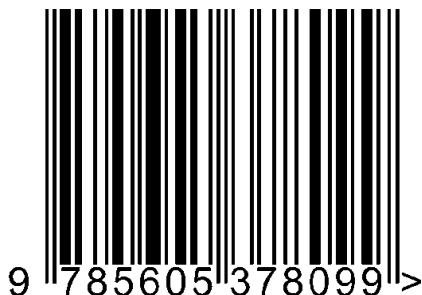
Сборник предназначен всем, специализирующимся в областях:

- 1) Высокие технологии машиностроения;
- 2) Современные направления развития транспорта и транспортных технологий;
- 3) Экологическая, промышленная, энергетическая и информационная безопасность;
- 4) Автоматизация и управление процессами;
- 5) Приборостроение, информационно-измерительные и биотехнические системы и технологии;
- 6) Геометрическое проектирование и компьютерное моделирование в инженерии;
- 7) Метрология, стандартизация и управление в технических системах;
- 8) Пищевые технологии, исследования и инновации.

УДК [001.895:004.9]:62](063)

ББК 30.6я43

ISBN 978-5-6053780-9-9



© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Секция № 1. Быстрый старт	7
<i>Варганова Т.Д., Круглова М.В., Мухина О.В.</i> Создание 3D модели многослойного ночника.....	7
<i>Пшеничных П.С., Титов Н.А., Савенок Т.А., Мухина О.В.</i> Создание 3D модели каяка	11
<i>Баланец З.С., Кожемяко В.В., Кручинкина Д.С., МIRONЦЕВА Е.А., Мухина О.В.</i> Создание 3D модели шляп	14
<i>Когот А.А., Шилов А.В., Левченко Е.Д., Мухина О.В.</i> Модель игрушки: от идеи к созданию 3D модели	17
<i>Мирин А.А., Поддубный И.П.</i> Создания акустической системы.....	20
Секция № 2. Высокие технологии машиностроения	24
<i>Приймак А.Ю., Сербиновский М.Ю.</i> Гидроэрозионный износ и выбор материалов форсунок впрыскивающих пароохладителей котлов	24
<i>Евстигнеев А.И., Колошенко Ю.Б., Потянихин Д.А.</i> Моделирование влияния внутриформенного газового давления на стойкость полых металлических литейных форм	29
<i>Ильина Е.К., Артемова А.А., Гресько А.И.</i> Машины и механизмы в ландшафтной архитектуре: эволюция и эффективность	33
<i>Надеждина О.А.</i> Некоторые аспекты использования мелкоразмерных абразивных головок с зёрнами из сверхтвёрдых материалов.....	36
<i>Рожкова Е.А., Кустов А.В.</i> Проведение испытаний бортовой кабельной системы космического аппарата	40
<i>Зубков М.К., Курасов Д.А., Чуйков Р.С.</i> Обзор основных видов и систем позиционирования манипуляторов.....	44
<i>Коростелев К.И., Курасов Д.А.</i> Моделирование мехатронных и робототехнических систем	47
<i>Леонова Е.А., Рошупкин С.И.</i> Влияние способов охлаждения в зоне обработки на шероховатость поверхности при высокоскоростном фрезеровании алюминиевых сплавов	50
<i>Черепанин Д.А., Макамутдинова А.А., Шиленок Л.В., Невар Г.В.</i> Оценка эффективности использования 3d-печатных и гипсовых матриц при вакуумной формовке элементов морских беспилотников.....	53
<i>Лобанов Д.В., Терентьев Е.А., Рафанова О.С.</i> Анализ методов правки абразивного инструмента в процессе финишной обработки изделий из композитных материалов.....	58
Секция № 3. Современные направления развития транспорта и транспортных технологий	63
<i>Хоженцев Е.Д., Кривунец Я.С., Сячин Д.С., Сячин С.С., Солнцева Д.С.</i> Обзор моделей применения наземных беспилотных дронов	63
<i>Майорова И.Н.</i> Современные технологии формирования потоковых процессов морского порта	67
<i>Минеев Д.А., Дрюпин П.Ю., Медведев С.Н., Быков П.Д.</i> О перспективе применения пьезокерамических излучателей для снижения адгезии грунтов при их разработке.....	72

<i>Рожкова Е.А., Кустов А.В.</i> Анализ эффективности различных транспортных средств для доставки космических аппаратов к стартовым площадкам	76
<i>Ли Цзэлун, Дудин М.А., Мелкозеров Е.С.</i> Технология соединения деталей автомобиля методом самопроникающей заклепки (SPR)	81
<i>Зубцова А.А., Попович А.В., Роцупкин С.И.</i> Обзор беспилотных сервисных катамаранов ...	85
<i>Невров Н.В., Саглай И.И., Невар Г.В.</i> Использование технологий искусственного интеллекта в морских беспилотниках	88
<i>Сячин Д.С., Сячин С.С., Хоженцев Е.Д., Кривунец Я.С., Чуйко И.Ю.</i> Танковое управление в сельскохозяйственных дронах: оптимальное решение для Крыма	94
<i>Иванов Н.А., Яремчук Н.В., Огрызков С.В.</i> Использование геоинформационной системы для управления подвеской автомобиля	97
Секция № 4. Экологическая, промышленная, энергетическая и информационная безопасность	101
<i>Шкурин Н.Э., Ткаченко В.Р., Лей В.А.</i> Особенности разработки и использования роботизированных систем в техносферной безопасности	101
<i>Иванченко Т.А., Токарев М.А., Скворцова Д.М., Азаренко Е.И.</i> Оценка качества воды реки Сухая речка.....	105
<i>Панченко Д.Ю., Буркова Е.В.</i> Возможность использования солнечных коллекторов для оптимизации систем отопления	108
<i>Калюжная Е.Е., Осадчая Л.И.</i> Анализ проблем оценки профессиональных рисков.....	111
<i>Аветисян А.С.</i> Применение Machine Learning и Artificial Intelligence в энергетическом секторе для достижения целей устойчивого развития	114
<i>Титов К.А., Давыдова Л.Ю.</i> Лабораторная установка для исследования горения высокоэнергетических материалов при пониженных температурах	119
<i>Шароварина А.Р., Бариева Е.Ф.</i> Экологическая эффективность интернета вещей в виноградарстве	124
<i>Федосова Е.В., Осадчая Л.И.</i> Анализ территориальной схемы обращения с отходами города Севастополя	129
Секция № 5. Автоматизация и управление процессами	132
<i>Рожкова Е.А., Кустов А.В.</i> Описание бизнес-процесса разработки крупногабаритной трансформируемой механической системы	132
<i>Саяркин Л.А., Паращук И.Б., Владимирова Е.С., Селезнев А.В.</i> Автоматизация и управление процессами информационного поиска в больших данных с учетом современных аспектов цифровой трансформации	137
<i>Соколова В.А.</i> Управление процессом отделки древесины: интеллектуальная оптимизация с использованием методов регуляризации	142
Секция № 6. Приборостроение, информационно-измерительные и биотехнические системы и технологии	146
<i>Акбиров Р.М., Осипов К.Н.</i> Автоматизированная система распознавания злокачественных и доброкачественных образований на маммографических снимках ...	146
<i>Ильченко А.Ю., Балакин А.И.</i> Анализ методов контроля и регулирования размеров капель соляного тумана в испытательной камере.....	150

<i>Лавриков И.В., Рощупкин С.И.</i> Моделирование бесколлекторного электрического двигателя в среде Matlab Simulink.....	154
<i>Мусаев Ж.Б., Минаева Д.К.</i> Детектирование нуля синусоидального напряжения с импульсным выходом на оптроне	157
<i>Богданова Ж.В., Невар Г.В., Рощупкин С.И.</i> Портативный нейростимулятор для терапии тремора рук при болезни Паркинсона	161
<i>Иванов А.Н., Нестеров О.Ю.</i> Термоэлектрическое отопление, кондиционирование и получение электроэнергии от теплового излучения природного или техногенного происхождения	166

Секция № 7. Геометрическое проектирование и компьютерное моделирование в инженерии

<i>Козлов С.С., Крылов Г.Л., Мкртычев О.В.</i> Интерактивное параметрическое моделирование трубчатых винтовых структур	170
<i>Шиленок Л.В., Рыжков А.И.</i> Зависимость прочности детали при FDM печати от позиционирования на столе	174
<i>Рыжков А.И., Солнцева Д.С., Шиленок Л.В.</i> Обратный инжиниринг бедренного компонента эндопротеза коленного сустава	179
<i>Константинов Е.С., Терешенков Д.А., Кожухов В.А.</i> Применение методов компьютерного моделирования в нефтяной промышленности.....	182
<i>Столяр И.Е., Стреляная Ю.О.</i> Реверс-инжиниринг спрямляющего устройства водометного движателя	186
<i>Безверхая З.А., Перевай Т.А.</i> Моделирование и разработка дизайн-проекта (фрейма) для товара парфюмерии Tom Ford Lost Cherry	190
<i>Завгородний Н.В., Перевай Т.А.</i> Дизайн упаковки напитка Fresh Bar Sex On The Beach: разработка и особенности колористического решения	192
<i>Онходоева К.А., Перевай Т.А.</i> Дизайн карточки товара в интернет-магазин Wildberries: принципы и рекомендации.....	194
<i>Першина Ю.А., Перевай Т.А.</i> Анализ дизайнерских приемов при проектировании карточки товара соевой свечи «Ароматный глинтвейн».	197
<i>Чехов М.А., Струтинский А.Г., Боровков А.В., Сахаров И.А., Дмитриев Н.А.</i> Применение технологий реверс-инжиниринга при проектировании автомобиля «родстер Крым»	199
<i>Голендухин К.А., Кашенкова Е.А., Кузнецов А.Г., Степанова Е.Е., Рощупкин С.И.</i> Анализ различных вариантов рамы наземной беспилотной платформы с помощью метода конечных элементов.....	202
<i>Тараховский М.А., Тараховский А.Ю.</i> Определение оптимальной ориентации для повышения точности изготовления валов методом 3D-печати.....	206
<i>Тараховский М.А., Тараховский А.Ю.</i> Практическое применение технологии ручного лазерного сканирования с маркерами и создание точной CAD модели кронштейна средствами КОМПАС 3D	212
<i>Иощенко П.П., Цицюрская Е.А., Тараховский А.Ю.</i> Многоцветная FDM-печать с использованием системы AMS: возможности и ограничения.....	218

Секция № 8. Метрология, стандартизация и управление в технических системах	223
<i>Мауричев М.Д., Мауричев С.Д.</i> Метрологическое обеспечение процедуры радиационного контроля сварных соединений крупногабаритных изделий машиностроения и кораблестроения.....	223
<i>Чуйков С.С.</i> Внедрение виртуальной калибровки в метрологическую практику: инновации и перспективы	227
<i>Попов А.О., Никишин В.В.</i> Цифровая система измерения уровня топлива в топливном баке.....	230
<i>Добровольский Г.В., Никишин В.В.</i> Разработка термостата для калибровки средств измерения температуры.....	234
<i>Олиниченко М.А., Бариева Е.Ф., Никишин В.В.</i> Система мониторинга концентрации углекислого газа в городской среде	237
<i>Гаврисенко С.Л., Белая М.Н.</i> Анализ современных подходов к разработке и внедрению системы экологического менеджмента на радиационно-опасных объектах	240
<i>Джаманакоева Д.Т., Белая М.Н.</i> Система менеджмента качества метрологической лаборатории: этапы разработки	244
<i>Ерофеева И.В., Родюшкин В.М.</i> Определение изгибных механических напряжений в материалах и конструкциях с помощью волн Рэлея.....	247
<i>Суходуб А.В., Белая М.Н.</i> Метрологическое обеспечение деятельности калибровочных лабораторий: законодательные и нормативные требования.....	252
<i>Хромушина А.А., Крансуцкая А.А.</i> Бесконтактный контроль шероховатости поверхности	256
Секция № 9. Пищевые технологии, исследования и инновации	262
<i>Снигерев А.Е., Яровая В.И.</i> Переработка плодоовощного сырья в пищевые порошки.....	262
<i>Пикурина А.Н., Яровая В.И.</i> Повышение эффективности производства спирта с помощью ректификационных колонн	265

СЕКЦИЯ № 1

БЫСТРЫЙ СТАРТ

УДК 621.01

СОЗДАНИЕ 3D МОДЕЛИ МНОГОСЛОЙНОГО НОЧНИКА

Т.Д. Варганова¹, М.В. Круглова², О.В. Мухина³

¹ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
tanya.varganova.08@mail.ru

²ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
maya_cat0011@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Аннотация. В условиях роста популярности индивидуального дизайна интерьеров и развития технологий 3D-моделирования, создание собственных предметов декора становится все более доступным. 3D-моделирование является неотъемлемой частью процесса разработки и производства таких предметов, как ночники. В статье рассматривается возможность использования системы КОМПАС-3D для 3D-моделирования ночника.

Ключевые слова: 3D модель, интерьер, ночник, многослойный ночник.

CREATING A 3D MODEL OF A MULTILAYER NIGHT LIGHT

T.D. Varganova¹, M.V. Kruglova², O.V. Mukhina³

¹GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
tanya.varganova.08@mail.ru

²GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
maya_cat0011@mail.ru

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Annotation. With the growing popularity of personalized interior design and the development of 3D modeling technologies, creating custom decorative items is becoming increasingly accessible. 3D modeling is an integral part of the development and production process for items such as nightlights. This article explores the use of KOMPAS-3D for 3D modeling a nightlight.

Keywords: 3D model, interior, nightlight, multilayer nightlight.

Введение. В современном мире, где всё больше ценятся индивидуальный подход и уникальность, растёт спрос на предметы интерьера, отражающие личность владельца. Одним из таких предметов является ночник, который не только выполняет свою основную функцию — освещение помещения в тёмное время суток, но и служит декоративным элементом, способным создать особую атмосферу в интерьере. Развитие технологий 3D-моделирования открывает широкие возможности для создания ночников самых разнообразных форм и стилей, позволяя воплотить в жизнь любые, самые смелые, дизайнерские идеи. Это значительно расширяет границы творчества и даёт возможность каждому человеку создать уникальный предмет, идеально вписывающийся в его личное пространство.

КОМПАС-3D, как одна из распространенных систем автоматизированного проектирования (САПР), предоставляет мощный и удобный инструментарий для 3D-моделирования, облегчая процесс разработки и визуализации изделий. Благодаря широкому функционалу и интуитивно понятному интерфейсу, КОМПАС-3D доступен как профессиональным дизайнерам, так и начинающим пользователям, желающим освоить 3D-моделирование. В данной работе рассматривается процесс создания 3D-модели ночника с использованием КОМПАС-3D, демонстрируя возможности данной САПР для проектирования предметов интерьера.

Работа выполнена учащимися 10-го класса гимназии № 7 имени В. И. Великого в рамках изучения дисциплины «Компьютерная графика» (САПР) на базе Политехнического института Севастопольского государственного университета. Авторами разработано техническое задание, поставлены задачи и определены цели проекта. Разработаны стадии, этапы и сроки разработки изделия. Выполнены технический и эскизный проекты. Подготовлен рабочий проект. Все выполненные модели распечатаны на 3D принтере. Собрана действующая модель ночника.

Основная часть. Технология 3D моделирования многослойного ночника представляет собой сложную работу, состоящую из нескольких этапов. Моделирование в КОМПАС-3D ускоряет процесс проектирования, позволяет избежать ошибок в процессе производства, обилие функций САПР даёт возможность дизайнеру создавать самые разные модели.

Для создания 3D модели выбран многослойный ночник. Каждый слой ночника представляет собой отдельный элемент (пластину с вырезанным рисунком), который в совокупности с другими формирует единую картинку (рис. 1). Такая конструкция позволяет добиться интересного визуального эффекта за счет игры света и тени, проходящего через различные слои.

Работа над многослойным ночником началась с поиска идей для дизайна. Главными источниками вдохновения послужили домашние питомцы авторов – кошка по имени Яшма и кот Беляш. За основу эскиза модели ночника принята картинка из Pinterest (рис. 2)



Рис. 1



Рис. 2

Далее последовала детальная проработка конструкции будущего многослойного ночника, продумано соединение всех частей модели, рассчитаны параметры каждого слоя и корпуса.

Следующим этапом разработки проекта стало моделирование элементов ночника в САПР КОМПАС-3D. Для создания каждого из слоев на плоскость эскизирования загружалась соответствующая картинка и обводилась с использованием команды «Коническая кривая». Операцией «Элемент выдавливания» деталям придавался объем и необходимая толщина (рис. 3). Так были созданы четыре пластины – отдельные слои ночника. Параллельно велась работа над моделированием корпуса по соответствующим размерам. Для повышения прочности боковые стенки корпуса соединены под углом 45° . Модели всех деталей собраны вместе наложением сопряжений «Совпадение», что позволило добиться точного позиционирования элементов относительно друг друга.

Готовая модель многослойного ночника представляет собой 3D сборку, состоящую из моделей входящих элементов: 4 пластины с вырезанными картинками, 4 боковые стенки и задняя крышка. Авторы проекта выполнили модели всех составных частей изделия.

3D модели пластин и элементов корпуса ночника представлены на рис. 4. Внутреннее строение – на рис. 5, 3D сборка ночника приведена на рис. 6.

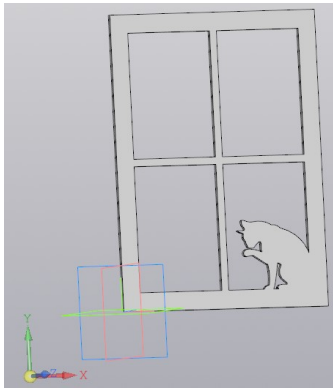


Рис. 3



Рис. 4

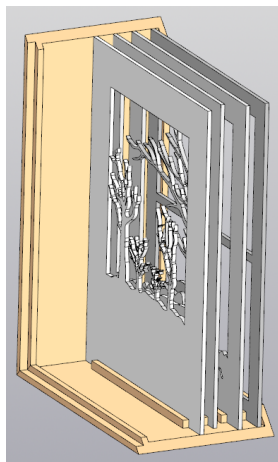


Рис. 5



Рис. 6

Модели деталей ночника, выполненные в КОМПАС-3D, были сохранены в формате *****.stl** и отправлены на 3D печать. Печать деталей осуществлена на 3D принтере Creality.

Сборка ночника началась с установки слоев в нижнюю часть корпуса. Для крепления деталей в модели корпуса сформированы прорезы соответствующего размера. Затем были приклеены верхняя часть корпуса и боковые стенки. Чтобы ночник работал по своему прямому назначению, на задней стенке зафиксирована светодиодная лента на клейкой основе. Контакты соединены при помощи проводов (рис. 7). Для подключения питания в задней стенке просверлено отверстие, в которое проведён шнур (рис. 8). Задняя стенка приклеена суперклеем.

Результат работы – полностью собранный и функционирующий ночник (рис. 9, 10).



Рис. 7



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

Выводы. САПР Компас-3D является удобным средством проектирования и моделирования различных дизайнерских объектов, в том числе и светильников типа ночника. Создание 3D моделей - увлекательный и творческий процесс, требующий от пользователя определённых теоретических знаний и практического навыка моделирования. 3D печать позволяет не только создавать новые модели, но и даёт возможность отремонтировать и усовершенствовать готовые изделия. В некоторых сферах 3D-печать — это эффективная замена дорогостоящему оборудованию.

Список литературы

1. Безик, В. А. Основы работы в САПР КОМПАС 3D : учебное пособие / В. А. Безик, А. Н. Васькин, А. В. Жиряков. — Брянск : Брянский ГАУ, 2021. — 94 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/304163> (дата обращения: 08.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Баранова, И. В. КОМПАС-3D для школьников. Черчение и компьютерная графика : учебное пособие / И. В. Баранова. — Москва : ДМК Пресс, 2009. — 272 с. — ISBN 978-5-94074-519-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1313> (дата обращения: 08.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Социальный интернет-сервис, фотохостинг Pinterest. URL: <https://www.pinterest.com>

УДК 621.01

СОЗДАНИЕ 3D МОДЕЛИ КАЯКА

П. С. Пшеничных¹, Н. А. Титов², Т. А. Савенок³, О. В. Мухина⁴¹ГБОУ «Гимназия №7 им. В. И. Великого» г. Севастополь, 299040, Россия, paulsgames@mail.ru²ГБОУ «Гимназия №7 им. В. И. Великого» г. Севастополь, 299040, Россия,
lemoniktitov@gmail.com³ГБОУ «Гимназия №7 им. В. И. Великого» г. Севастополь, 299040, Россия,
timasavenok@gmail.com⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Аннотация: Активное проведение времени на каяке оказывает положительное влияние на организм. САПР КОМПАС-3D позволяет создавать модели самых разнообразных деталей, машин и механизмов. В статье рассматривается возможность использования данной системы для 3D моделирования плавающих средств.

Ключевые слова: 3D модель, каяк, модель, проектирование, моделирование.

CREATING A 3D MODEL OF A KAYAK

P. S. Pshenichnyh¹, N. A. Titov², T. A. Savenok³, O. V. Mukhina⁴¹GBOU Gymnasium No. 7 named after V. I. Veliky, Sevastopol, 299040, Russia,
paulsgames@mail.ru²GBOU Gymnasium No. 7 named after V. I. Veliky, Sevastopol, 299040, Russia,
lemoniktitov@gmail.com³GBOU Gymnasium No. 7 named after V. I. Veliky, Sevastopol, 299040, Russia,
timasavenok@gmail.com⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Annotation: Active time spent in a kayak has a positive effect on the body. CAD COMPASS-3D allows you to create models of a wide variety of parts, machines and mechanisms. The article discusses the possibility of using this system for 3D modeling of floating vehicles.

Keywords: 3D model, kayak, model, design, modeling.

Введение: Плавание на каяках является достаточно распространённым вариантом активного проведения отдыха. Пребывание на открытом воздухе: на море, озере или реке положительно сказывается на здоровье человека. Также плавание на каяке можно совместить с рыбалкой.

Создание каяка, на первый взгляд, кажется относительно простым делом, но на практике это совсем не так. На создание данного плавательного средства опытный мастер в среднем тратит неделю или более. Предаврительно совершается серьёзная подготовка: собирается информация об изделии, разрабатывается дизайн с учётом условий использования каяка, проводятся расчёты конструкции на прочность и только потом осуществляется его изготовление и сборка.

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют упростить данный процесс, сократить время разработки и проектирования изделия, оценить его прочностные характеристики. В данной работе для создания модели каяка использовалась отечественная система КОМПАС-3D.

Работа выполнена учащимися 10-го класса гимназии № 7 имени В. И. Великого в рамках изучения дисциплины «Компьютерная графика» (САПР) на базе Политехнического института Севастопольского государственного университета. Авторами были поставлены задачи, и разработано техническое задание. Разработаны стадии, этапы и сроки разработки изделия. Подготовлен рабочий проект. Выполненная модель распечатана на 3D принтере.

Основная часть. Разработка 3D модели - сложный процесс, требующий от пользователя знаний использующейся программы, практических навыков моделирования, абстрактного

мышления, терпения и труда. Использование КОМПАС-3D значительно ускоряет процесс проектирования и позволяет избежать множества ошибок. САПР позволяет воплотить любую, самую смелую идею.

В данном проекте 3D модель каяка создавалась на основе реального объекта (рис. 1) с последующими поправками, доработками и изменениями на личное усмотрение и пожелания команды.

При создании модели использовались такие операции как: «Элемент выдавливания», «Вырезать выдавливанием», «Скругление», «Вспомогательные линии» и др.

Процесс моделирования проходил в несколько этапов:

1) Создание эскиза в горизонтальной плоскости, по которому в дальнейшем выполнена основа каяка. Базовый элемент – прямоугольник, отредактированный в соответствии с формой корпуса каяка (рис. 2).

2) Формирование корпуса операций «Элемент выдавливания» (рис. 3).

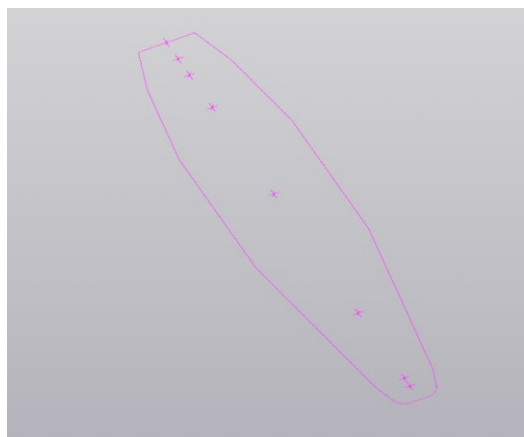


Рис. 2

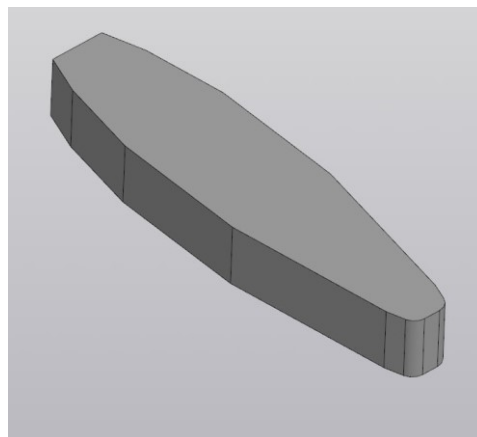


Рис. 3

3) Редактирование модели. Выдавливание середины для формирования пассажирского места (рис. 4).

4) Добавление продольных выпуклостей, которые будут направлять движение каяка при его ходе (рис. 5).

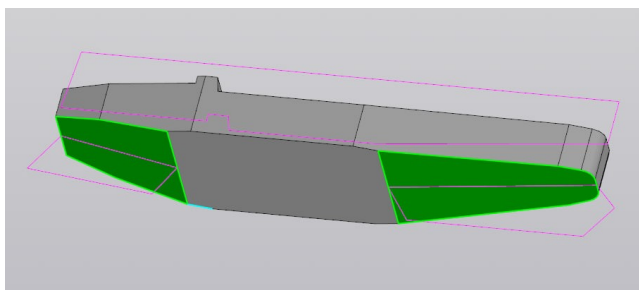


Рис. 4

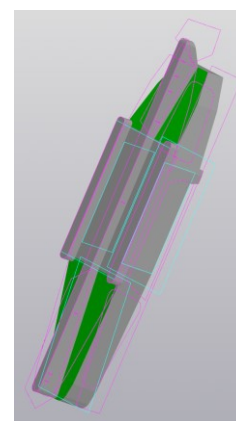


Рис. 5

5) Создание центрального пассажирского сидения и пространств для багажа в носовой и кормовой части каяка (рис. 6) с использованием команды «Смещённая плоскость» и операции «Вырезать выдавливанием».

6) Моделирование установочных мест для удочек рядом с пассажирским сидением (рис. 7).

7) Скругление острых кромок (команда «Скругление») (рис. 8).



Рис. 4

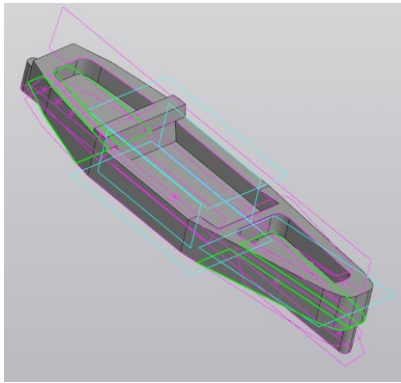


Рис. 6

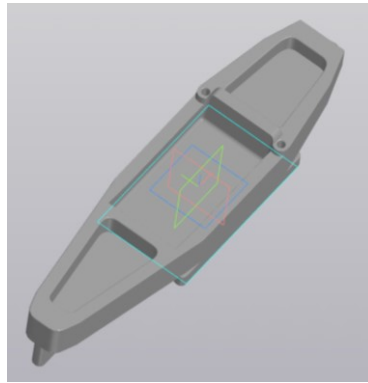


Рис. 7

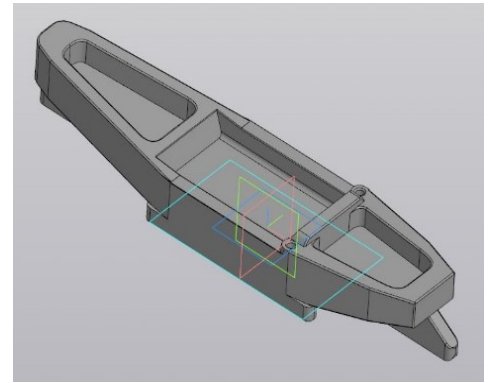


Рис. 8

Результат моделирования представлен на рис. 9.

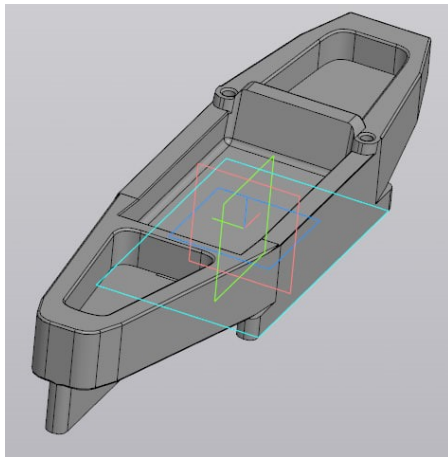


Рис. 9

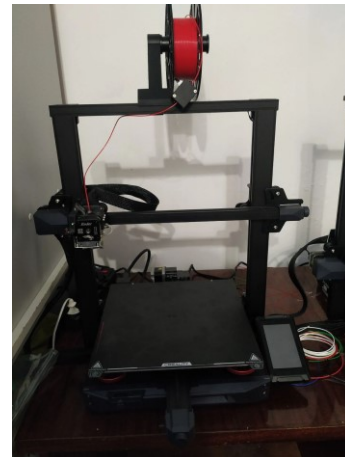


Рис. 10

Печать 3D модели каяка

Модель каяка была сохранена в формате `***.stl` и отправлена на 3D печать.

Существуют разные модели 3D принтеров. Самыми простыми и распространёнными, на данный момент, являются принтеры с технологией послойного плавления пластика (FDM принтеры). Принцип работы таких устройств заключается в плавлении пластиковой нити, заправленной в экструдер. Процесс начинается с расплавления материала, из которого путем давления получается пластиковая нить в полужидком состоянии. Экструдер наносит нить на движущуюся платформу в заданном месте слой за слоем, создавая нужный макет изделия. Процесс происходит снизу-вверх. Именно на таком 3D принтере Creality (рис. 10) была распечатана 3D модель каяка (рис. 11, 12).



Рис. 11



Рис. 12

На распечатанной модели образовались, так называемые, поддержки – временные структуры, добавляющиеся самим 3D принтером во время печати (рис. 12). Такие поддержки служат опорой, чтобы не провисали части модели. После завершения печати поддержки удаляются.

Выводы. САПР КОМПАС-3D позволяет создавать модели объектов самых разнообразных форм. Создание трёхмерных моделей - очень интересный, познавательный, а главное полезный процесс и опыт.

Список литературы

1. Безик, В. А. Основы работы в САПР КОМПАС 3D : учебное пособие / В. А. Безик, А. Н. Васькин, А. В. Жиряков. — Брянск : Брянский ГАУ, 2021. — 94 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/304163> (дата обращения: 05.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Баранова, И. В. КОМПАС-3D для школьников. Черчение и компьютерная графика : учебное пособие / И. В. Баранова. — Москва : ДМК Пресс, 2009. — 272 с. — ISBN 978-5-94074-519-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1313> (дата обращения: 10.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 621.01

СОЗДАНИЕ 3D МОДЕЛИ ШЛЯП

З.С. Баланец¹, В.В. Кожемяко², Д.С. Кручинкина³, Е.А. Миронцева⁴, О.В. Мухина⁵

¹ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
z1625274@gmail.com

²ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
barbara.kozhemyako@gmail.com

³ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
kruchinkina.dianochka@yandex.ru

⁴ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
elena_mirontseva@mail.ru

⁵ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Аннотация. Статья посвящена процессу создания трехмерных моделей шляп в системе автоматизированного проектирования Компас-3D. В работе рассматриваются этапы моделирования, начиная от построения базовой геометрии до применения сложных поверхностей и декоративных элементов. Статья будет полезна дизайнерам, инженерам и студентам, интересующимся применением современных технологий в области моделирования одежды и аксессуаров.

Ключевые слова: 3D модель, шляпа, дизайн, стиль

CREATING A 3D MODEL OF HATS

Z.S. Balanets¹, V.V. Kozhemyako², D.S. Kruchinkina³, E.A. Mirontseva⁴, O.V. Mukhina⁵

¹GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
z1625274@gmail.com

²GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
barbara.kozhemyako@gmail.com

³GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
kruchinkina.dianochka@yandex.ru

⁴GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
elena_mirontseva@mail.ru

⁵FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Annotation. The article is devoted to the process of creating three-dimensional models of hats in the Compass3D computer-aided design system. The paper examines the stages of modeling, starting from the construction of basic geometry to the application of complex surfaces and decorative elements. The article will be useful for designers, engineers and students interested in the application of modern technologies in the field of clothing and accessories modeling.

Keywords: 3D model, hat, design, style

Введение. Производство головных уборов, в частности шляп, является важной частью легкой промышленности и имеет богатую историю. Шляпы не только защищают от солнца и непогоды, но и служат модным аксессуаром, отражающим индивидуальность и стиль. Мировой рынок шляп постоянно развивается, следуя новым тенденциям и технологиям.

Процесс создания новой шляпы, будь то классическая федора или авангардная модель, требует тщательной проработки. Он включает в себя анализ модных трендов, выбор материалов, разработку дизайна и конструкции, а также непосредственно изготовление. Дизайнеры создают эскизы и 3D-модели будущих шляп, учитывая форму, размер, декоративные элементы и функциональность. Современные технологии, такие, как системы автоматизированного проектирования (САПР), играют всё большую роль в индустрии головных уборов. Они позволяют создавать точные цифровые модели, экспериментировать с различными вариантами дизайна и оптимизировать процесс производства. Многие компании для моделирования выкроек и драпировки ткани используют специализированные САПР такие, как САПР Грация, Julivi, Леко и др., что позволяет добиться идеальной посадки готового изделия и сократить время на его создание.

Поскольку данное направление представляет собой перспективную область для внедрения инноваций, авторы решили разработать цифровые модели шляп с помощью САПР КОМПАС-3D, чтобы изучить возможности современных технологий в производстве головных уборов и внести свой вклад в развитие этой отрасли.

Работа выполнена учащимися 10-го класса гимназии № 7 имени В. И. Великого в рамках изучения дисциплины «Компьютерная графика» (САПР) на базе Политехнического института Севастопольского государственного университета. Авторами разработано техническое задание, поставлены задачи и определены цели проекта. Разработаны стадии, этапы и сроки разработки изделия. Выполнены технический и эскизный проекты. Подготовлен рабочий проект. Созданы и распечатаны на 3D принтере модели шляп.

Основная часть. Технология 3D моделирования шляпы представляет собой несложную работу, состоящую из нескольких этапов. Моделирование в КОМПАС-3D ускоряет процесс проектирования, позволяет избежать ошибок в процессе производства изделия, обилие функций САПР даёт возможность дизайнеру создавать самые разные модели.

Для создания 3D модели шляпы авторы проекта вдохновились шляпами Marina Rinaldi (рис. 1). Их изящные линии и оригинальные формы придают каждой модели особый шарм, превращая её в настоящее произведение искусства.



Рис. 1

За основу модели приняты эскизы шляп, представленные на рис. 2.



Рис. 2

3D модели созданы в САПР КОМПАС-3D операцией «Элемент вращения» (рис. 3, 4). Эскизы контура выполнены в вертикальной плоскости. Ось вращения – Z. Бант (рис. 5) служил украшением и акцентом шляпы, – моделировался отдельно.

Модель шляпы сохранила дух оригинала, но получила новый элемент дополнения – изысканный бантик. Этот элемент подчеркивает стиль и придаёт шляпе индивидуальность, делая её ещё более привлекательной и разнообразной. Модель сочетает в себе лучшие традиции Marina Rinaldi и свежие креативные идеи, что позволит привлечь внимание и вызвать восхищение у ценителей моды. Бант может быть, как простым, так и сложным по форме, что позволяет варьировать стиль шляпы.

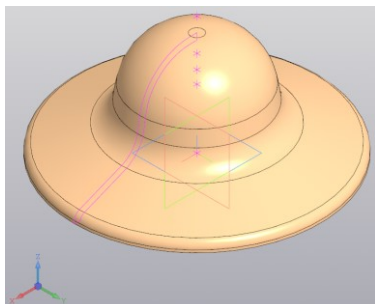


Рис. 3

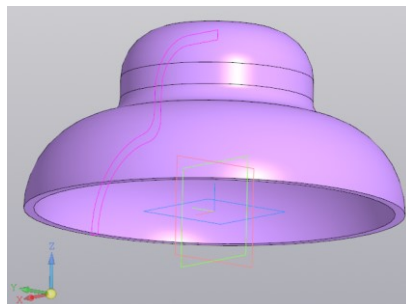


Рис. 4

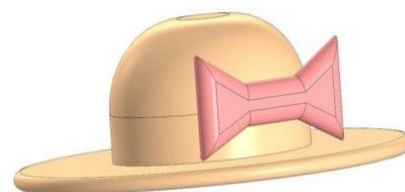


Рис. 5

Модели шляп, созданные в САПР Компас-3D, сохранены в формате *****.stl**, распечатаны на 3D принтере Crealitiy и украшены ручным декором (рис. 6, 7).



Рис. 6



Рис. 7

Выводы. САПР КОМПАС-3D имеет широкий спектр возможностей моделирования и позволяет создавать модели деталей и сборок не только технических средств, но и различных дизайнерских изделий. Обладая мощными инструментами и понятному интерфейсу, данная система позволяет эффективно разрабатывать и моделировать объекты самых разнообразных форм и конструкции. Пользователь любого уровня – от новичка до опытного специалиста может освоить данную программу и найти для себя много полезного и интересного. Использование КОМПАС-3D для создания шляп оказалось простым, удобным и быстрым методом. Создание 3D моделей - увлекательное и творческое действие. В процессе работы над данным проектом его исполнители насладились процессом моделирования и удовлетворены результатом своего труда.

Список литературы

1. Безик, В. А. Основы работы в САПР КОМПАС 3D : учебное пособие / В. А. Безик, А. Н. Васькин, А. В. Жиряков. — Брянск : Брянский ГАУ, 2021. — 94 с. — Текст : электронный // Лань : электроннобиблиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/304163> (дата обращения: 08.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Баранова, И. В. КОМПАС-3D для школьников. Черчение и компьютерная графика : учебное пособие / И. В. Баранова. — Москва : ДМК Пресс, 2009. — 272 с. — ISBN 978-5-94074-519-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1313> (дата обращения: 08.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 621.01

МОДЕЛЬ ИГРУШКИ: ОТ ИДЕИ К СОЗДАНИЮ 3D МОДЕЛИА.А. Когот¹, А.В. Шилов², Е.Д. Левченко³, О.В. Мухина⁴¹ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия, froggyu@mail.ru²ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
Aleksandrsilov195@gmail.com³ГБОУ «Гимназия №7 им. В.И. Великого», г. Севастополь, 299040, Россия,
elisabeta.levchencko@yandex.ru⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Аннотация. В современном мире технологии всё чаще обращаются к природе за вдохновением, что особенно актуально в контексте развития робототехники и биомиметики. В данной статье представлен процесс создания 3D модели роботизированного зайца в программе КОМПАС-3D, отражающей гармонию между природными формами и современными технологиями. Актуальность работы обусловлена растущим интересом к бионическому дизайну, который позволяет создавать более эффективные и адаптивные технические решения. Проект демонстрирует, как методы 3D моделирования и 3D печати могут быть использованы для разработки инновационных моделей, сочетающих естественную эстетику и функциональность робототехнических систем.

Ключевые слова: 3D модель, роботизированный заяц, биомиметика, КОМПАС-3D, 3D печать, бионический дизайн.

TOY MODEL: FROM IDEA TO 3D MODELA.A.Kogot¹, A.V.Shilov², E.D.Levchenko³, O.V.Mukhina⁴¹GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia, froggyu@mail.ru²GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
Aleksandrsilov195@gmail.com³GBOU "Gymnasium No. 7 named after V.I. Veliky", Sevastopol, 299040, Russia,
elisabeta.levchencko@yandex.ru⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, ovmyhina@sevsu.mail.ru

Abstract. In the modern world, technology increasingly draws inspiration from nature, which is especially relevant in the context of robotics and biomimetics. This article presents the process of creating a 3D model of a robotic hare in the COMPAS-3D program, reflecting the harmony between natural forms and modern technologies. The relevance of the work is driven by the growing interest in bionic design, which enables the development of more efficient and adaptive technical solutions. The project demonstrates how 3D modeling and 3D printing methods can be used to create innovative models that combine natural aesthetics with the functionality of robotic systems.

Keywords: 3D model, robotic hare, biomimetics, COMPAS-3D, 3D printing, bionic design.

Введение

Выбор зайца в качестве объекта для создания роботизированной 3D-модели не был случайным. Это животное, сочетающее в себе грацию, скорость и удивительную адаптивность к окружающей среде, стало идеальным символом гармонии между природой и технологиями. В современном мире, где инженерные решения всё чаще вдохновляются биологическими системами, заяц представляет собой прекрасный пример того, как естественные механизмы движения и поведения могут быть воплощены в робототехнических устройствах.

Актуальность данного проекта заключается в его междисциплинарном характере, объединяющем биологию, инженерию и цифровые технологии. С одной стороны, заяц – это часть живой природы, демонстрирующая эффективные биомеханические принципы. С другой – его роботизированная модель становится воплощением современных технологических возможностей, включая 3D-моделирование, автоматизированное проектирование и аддитивное производство.

Цель работы – не просто создать точную 3D-копию животного, а разработать модель, которая визуально и функционально передаёт единение естественного и искусственного. Для этого были поставлены следующие задачи:

- изучить анатомические и биомеханические особенности зайца;
- адаптировать природные формы для цифрового моделирования в САПР КОМПАС-3D;
- интегрировать в модель элементы, подчёркивающие её технологическую составляющую (например, уши в виде ламп);
- реализовать проект с помощью 3D-печати.

Работа выполнялась учащимися в рамках учебного курса «Компьютерная графика» при поддержке Политехнического института Севастопольского государственного университета. Проект демонстрирует, как современные инструменты проектирования позволяют не только копировать природу, но и творчески переосмысливать её, создавая новые формы на стыке биологии и инженерии.

Таким образом, роботизированный заяц становится не просто учебным макетом, а наглядным примером того, как могут развиваться технологии в диалоге с природой, заимствуя у неё самые эффективные решения и адаптируя их для будущих инноваций.

Основная часть. Технология 3D-моделирования бионического объекта

Создание 3D-модели роботизированного зайца представляет собой сложный многоэтапный процесс, требующий глубокого понимания, как биологических особенностей объекта, так и возможностей современных САПР. Моделирование в КОМПАС-3D позволяет не только точно воспроизводить природные формы, но и адаптировать их для технологических решений, что особенно важно в бионическом проектировании.

Для создания 3D-модели был выбран заяц-русак (рис. 1) – животное, обладающее уникальными биомеханическими характеристиками. Его анатомия, включающая мощные задние конечности для прыжков, подвижные уши-локаторы и обтекаемую форму тела, представляет особый интерес для робототехники. Игрушечный робот (рис. 2) – модель, доступная для восприятия независимо от возрастной категории. Роботизированный заяц из эпизода мультфильма “Ну погоди!” (рис. 3) – узнаваемый образ, работает на привлечение подростковой аудитории к изучению биомеханики.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Этапы проектирования

Процесс моделирования включал следующие ключевые этапы:

- 1) Биологическое исследование.** Анализ анатомического строения, изучение биомеханики движения, фотограмметрия для создания точных пропорций
- 2) Концептуальное проектирование.** Разработка эскизов (рис. 4), определение роботизированных элементов, создание технического задания.
- 3) 3D-моделирование в КОМПАС-3D.** Поэтапное создание компонентов (туловище, конечности, уши), добавление технологических элементов (шарниры, крепления).

Особенности модели

Разработанная модель представляет собой цельную деталь, состоящую из 4 условных частей: передней части корпуса, задней части корпуса, верхних и нижних конечностей (рис. 5).

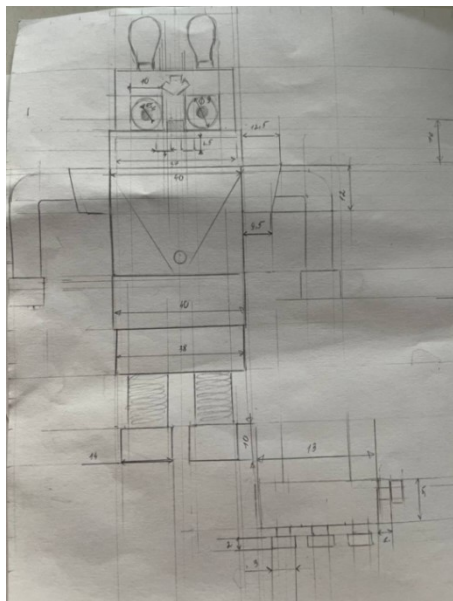


Рис. 4

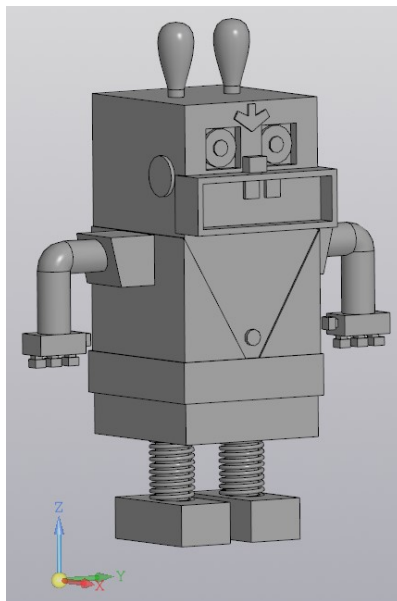


Рис. 5

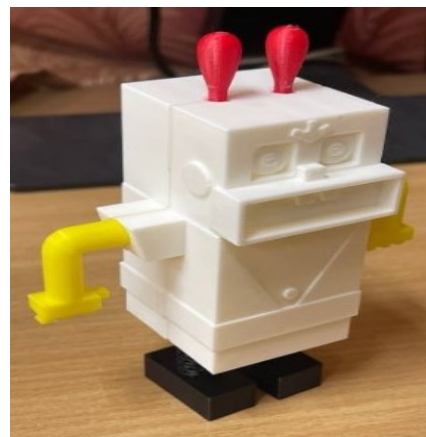


Рис. 6

4) **3D-печать.** Экспорт модели в формат *****.stl** и печать на 3D принтере Creality.

5) **Постобработка деталей, удаление поддержек.**

6) **Финальная сборка изделия.**

Выводы.

1. Применение КОМПАС-3D доказало свою эффективность для создания сложных бионических моделей, сочетающих природные формы и технологические решения.

2. Проект продемонстрировал, что современные САПР позволяют точнее воспроизводить биологические формы, оптимизировать процесс проектирования, создавать функциональные прототипы.

3. Разработанная модель открывает перспективы для дальнейшего изучения биомиметики, развития образовательных программ, создания более совершенных роботизированных систем.

Список литературы

1. Мещерский, И. В. Задачи по теоретической механике / И. В. Мещерский. — 53-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 448 с. — ISBN 978-5-507-46953-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/324968> (дата обращения: 12.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики. В 2-х томах. Т. II Динамика. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — 640 с.

3. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. — 14-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 732 с. — ISBN 978-5-507-47194-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/340022> (дата обращения: 12.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Maple. Product Build IDs. Copyright (c) Maplesoft, a division of Wate.lo MapleInc. 1981-2009.

5. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности [Текст] : монография / А. И. Бохонский ; Севастопольский гос. ун-т. - Москва : Вузовский учебник : ИНФА-М, 2016. - 172, [1] с. : ил., табл.; 21 см. - (Научная книга.); ISBN 978-5-9558-0516-0 (Вузовский учебник)

СОЗДАНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А. А. Мирин¹, И. П. Поддубный²

¹ Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Школа-гимназия №1» городского округа Судак, ул. Маяковского, г. Судак, Российская Федерация, 298000, andy0mirin@gmail.com

² Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение, «Школа-гимназия №1» городского округа Судак, ул. Маяковского, г. Судак, Российская Федерация, 298000, geoportal-25@mail.ru

Аннотация. В данном проекте рассматривается разработка и создание акустической системы, предназначенной для обеспечения качественного воспроизведения звука в различных условиях. Актуальность проекта обусловлена растущим интересом к высококачественному звуку как в домашних, так и в профессиональных условиях.

Проект включает в себя основных принципов работы акустических систем, выбор компонентов, таких как динамики, усилители и схема(контроллера), а также проектирование внешней оболочки. Особое внимание уделяется акустическому оформлению и оптимизации характеристик системы для достижения максимального качества звучания.

В ходе работы будут проведены эксперименты по тестированию различных конфигураций и материалов, а также анализ полученных результатов. Ожидается, что разработанная акустическая система сможет удовлетворить потребности как любителей музыки, так и профессионалов в области звукозаписи и звукопередачи.

Проект направлен на создание доступного и высококачественного решения, которое позволит пользователям наслаждаться чистым и насыщенным звуком, а также расширит их знания в области акустики и звуковых технологий. А также популяризировать процесс 3D моделирования для возможности создания высококачественных «кастомных» прототипов из известных игр и тд.

Ключевые слова: акустики, проектирование, оптимизация, 3D модель

CREATION OF AN ACOUSTIC SYSTEM

A. Mirin¹, I. P. Poddubny²

¹ Municipal budgetary educational institution "School-gymnasium №. 1" of the city district of Sudak, st. Mayakovsky, Sudak, Russian Federation, 298000, andy0mirin@gmail.com

² Municipal budgetary educational institution, "School-gymnasium №. 1" of the city district of Sudak, st. Mayakovsky, Sudak, Russian Federation, 298000, geoportal-25@mail.ru

Abstract. This project deals with the development and creation of an acoustic system designed to provide high-quality sound reproduction in various conditions. The relevance of the project is due to the growing interest in high-quality sound both at home and in professional settings.

The project includes the basic principles of acoustic systems, the choice of components such as speakers, amplifiers and a circuit (controller), as well as the design of the outer shell. Particular attention is paid to the acoustic design and optimization of the system's characteristics to achieve maximum sound quality.

During the work, experiments will be conducted to test various configurations and materials, as well as an analysis of the results. It is expected that the developed acoustic system will be able to meet the needs of both music lovers and professionals in the field of sound recording and transmission.

The project is aimed at creating an affordable and high-quality solution that will allow users to enjoy pure and rich sound, and also expand their knowledge in the field of acoustics and sound technology. And also to popularize the process of 3D modeling for the possibility of creating high-quality "custom" prototypes from famous games, etc.

Keywords: acoustics, design, optimization, 3D model

Введение.

Идея создания акустической системы пришла из модели радио в видеоигре «Scrap mechanic». В игре оно представляет собой систему, воспроизводящее местные радиостанции. Пользователей впечатлил его футуристический внешний вид, и мы воссоздали прототип данной системы в реальной жизни.

Мы часто видим различные радиоприемники и акустические системы. Они бывают с одной функцией или же многофункциональными. Но зачастую они не отличаются уникальным внешним видом и в современный интерьер плохо вписываются. Именно поэтому акустическая система выполненная в виде радио из игры может вписаться в различный стиль интерьера. Данный аксессуар отлично впишется в интерьер геймеров.

Для воссоздания внешнего вида радио из игры необходимо создать 3D модель в программной среде Blender. С помощью данной 3D среды были воссозданы все формы и размеры оригинала. Далее был выбран самый подходящий материал для изготовления корпуса – переплетный картон. Он тонкий и довольно прочный. Также пригодились инструменты: ножницы, скальпель, клеевой пистолет.

Цель исследования создание акустической системы в соответствии с спроектированной трех мерной модели.

Основная часть

В результате проделанной работы авторы статьи создали прототип акустической системы в соответствии с построенной трехмерной моделью. Всю работу по созданию прототипа можно представить в виде следующих этапов:

1. Перенос всех размеров на бумажные трафареты.
2. Импортирование чертежей в программу «Blender» (рис. 1, 2).
3. Составление из двух листов картона передней и задней стенок. (рис. 3, 4).
4. Скрепление стенок с помощью оснований.
5. Добавление боковых стенок.
6. Вырезание различных конструктивных отверстий и пазов.
7. Прикрепление дверцы органов управления (рис. 5).
8. Создание крышки отсека под внешнюю аппаратуру.
9. Монтаж аккумуляторного отсека (рис. 6).
10. Интегрирование в корпус электрической схемы.
11. Добавление мелких деталей внешнего вида.
12. Покраска.

Электрическая схема была собрана из различных «доноров», а также акустической системы для компьютера. Также была интегрирована функция классического радио FM. Мы включили в электрическую схему разъем «Мини Джек» (AUX) с интегрированным модулем управления. При желании пользователь сможет подключить стороне устройство для вывода звука через разъем AUX.

Итоговая версия акустической системы, сделанной с внешним видом из игры отлично вписывается в любой интерьер и дает уникальности. Прибор оснащен синей подсветкой и множеством регулировок качества звука. Данная акустическая система выдает приличные показания громкости (80 ДБ, 16–18 Вт), так что ее хватит для помещения крупного размера.

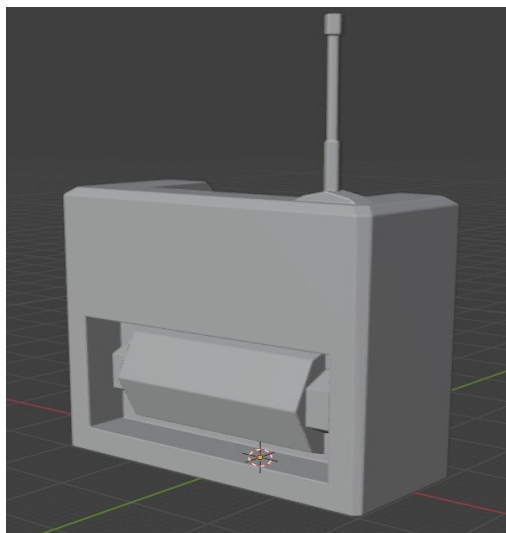


Рис.1



Рис.2

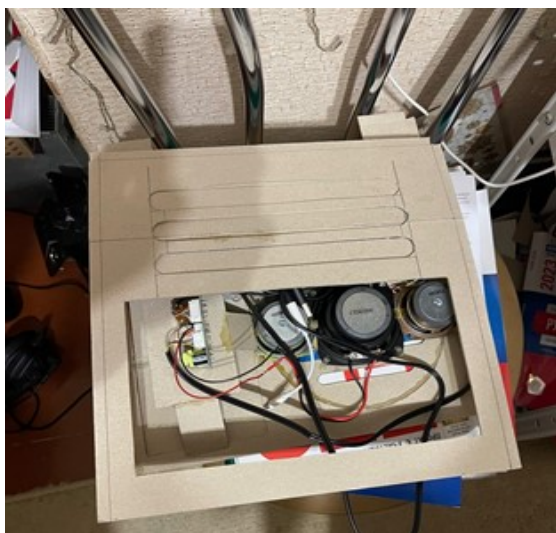


Рис. 3



Рис. 4

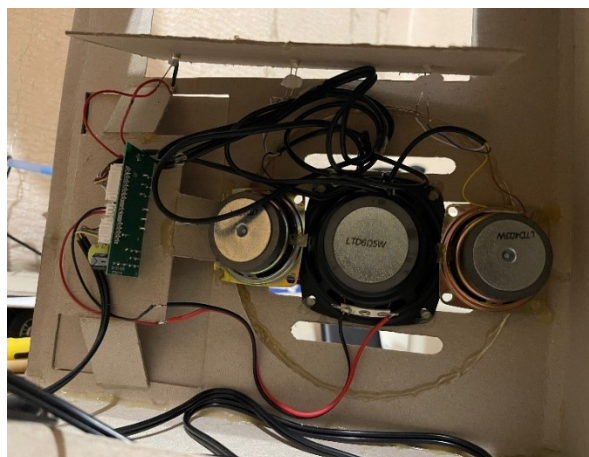


Рис. 5



Рис. 6

Создание акустической системы — это увлекательный процесс, который требует знаний в области электроники и акустики. Правильный выбор компонентов и тщательная сборка позволяют получить устройство, способное воспроизводить звук высокого качества. В будущем проект может быть расширен, добавляя новые функции, такие как беспроводная связь или управление через мобильные приложения.

Перспективы: с развитием технологий появляются новые возможности для улучшения акустических систем. Внедрение цифровой обработки сигналов (DSP), использование новых материалов для динамиков и корпусов, а также интеграция с умными домами открывают новые горизонты для разработчиков и пользователей.

Вывод Программная среда «Blender» позволяет пользоваться разными видами и техниками моделирования, начиная от стандартного полигонального моделирования по жесткой поверхности (hard_surface) и заканчивая моделированием кривыми и скульптингом (процессом, похожим на лепку скульптур в реальной жизни). Также «Blender» доступен для скачивания и использования абсолютно бесплатно. Это особенно важно для начинающих инженеров, которым не нужно тратить деньги на приобретение дорогостоящего программного обеспечения. Благодаря открытому исходному коду, пользователи могут вносить изменения в программу и создавать дополнительные инструменты. В результате работы в данной программе мы создали модель акустической системы и получили большой опыт в конструировании точных геометрических плоскостей, отработали навык работы со схемами и чертежами.

Список литературы.

1. 3D ГИС [Электронный ресурс] : НЕОЛАНТ. URL : <http://www.neolant.ru/> (дата обращения: 20.03.2020)
2. Воробьев Ю. Д. Построение трехмерной модели на основе кадастровой информации // Геодезия и картография. 2004. № 3. С. 43 – 51.
3. Гис технологии: интеграция геоинформационных систем [Электронный ресурс] : СОВЗОНД. URL : <https://sovzond.ru>. (дата обращения: 22.03.2020)
4. Гречищев А. В. Трехмерное моделирование и фотореалистичная визуализация городских территорий // ArcReview. 2003. №2. С. 12 – 13.
5. Гук А. П., Шляхова М.М. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3d моделей по данным дистанционного зондирования // Вестник-СГУГиТ. 2015. № 4. С. 51–60.
6. Лазерко М. М. Анализ современных средств для создания трехмерных моделей по раз- личным данным // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Ново- сибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 3, ч. 2. – С. 122–126.

СЕКЦИЯ № 2

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.184.6

ГИДРОЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ФОРСУНОК ВПРЫСКИВАЮЩИХ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ КОТЛОВ

А.Ю. Приймак¹, М.Ю. Сербиновский²¹ПАО ТКЗ «Красный котельщик», г. Таганрог, 347910, Россия, A290488@yandex.ru²ПАО ТКЗ «Красный котельщик», г. Таганрог, 347910, Россия, serb-m@mail.ru

Аннотация. Представлены примеры повреждений центробежных форсунок впрыскивающих парохладителей (ВПО), используемых в паровых котлах, проведен анализ причин повреждений, определены требования к применяемым материалам и критерии по выбору материалов. Предложен метод оценки устойчивости материалов к эрозионному износу, приведены результаты трибологических испытаний высоколегированных материалов, отобранных на основании изучения их сопротивляемости дефектам при циклических тепловых ударах. Даны рекомендации о предпочтительном использовании одного из исследованных материалов, на основании его способности противостоять образованию дефектов при циклическом тепловом ударе и износоустойчивости. Сформированы задачи дальнейших комплексных исследований по подбору материалов для центробежных форсунок парохладителей ВПО.

Ключевые слова: Паровой котлоагрегат, энергетический котёл, впрыскивающий парохладитель, центробежная форсунка, регулирование параметров пара, гидроэрозия, эрозионный износ.

HYDROEROSION WEAR OF CENTRIFUGAL INJECTORS OF INJECTION DESUPERCOOLERS AND DETERMINATION OF MATERIALS FOR THEIR PRODUCTION

A.Y. Priymak¹, M.Y. Serbinovsky²¹PJSC TKZ «Krasny Kotelshchik», Taganrog, 347910, Russia, A290488@yandex.ru²PJSC TKZ «Krasny Kotelshchik», Taganrog, 347910, Russia, serb-m@mail.ru

Annotation. Examples of damage to centrifugal injectors of injecting steam coolers (ISC) used in steam boilers are presented, an analysis of the causes of damage is carried out, requirements for the materials used and criteria for the selection of materials are determined. A method for assessing the resistance of materials to erosive wear is proposed, and the results of tribological tests of high-alloy materials selected based on the study of their resistance to defects under cyclic thermal shocks are presented. Recommendations are given on the preferred use of one of the studied materials, based on its ability to resist the formation of defects during cyclic thermal shock and wear resistance. The tasks of further comprehensive research on the selection of materials for centrifugal nozzles of steam coolers of the (ISC) have been formed.

Keywords: Steam boiler, power boiler, injection steam cooler, centrifugal nozzle, steam parameter control, hydroerosion, erosive wear.

Введение

Регулирование температуры пара в котельном или стационарном паропроводе на выходе из энергетического котлоагрегата наиболее часто обеспечивается впрыскивающими парохладителями (ВПО) путем подачи воды в перегретый пар через форсунки, количество которых зависит от мощности котла и сечения паропровода. ВПО встраиваются в паровые тракты близи границы между котельным и стационарным паропроводами. ВПО обладают: низкой инерционностью, простота конструкции и ремонтпригодностью, что определяет их популярность и распространённость в котлоагрегатах тепловых электрических станций (ТЭС). Форсунка ВПО, как ключевой элемент конструкции, обеспечивает впрыск и распыление охлаждающей воды в паровом тракте. Форсунка определяет эффективность регулирования температуры пара и маневренность энергоблока в целом. Отметим, что в ВПО используют струйные и центробежные форсунки, которые отличаются конструкцией, но имеют общий

недостаток: относительно малый в сравнении с паропроводом ресурс. Причины снижения ресурса: высокий температурный градиент, вибрации, высокие скорости парового потока, омывающего форсунку, и потока впрыскиваемой воды, что вызывает интенсивный гидроэрозионный износ материала форсунки [1]. Всё это не только значительно сокращает эксплуатационный ресурс форсунок и ВПО в целом, но и служит причиной аварийного выхода из строя ВПО при разрушении форсунок [2-5]. Всё это свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования конструкции форсунок и выборе материалов, более стойких к разрушающим факторам. Особенно остро такая проблема стоит для центробежных форсунок пусковых ВПО.

Основная часть

Материалы центробежных форсунок ВПО должны с точки зрения производства должны обладать высокой технологичностью и относительно невысокой стоимостью, с точки зрения эксплуатации – высокой эрозионной стойкостью и высокой устойчивостью трещинообразованию в условиях резких изменений температуры. Отметим, что во время пуска энергетического котла температуре пара поднимается выше 570°C , а температура выпрыскиваемой воды составляет $50 - 160^{\circ}\text{C}$.

Предложено множество потенциальных материалов для форсунок ВПО, тем не менее имеющихся данных по эффективности их применения недостаточно для окончательного выбора. Особенно это касается данных по интенсивности эрозионного износа материалов центробежных форсунок. Необходимы параллельные оценки стойкости материалов к трещинообразованию и эрозии. Кроме этого нужна оценка конструкций со стороны стойкости к трещинообразованию и эрозии.

Исторически конструкцию центробежной форсунки [6] связывали с необходимостью обеспечения высокого качества распыления впрыскиваемой воды в среду пара малых величин плотности и скорости. ВПО с такими форсунками устанавливали в паровых трактах низкого и высокого давления. Вариант конструкции такой форсунки, показан на рис.1 [5]. Помещённая в водоподводящую трубу форсунка сварена из корпуса и доньшка. Вода подаётся через тангенциально расположенные отверстия в цилиндрическую полость корпуса, закручивается и движется через конический переход и выходной канал сопла, после чего распыляется под действием центробежных сил. В качестве материала использовали котельную сталь 12Х1МФ технологичную и достаточно дешёвую, но с низкой стойкостью к эрозионному износу.

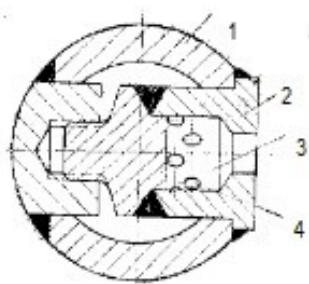


Рис. 1. Конструкция центробежной форсунки
1 – водоподводящая труба, 2 – корпус с соплом,
3 – камера закручивания с коническим переходом,
4 – каналы подачи воды

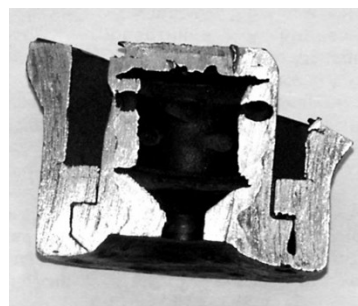
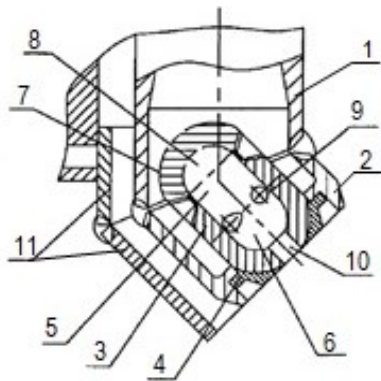


Рис. 2. Фото разрушенной форсунки
конструкции ВТИ

Такие форсунки применялись в пусковых ВПО по рекомендациям Всесоюзного теплотехнического института (ОАО «ВТИ»), и серийно изготавливались на Таганрогском котлостроительном заводе «Красный котельщик» (ныне ПАО ТКЗ «Красный котельщик»). При плановых обследованиях ВПО после эксплуатации менее 5 лет наблюдался выход из строя форсунок по причине значительного эрозионного износа или их разрушения. Так у форсунки, показанной на рис. 2, произошёл отрыв форсунки от водоподводящего патрубка, наблюдается гидроэрозионный износ поверхности внутренней полости форсунки и части внешней

поверхности в зоне тангенциальных входных каналов, особенно значителен износ на границе корпус-донышко, входе в конический участок и входном канале сопла. Отчетливо видны трещины вдоль границ наплавленного высоколегированного сплава.

С учетом выявленных повреждений центробежных форсунок конструкторским подразделением ТКЗ «Красный котельщик» была разработана новая конструкция форсунки, показанная на рис. 3 [7]. Форсунка содержит, выполненные из высоколегированного сплава и сваренные между собой, полусферический корпус с отверстием-соплом и донышко с отверстием. В цилиндрической части корпуса выполнены тангенциальные каналы подачи воды.



**Рис. 3. Конструкция современной центробежной форсунки
ПАО ТКЗ «Красный котельщик»**

1 – водоподводящая труба, 2 – втулка форсунки, 3 – корпус форсунки, обработкой, 4 – венец, 5 – внутренняя полость корпуса, 6 – цилиндрическая часть полости, 7 – донышко корпуса, 8 – полусферическая часть внутренней полости, 9 – тангенциальные каналы 10 – сопло, 11 – защитный кожух



**Рис. 4. Фото разрушенной форсунки
конструкции ТКЗ «Красный котельщик»**

Считалось, что новая конструкция позволит увеличить ресурс форсунки, уменьшит интенсивность гидроэрозии за счёт применения сплава высокой твёрдости, но ожидаемого эффекта не было достигнуто. Ресурс данной форсунки составил менее 20 тыс. часов, что меньше ожидаемого. Пример поврежденной форсунки представлен на рис. 4. Отрыв произошёл по сечению тангенциальных каналов подачи воды во внутреннюю полость форсунки (левая часть форсунки на рис. 4), видны зоны значительного гидроэрозионного износа, зоны образования и роста трещин с последующим доломом. Кроме этого показан гидроэрозионный износ донышка форсунки в осевой зоне на полную толщину стенки (правая часть форсунки на рис. 4). После отрыва части форсунки и столкновений со стенкой водоподводящего патрубка края промоин в донышке вогнуты в сторону внутренней полости форсунки. Анализ повреждений подтвердил их две основные причины: 1) интенсивный гидроэрозионный износ; 2) образование и развитие усталостных трещин. Таким образом задача выбора материал форсунки, обладающего стойкостью к обоим разрушающим факторам, не потеряла остроту.

В работе [8] описана методика выбора материалов, основанная на моделировании условий термоудара, максимально приближенных к условиям термоудара при эксплуатации форсунок. В ходе испытаний образцы подвергали циклическому нагреву и охлаждению: нагрев образцов в печи до 545°C с последующим быстрым охлаждением в холодной воде. Образцами служили цилиндрические шайбы, близкие по размерам форсункам и изготовленные из пяти электродных материалов, представленных в таблице 1. Образцы для испытаний на износостойкость выполняли из этих же материалов (таблица 1).

Таблица 1. Материалы образцов для испытаний на износостойкость

№ образца	Материал образцов (сплав с указанием химического состава)	Марка (тип) электрода
11-16	Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ	ВПН-1
21-26	Э-07Х19Н11М3Г2Ф	ЭА-400/10Т
31-36	Э-11Х15Н25М6АГ2	ЭА-395/9
41-46	Э-10Х25Н13Г2	ЦЛ-25/2
51-56	Э-08Х20Н9Г2Б	ЦЛ-11

Для оценки устойчивости материалов к гидроэрозионному износу применяются разнообразные методики и приборы [1]. Среди них выделяются магнитострикционные вибраторы, предназначенные для анализа сопротивляемости материалов кавитационному разрушению. Испытания на таком оборудовании моделируют условия кавитации, возникающей в ультразвуковом поле. Стремление воспроизвести реальные условия гидроэрозии привело к внедрению струеударных установок. Считается, что эти испытания ближе всего имитируют процессы гидроэрозии, включая микродеформационное воздействие на материалы. Существует также метод оценки сопротивляемости материалов износу путем механических воздействий на образцы с использованием трибометров. Этот метод особенно популярен среди исследователей благодаря доступности оборудования и отсутствию необходимости создавать специальные испытательные стенды. Нами проведены триботехнические испытания по стандартизованным методикам [9, 10] на трибометре TRB. Условия испытаний:

- схема испытаний – «шар-пластина»;
- контртело – шар Ø6 мм;
- материал контртела – оксид алюминия;
- движение образца – вращательное;
- скорость скольжения – 0,1 м/с;
- усилие между контртелом и образцом – 2 Н;
- длина пути на первом этапе испытаний – 50 м;
- длина пути на втором этапе испытаний – 300-500 м.

Результаты испытаний образцов на износостойкость приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытания, ранжирование по износостойкости

№ образца	Площадь лунки, S_{cp} , мкм ²	Дли на пути, L, м	Степень износа, I *10-5 (мм ³ /Н/м)	Износостойкость, I_p *10-5 (мм ³ /м)
12	904,74	500	2,84	5,68
22	2125,21	300	11,13	22,26
52	572,83	50	18	35,99
32	1713,15	50	53,82	107,64
42	1733,1	50	54,45	108,89

Испытания на трение показали существенно различную износостойкость исследуемых материалов, поэтому для получения достоверных результатов потребовался второй этап испытаний, в ходе которого для более износостойких сплавов длину пути увеличили до 300 и 500 м. Лучшие результаты по износостойкости продемонстрировали образцы № 12 и 22 из сплавов Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ (марка электродов – ВПН-1) и Э-07Х19Н11М3Г2Ф (марка электродов – ЭА-400/10Т), но рекомендован к применению в проектах энергетических котлоагрегатов материал Э-07Х19Н11М3Г2Ф, что продиктовано склонность материала ВПН-1 к образованию дефектов во

время изготовления и формированию троостно-мартенситной структуры, подверженной трещинообразованию [8].

Отметим, результаты, полученные в ходе нашего исследования, согласуются с данными испытаний аналогичных материалов на струеударной установке [1]. Кроме этого подтверждено, что легирование марганцем увеличивает стойкость сплавов к гидроэрозии.

Отметим также, что помимо выявленных преимуществ рекомендуемого материала для центробежных форсунок ВПО необходимы дополнительные исследования по совершенствованию конструкции центробежных форсунок с целью снижения интенсивности факторов, повышающих гидроэрозионный износ и скорость усталостного разрушения, соответственно, уменьшающих ресурс форсунок, в первую очередь скорость и давление потока жидкости на границе материал форсунки-вода и напряжения в материале форсунки. Необходимы комплексные исследования и совместный анализ результатов, в том числе, конечно-элементного моделирования гидродинамических и гидроэрозионных процессов в форсунках и ВПО в целом, моделирования напряженно-деформируемых состояний в их материале во всех режимах эксплуатации. Важно отметить два аспекта в пользу применения конечно-элементного моделирования: 1) полученные величины напряжений в материале и параметров взаимодействия на границе материал-среда (пар или вода) позволяют судить как об интенсивности гидроэрозионного износа используемого материала и о его сопротивлении усталости; 2) конечно-элементное моделирование является экономичным и наименее трудоёмким методом, позволяющим проводить разносторонние исследования материалов и различных технических, в том числе, конструктивных решений.

Заключение

1. Представлены результаты исследования износостойкости пяти высоколегированных электродных материалов, предназначенных для производства центробежных форсунок впрыскивающих пароохладителей паровых котлов, предварительно проверенных на устойчивость к возникновению дефектов при циклическом нагреве и охлаждении в условиях термоудара.

2. Установлено, что оптимальным вариантом для изготовления центробежных форсунок ВПО является электродный материал Э-07Х19Н11МЗГ2Ф (марка электрода ЭА-400/10Т).

3. Необходимы дальнейшие разносторонние исследования центробежных форсунок различной конструкции и впрыскивающих пароохладителей в целом и комплексный анализ их результатов, включая результаты моделирования гидродинамических и гидроэрозионных процессов в них, моделирование напряженно-деформированного состояния во всех режимах эксплуатации.

Список литературы

1. Фомин, В.В. Гидроэрозия металлов / М.: Машиностроение, 1977. – 287 с.
2. Протокол осмотра пусковых впрысков ОП блЗ, нитка Б (12г), лаборатория технической диагностики «Пермской ГРЭС». 2021. – 14 с.
3. Заключение № 12-04/21 по результатам исследования повреждения впрыскивающих устройств пусковых пароохладителей паропровода «острого» пара энергоблока ст.№2, Лаборатория технической диагностики «Пермской ГРЭС», 2021. – 14 с.
4. Отчет № 4307-380-2021 по исследованию разрушенных элементов форсунок пусковых пароохладителей котла ТПП-804 ст.2 филиала «Пермская ГРЭС», Центральная заводская лаборатория ПАО ТКЗ «Красный котельщик», 2021. – 28 с.
5. Израилев, Ю.Л., Живучесть паропроводов стареющих тепловых электростанций / Ю.Л. Израилев, Ф.А. Хромченко, – М.: Торус пресс, 2002. – 616 с.
6. Развитие конструкции центробежных форсунок впрыскивающих пароохладителей / А.Ю. Приймак // Вестник науки. – 2023 - № 11 (68) Т 3. – С. 1168-1171. – ISSN 2712-8849
7. Авторское свидетельство № 2339873. Впрыскивающий пароохладитель / Сивцов А.И., МКИ F22G 5/12. Заявл. 20.04.2008. Оpubл. 27.11.2008. Бюл. № 33.
8. Выбор перспективных материалов центробежных форсунок впрыскивающих пароохладителей / А.Ю. Приймак, М.Ю. Сербиновский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С.240-247. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_1_240.
9. DIN 50324-1992 «Тела твердые. Модельные испытания на трение и износ при трении скольжения»
10. ASTM G99-17 «Стандартный метод испытания на износ с помощью устройства «Штифт на диске»»

УДК 539.32

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРИФОРМЕННОГО ГАЗОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ПОЛЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

А.И. Евстигнеев¹, Ю.Б. Колошенко², Д.А. Потянихин³

¹ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре, 681013, Россия, diss@knastu.ru

²ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре, 681013, Россия, koloschenko2011@yandex.ru

³ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре, 681013, Россия, potyanikhin@mail.ru

Аннотация. Способ литья под давлением позволяет получать качественные отливки. Увеличение газового давления может повлиять на стойкость устройства, внутри которого создается высокое газовое давление. В работе рассматривается моделирование влияния внутриформенного газового давления на стойкость полых металлических литейных форм. Решается квазистатическая центрально симметричная задача о деформировании двухслойной толстостенной сферической оболочки, к внешней и внутренней границам которой приложено разное давление. Конструктивно литейная и оболочковая формы выполнены в виде разборных полых шаров, вложенных друг в друга. Слои считаются выполненными из одного линейного термоупругого материала. Внешний слой оболочки предварительно дополнительно нагревается. Охлаждение внешнего слоя приводит к сдавливанию внутреннего слоя. В результате проведения серии вычислительных экспериментов были построены эпюры напряжений и перемещений по толщине сферической многослойной оболочки в зависимости от распределения температуры предварительного прогрева оболочковой формы.

Ключевые слова: напряженное состояние, литье под давлением, оболочковая форма, толстостенная сферическая оболочка, предварительный нагрев, оптимизация, вычислительный эксперимент.

MODELING OF THE EFFECT OF INTRAFORM GAS PRESSURE ON THE DURABILITY OF HOLLOW METAL MOLDS

A.I. Evstigneev¹, Y.B. Koloshenko², D.A. Potyanikhin³

¹FSBEI HE Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russia,
diss@knastu.ru

²FSBEI HE Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russia,
koloschenko2011@yandex.ru

³FSBEI HE Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russia,
potyanikhin@mail.ru

Abstract. The injection molding method makes it possible to obtain high-quality castings. An increase in gas pressure may affect the stability of the device, which generates high gas pressure. The paper considers the modeling of the effect of intraform gas pressure on the durability of hollow metal molds. The quasi-static centrally symmetric problem of deforming a two-layer thick-walled spherical shell with different pressures applied to the outer and inner boundaries is solved. Structurally, the casting and shell molds are made in the form of collapsible hollow balls nested in each other. The layers are considered to be made of a single linear thermoelastic material. The outer layer of the shell is preheated additionally. Cooling of the outer layer leads to compression of the inner layer. As a result of a series of computational experiments, stress and displacement diagrams were constructed along the thickness of a spherical multilayer shell, depending on the temperature distribution of the preheating of the shell shape.

Keywords: stress state, injection molding, shell mold, thick-walled spherical shell, preheating, optimization, computational experiment.

Введение

Процесс литья с кристаллизацией под высоким внутриформенным газовым давлением является новым технологическим решением среди известных способов литья под давлением [1, 2]. При реализации такого способа газовое давление внутри формы может быть увеличено неограниченно. Ограничением служит только стойкость самого устройства, внутри которого реализуется высокое газовое давление. Авторами разработана технология подготовки

литейной металлической формы к заливке [3], при которой увеличивается стойкость формы при реализации высокого внутриформенного газового давления. Подготовленная разъемная металлическая форма II (литейная форма) сферической конфигурации устанавливается в нагретую до определенной температуры разъемную матрицу III (оболочковая форма), имеющую сферическую полость (рис. 1). Далее следует резкое охлаждение матрицы. В результате охлаждения матрица III, уменьшаясь в объеме, сдавливает форму, реализуя в её стенке напряжённое состояние всестороннего сжатия, которое препятствует появлению больших растягивающих напряжений в стенке формы при действии в полости литейной формы I внутреннего газового давления. Материал оболочек II и III одинаковый. Внешняя и внутренняя оболочки имеют предварительные деформации вследствие предварительного нагрева и последующего охлаждения. Процесс охлаждения рассматривается как несвязанный, то есть происходящий по закону Дюамеля-Неймана [4].

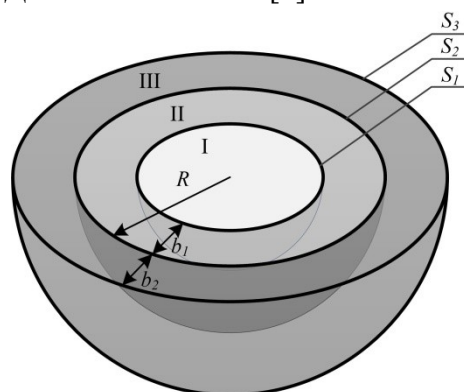


Рис. 1. Общий вид конструкции устройства с указанием поверхностей для задания граничных условий: S_1 – поверхность контакта литейной формы II с областью внутреннего газового давления I; S_2 – поверхность контакта литейной формы II с оболочковой формой III; S_3 – поверхность контакта матрицы с окружающей средой

Математическая модель и граничные условия.

Материал оболочковой формы 1 и литейной формы 2 полагается линейно упругим. В ортогональной системе координат система модельных соотношений имеет вид

$$\sigma_{ij,j} = 0; \varepsilon_{ij} = 0,5(u_{i,j} + u_{j,i}); \sigma_{ij} - \frac{1}{3}\sigma_{pp}\delta_{ij} = 2G\left(\varepsilon_{ij} - \frac{1}{3}\varepsilon_{pp}\delta_{ij}\right); \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ii} = k\sigma_{pp} + 3\alpha(\theta - \theta^*); i, j, p = 1, 2, 3.$$

В соотношениях (1) и далее σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, u_i – перемещения; ε_{ij} – компоненты тензора упругих деформаций; σ – гидростатическое давление; G – модуль сдвига, δ_{ij} – символ Кронекера; k – коэффициент объемного сжатия; α – коэффициент линейного температурного расширения; θ^* – температура нагрева области p ; θ – конечная температура в области. В системе (1) используется суммирование по повторяющимся индексам.

Для решения уравнений (1) использовался численный метод [5]. Разбиваем исследуемую область семействами ортогональных поверхностей на элементы. Для каждого элемента записываем в разностном виде систему уравнений (1) через значения напряжений и перемещений по граням элемента. Решение полученной алгебраической системы уравнений осуществляется численным методом с учетом граничных условий и с использованием алгоритмов и программного комплекса [6]. Принимаем для одномерной задачи в ортогональной системе координат:

$$\sigma_{12} = \sigma_{23} = \sigma_{13} = 0; u_2 = u_3 = 0; \sigma_{22} = \sigma_{33}; \varepsilon_{12} = \varepsilon_{23} = \varepsilon_{13} = 0.$$

Граничные условия определяют давление внутри литейной формы и снаружи оболочковой формы, конечные температуры в формах, а также температуру предварительного подогрева оболочковой формы:

$$\sigma_{11}|_{S_1} = -P_1; \sigma_{11}|_{S_3} = -P_2; \theta_{II} = 20^0 \text{ C}; \theta_{II}^* = 20^0 \text{ C}; \theta_{III} = 20^0 \text{ C}; \theta_{III}^* = \theta_M. \quad (2)$$

Температура θ_M может варьироваться.

Вычислительный эксперимент.

Пусть литейная форма II и оболочковая форма III изготовлены из стали одинаковой марки, для которой $G_{II} = G_{III} = 8100 \text{ кг/мм}^2$, $\mu_{II} = \mu_{III} = 0,3$, $k_{II} = k_{III} = 6,42 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{кг}$, $\alpha_{II} = \alpha_{III} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^0\text{C}$; геометрические размеры $R=50 \text{ мм}$, $b_1=4 \text{ мм}$, $b_2=20 \text{ мм}$; внутреннее давление $P_1 = 50 \text{ кг/мм}^2 \approx 5000 \text{ атм}$, внешнее давление отсутствует. Изменением упругих свойств сталей при нагреве до 300^0 C будем, на основании экспериментальных данных [7], пренебрегать.

По полученным данным строим эпюры радиальных напряжений σ_{11} , меридиональных (окружных) напряжений $\sigma_{22} = \sigma_{33}$, радиальных перемещений u_1 и температуры θ в литейной и оболочковой формах вдоль радиальной координаты при разных режимах предварительного нагрева оболочковой формы (рис. 2).

На рис. 2, а показаны эпюры в сечении стенок литейной и оболочковой форм при температуре $\theta_{III}^* = 20^0 \text{ C}$, то есть без предварительного нагрева оболочковой формы. На внешней границе S_3 возникают довольно значительные растягивающие напряжения σ_{22} , особенно в области II. Они сопоставимы с пределами текучести для некоторых сплавов [7]. На рис. 2, б представлены результаты расчета при $\theta_{III}^* = 100^0 \text{ C}$, что соответствует охлаждению области III от 100^0 C до 20^0 C . Наблюдается резкое падение растягивающих напряжений σ_{22} в литейной форме II и некоторое увеличение в зоне оболочковой формы III. Растягивающие напряжения в зоне III тоже сопоставимы с пределом текучести выбранного материала, однако они не влияют на качество кристаллизующейся заготовки, так как её качество контролируется литейной формой II. На рис. 2, в приведены результаты расчета при охлаждении оболочковой формы, имеющей предварительную температуру нагрева от $\theta_{III}^*|_{S_2} = 100^0 \text{ C}$ до $\theta_{III}^*|_{S_3} = 200^0 \text{ C}$ и изменяющуюся по линейному закону по толщине. На рис. 2, г показаны эпюры напряжений и перемещений для случая, когда в зоне II охлаждение происходит оболочковой формы, нагретой по толщине от $\theta_{III}^*|_{S_2} = 140^0 \text{ C}$ до $\theta_{III}^*|_{S_3} = 250^0 \text{ C}$ по линейному закону. При этом в литейной форме возникают сжимающие напряжения σ_{22} под действием внутреннего давления, хотя в оболочковой форме имеют место значительные растягивающие меридиональные напряжения σ_{22} .

Выводы. Представлена математическая модель для расчета напряженно-деформированного состояния полых шаровых конструкций литейных форм при воздействии внутриформенного газового давления. Показано, что предварительный прогрев оболочковой формы приводит к уменьшению уровня напряжений.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00214, <https://rscf.ru/project/24-29-00214/>.

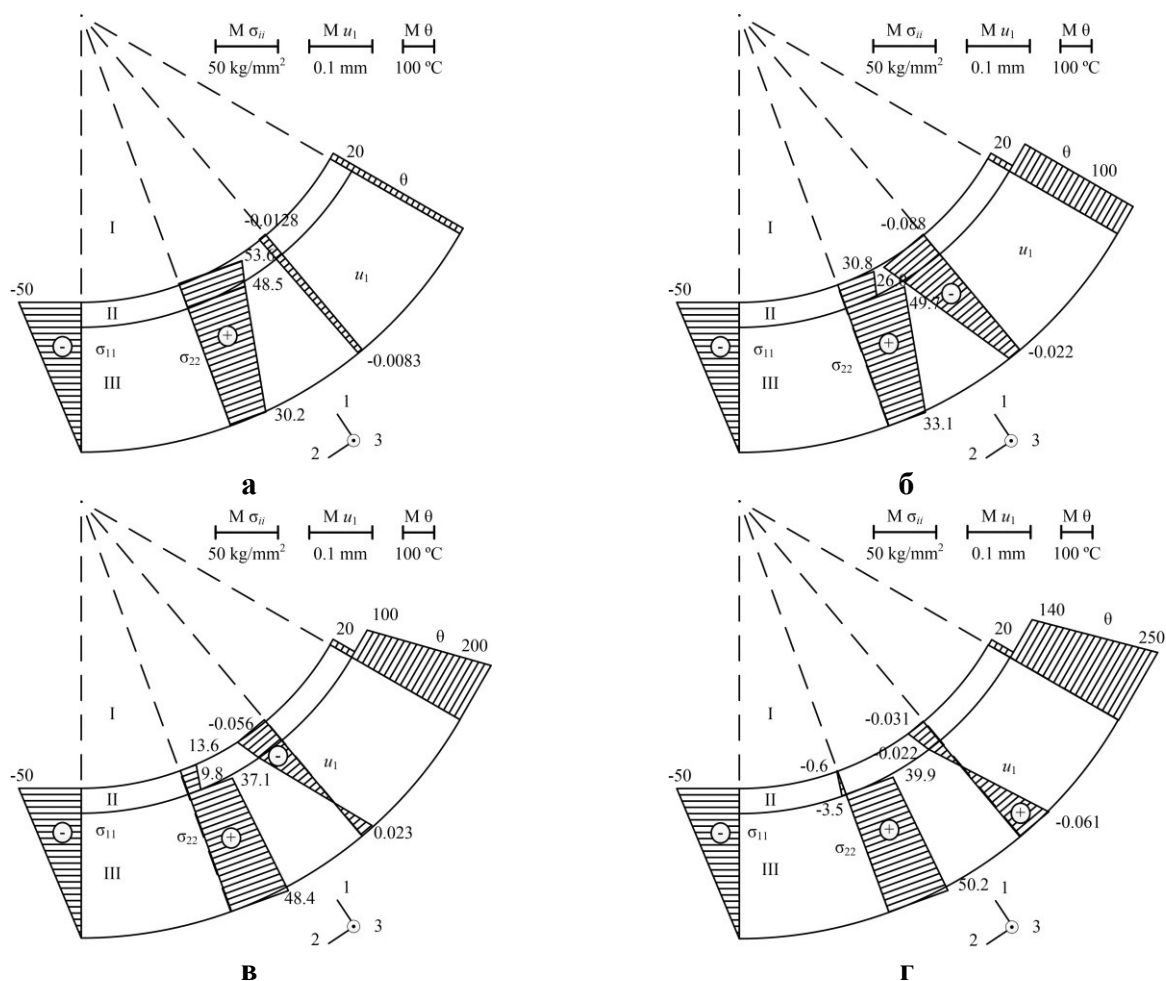


Рис. 2. Эпюры нормальных напряжений σ_{11} , σ_{22} и радиальных перемещений u_1 в литейной форме II и оболочковой форме III с толщами $b_1=4$ мм, $b_2=20$ мм под воздействием внутреннего давления $p_1=50$ кг/мм² при разных режимах предварительного нагрева оболочковой формы III:
а – постоянная температура $\theta=20$ °С (а); б – постоянная температура $\theta=100$ °С;
в – линейно изменяющаяся по толщине температура от $\theta=100$ °С до $\theta=200$ °С;
г – линейно изменяющаяся по толщине температура от $\theta=140$ °С до $\theta=250$ °С

Список литературы:

1. Евстигнеев А. И., Дмитриев Э. А., Одинокое В. И. Патент № 2782365 С1 Российская Федерация, МПК В22D 15/00, В22D 27/13. Способ изготовления полый литой металлической заготовки : № 2022117823 : заявл. 29.06.2022 : опубл. 26.10.2022; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».
2. Евстигнеев А. И., Одинокое В. И., Дмитриев Э. А., Космынин А. А., Младов А. С. Новые способы литья металлов с кристаллизацией отливок под газовым давлением// Заготовительные производства в машиностроении, 2023. Т.21, №11. С. 483–486. doi:10.36652/1684-1107-2023-21-11-483-486.
3. Евстигнеев А. И., Одинокое В. И., Дмитриев Э. А., Колошенко Ю. Б., Потянихин Д. А. Заявка № 2024134045 от 12.11.2024. Способ подготовки литейной металлической формы к заливке металлом.
4. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. Москва: Мир, 1964. 512 с.
5. Одинокое В. И., Каплунов Б. Г., Песков А. В., Баков А. В. Математическое моделирование сложных технологических процессов. Москва: Наука, 2008. 178 с.
6. Одинокое В. И., Прокудин А. Н., Сергеева А. М., Севастьянов А. М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012111389 «Одиссей». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.12.2012.
7. Кроха В. А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник. Москва: Машиностроение, 1980. 157 с.

УДК 631.3.031

МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ В ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЕ: ЭВОЛЮЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Е.К. Ильина¹, А.А. Артемова², А.И. Греско³

¹ФБГОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», г. Москва, 127434,

Россия, ilina.katiya@mail.ru

²ФБГОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», г. Москва, 127434,

Россия, alenafox1109@gmail.com

³ФБГОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», г. Москва, 127434,

Россия, ghriesko@bk.ru

Аннотация. Исследована эволюция применения машин и механизмов в ландшафтной архитектуре, а также анализ их влияния на эффективность и устойчивость ландшафтных проектов. Рассматриваются как исторические аспекты механизации ландшафтных работ, так и современные тенденции, включая использование инновационных технологий и экологически чистых решений.

Ключевые слова: Машин и механизмы, ландшафтная архитектура, окружающая среда, строительство, устойчивое развитие.

MACHINES AND MECHANISMS IN LANDSCAPE ARCHITECTURE: EVOLUTION AND EFFICIENCY

E.K. Ilyina¹, A.A. Artemova², A.I. Gresko³

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russia, ilina.katiya@mail.ru

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russia, alenafox1109@gmail.com

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russia, ghriesko@bk.ru

Abstract. The evolution of the use of machines and mechanisms in landscape architecture is investigated, as well as an analysis of their impact on the effectiveness and sustainability of landscape projects. Both historical aspects of mechanization of landscape works and modern trends, including the use of innovative technologies and environmentally friendly solutions, are considered.

Keywords: Machinery and mechanisms, landscape architecture, environment, construction, sustainable development.

Введение

Ландшафтная архитектура, искусство формирования гармоничного взаимодействия между человеком и окружающей средой, на протяжении веков претерпела значительные изменения. Изначально, ландшафтные проекты создавались исключительно с использованием ручного труда и простых инструментов. Тем не менее, с технологическим прогрессом, машины и механизмы стали неотъемлемой частью садово-паркового строительства.

Цель исследования – выявление оптимальных стратегий применения машин и механизмов для создания функциональных, эстетически привлекательных и устойчивых ландшафтов.

Повышенное внимание отводится вопросам энергоэффективности, снижению негативного воздействия на окружающую среду и оптимизации затрат на реализацию и обслуживание ландшафтных объектов.

Механизация как катализатор прогресса

Ландшафтная архитектура, исторически опиравшаяся на ручной труд, претерпела значительную трансформацию с внедрением машин и механизмов. Трансформация, начавшаяся с простых инструментов, достигла уровня автоматизированных систем, радикально изменив процессы проектирования, строительства и обслуживания зелёных зон.

Современные методики предоставляют возможность выполнять сложные земляные работы, высадку крупномерных растений и создание искусственных водоемов с большой точностью и скоростью. Использование экскаваторов, бульдозеров, специализированных посадочных машин и оросительных систем значительно повышает эффективность трудозатрат и сокращает сроки выполнения проектов.

Интеграция техники позволило существенно ускорить процессы земляных работ, планировки территорий и посадки растений. Бульдозеры и грейдеры, значительно упростили формирование рельефа, создание террас и подготовку площадок под строительство.

Экологическое значение и устойчивое развитие

Внедрение геоинформационных систем (ГИС) и компьютерных технологий для 3D-моделирования позволяет ландшафтным архитекторам более эффективно планировать и визуализировать проекты, оптимизируя эксплуатацию ресурсов и уменьшить влияние на окружающую среду [1].

Современные тенденции ландшафтной архитектуры уделяют большое внимание экологической безопасности. Разрабатываются и внедряются машины, работающие на возобновляемых источниках энергии и ограничивающие действие на окружающую среду. Применение ресурсосберегающих методов и оптимизация логистики также способствуют снижению экологического следа [2-3].

Однако, наряду с преимуществами, автоматизация ландшафтных работ ставит вопросы о сохранении традиционных методов и потенциальном негативном воздействии на экологию. Необходим баланс между инновациями и устойчивым развитием.

Более того, выбор техники должен учитывать экологические факторы. Тяжелая техника может повредить почву, растительность и нарушить естественные процессы. Поэтому, важно использовать машины с низким уровнем выбросов, минимизировать уплотнение почвы и применять технологии, снижающие воздействие на окружающую среду.

Таким образом, интеграция машин и механизмов в ландшафтную архитектуру – это сложный и многогранный процесс, требующий взвешенного подхода, контроля экономических и экологических показателей. Только в этом случае возможно достижение оптимального баланса.

Специфика применения

Воздействие механизации на ландшафтную архитектуру простирается за пределы увеличения эффективности. Машины и механизмы раскрывают новые перспективы для творчества, позволяя реализовывать проекты, которые ранее были невозможны из-за ограничений ручного труда. Например, создание сложных рельефных композиций, перемещение больших объемов грунта для формирования террас или искусственных холмов, а также точная установка крупномерных деревьев стали обыденностью благодаря современной технике [4].

Однако, стоит помнить, что выбор машин и механизмов зависит от типа ландшафта и поставленных задач. В исторических парках и садах, где важна аутентичность и сохранение духа времени, использование современных машин может быть неуместным. Здесь ручной труд и традиционные методы остаются предпочтительными для сохранения уникального характера места. В городских условиях востребована компактная и маневренная техника, способная работать в стесненных условиях. Для создания масштабных парковых зон необходимы мощные машины для земляных работ и посадки крупномерных деревьев. В горных районах используются специализированные механизмы, адаптированные к сложным рельефным условиям [5-6].

Перспективы развития и экономическая целесообразность

Будущее ландшафтной архитектуры неразрывно связано с дальнейшей автоматизацией и роботизацией. Разрабатываются беспилотные летательные аппараты для мониторинга состояния объектов, роботы-газонокосилки и системы автоматической диагностики состояния

растений. Объединение компьютерных технологий, таких как геоинформационные системы (ГИС), позволяет создавать виртуальные модели ландшафтов, усовершенствовать процессы разработки и регулирования [7-8].

Механизация оказывает воздействие на формирование ландшафта и на экономику проектов. Снижение трудозатрат и увеличение скорости выполнения работ позволяют сократить сроки реализации и уменьшить итоговую стоимость. Это предоставляет возможность для осуществления более масштабных и амбициозных проектов, делая ландшафтную архитектуру доступнее.

Использование машин не только ускорило процесс, но и снизило расходы на рабочую силу. Специализированные механизмы, например, машины для укладки газона или системы автоматического полива, повысили точность и равномерность выполнения работ, что положительно сказалось на конечном результате.

Однако, не стоит забывать и о социальных аспектах. Внедрение новых технологий требует обучения персонала, создания новых рабочих мест, связанных с обслуживанием и управлением техникой. Это способствует развитию профессиональных навыков и повышению квалификации специалистов, работающих в сфере ландшафтной архитектуры.

Заключение

В заключение, рассмотрение эволюции и эффективности машин и механизмов в ландшафтной архитектуре позволяет сделать вывод о значительной трансформации этой области. От простых ручных инструментов до сложных автоматизированных систем, технический прогресс выявил новые возможности для осуществления смелых и устойчивых ландшафтных проектов.

Успешность интеграции машин и механизмов проявляется в увеличении эффективности, снижении трудозатрат и возможности выполнения задач, недоступных для ручного труда. Однако, важно учитывать экологические аспекты и минимизировать негативное воздействие техники на окружающую среду.

Список литературы

1. Артемова, А. А. Внедрение искусственного интеллекта в лесное хозяйство: вызовы и возможности / А. А. Артемова, Е. К. Ильина, А. В. Лебедев // Цифровые, компьютерные и информационные технологии в науке и образовании : Сборник статей II Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 14–15 ноября 2024 года. – Брянск: Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского, 2025. – С. 64-68.
2. Сухарев, Д. В. Машины и оборудование для природообустройства / Д. В. Сухарев. – Новочеркасск : Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2019. – 76 с.
3. Сухарев, Д. В. Машины и оборудование для природообустройства : учебное пособие для студентов среднего профессионального образования специальности «Природоохранное обустройство территорий» / Д. В. Сухарев. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Новочеркасск : Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2021. – 1 с.
4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017620788 Российская Федерация. Компактная техника для ландшафтного строительства : № 2017620484 : заявл. 24.05.2017 : опубл. 24.07.2017 / Е. В. Быкова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева).
5. Козьмин, С. Ф. Машины и механизмы в ландшафтном строительстве / С. Ф. Козьмин. – 2-е, стер.. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2023. – 96 с.
6. Мыльников, В. В. Машины и механизмы в ландшафтном строительстве: мини-тракторы и малогабаритные энергетические машины : учебное пособие / В. В. Мыльников, О. Б. Кондрашкин. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – 114 с.
7. Артемова, А. А. Современные технологии в лесном хозяйстве: обзор инновационных решений для устойчивого управления лесными ресурсами / А. А. Артемова, Е. К. Ильина // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 116-17. – С. 73-75.
8. Быкова, Е. В. Машины и механизмы в ландшафтной архитектуре : Методические указания / Е. В. Быкова, М. Б. Панова, Н. А. Лылин. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. – 27 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ АБРАЗИВНЫХ ГОЛОВОК С ЗЕРНАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.А. Надеждина¹

¹ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
г. Чебоксары, 428015, Россия, nadezhdina_oksana@mail.ru

Аннотация. В работе проведен сравнительный обзор и анализ алмазных и эльборовых абразивных инструментов с зернами из сверхтвердых материалов для шлифования труднообрабатываемых заготовок и изделий электрохимическим методом. Особое внимание уделено способам специального применения мелкоразмерных абразивных инструментов на основе композитов Эльбор-Р, Кубонит, Гексанит-Р на основе керамической и металлической связки. По результатам сравнительного анализа предложено преимущественное использование эльборовых инструментов в перспективных научных исследованиях и практических промышленных применениях.

Ключевые слова: Кубический кристаллизованный нитрид бора, электрохимическое шлифование, правка инструмента, алмаз, композиты Эльбор-Р, Кубонит, Гексанит-Р.

SOME ASPECTS OF USING SMALL ABRASIVE HEADS WITH GRAINS MADE OF SUPER-HARD MATERIALS

O.A. Nadezhdina¹

¹ FSBEI HE Chuvash State University I.N. Ulianov, Cheboksary, 428015, Russia,
nadezhdina_oksana@mail.ru

Abstract. The paper provides a comparative review and analysis of diamond and elbor abrasive tools with grains made of superhard materials for grinding difficult-to-process workpieces and products using the electrochemical method. Special attention is paid to the methods of special application of small-sized abrasive tools based on Elbor-R, Kubonite, Hexanite-R composites based on ceramic and metal bundles. Based on the results of the comparative analysis, the predominant use of elbor instruments in promising scientific research and practical industrial applications is proposed.

Keywords: Cubic crystallized boron nitride, electrochemical grinding, tool straightening, diamond, Elbor-R composites, Cubonite, Hexanite-R.

Введение

Применение в конструкции изделий сложно-профильных деталей с труднодоступными поверхностями высокопрочных и труднообрабатываемых материалов усложняет процесс их финишной обработки. Повышаются требования к шероховатости и структуре рабочих поверхностей деталей, которые окончательно шлифуются на станках или с применением ротационных инструментов вручную мелкоразмерными абразивными головками. Всё чаще используют для обработки деталей из этих материалов комбинированные методы финишной обработки [1-3]. Эти методы позволяют значительно повысить качество обрабатываемых поверхностей и увеличить производительность шлифования. Одним из таких методов является метод электрохимического шлифования абразивным инструментом на металлической связке с зернами из сверхтвердых материалов.

Цель работы – провести обзор абразивных инструментов с зернами из сверхтвердых материалов для шлифования труднообрабатываемых материалов электрохимическим методом.

Известно, что группу сверхтвердых абразивных материалов образуют алмаз и кубический кристаллизованный нитрид бора (эльбор).

Алмаз состоит из чистого углерода, находящегося в кристаллической решетке. Поэтому он является самым прочным материалом в природе. В абразивных инструментах чаще всего используются синтетические алмазы. Их получают при высоких температурах и давлениях. Свойства алмазных зерен могут быть оптимизированы в зависимости от различных областей применения инструментов. Алмазные инструменты используются для обработки различных

материалов. Например, композиционных материалов со стекловолокном или углеволокном, стекла, твердых сплавов, нержавеющей и жаропрочных сталей.

Еще есть один материал, который относится к сверхтвердым материалам. Это кубический кристаллический нитрид бора (CBN). Он занимает второе после алмаза место по твердости. CBN содержит бор и азота. Именно они образуют кристаллическую решетку. На основе кубического нитрида бора разработаны такие композиционные материалы, как Эльбор – Р, Кубонит, Гексанит – Р. Основные свойства указанных материалов приведены в таблице 1. Они имеют твердостью, в 2–4 раза выше твердости материалов, относящихся к группе твердых сплавов. Кроме этого, они обладают высокой термостойкостью и хорошей теплопроводностью. Положительное свойство кубического нитрида бора заключается в том, что он химически инертен к сплавам железа с углеродом, таким как сталь.

Таблица 1. Основные свойства кубического нитрида бора

Обозначение композита	Торговая марка композита	Твердость HRCэ	Модуль упругости $E \cdot 10^{-10}$, Па	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Предел прочности на изгиб $\sigma_{изг}$ 10–7 Па
01	Эльбор – Р	92...94	82	3,4	38
05	Кубонит	92...94	61	4,3	47
10	Гексанит – Р	92...94	68...78	3,4	40

Кубический нитрид бора используется для обработки следующих материалов:

- цементированных сталей,
- сталей для шарикоподшипников,
- инструментальных сталей.

Инструменты из алмаза и CBN выгоднее применять при шлифовании труднообрабатываемых материалов, чем шлифовальные круги из карбид кремния и электрокорунда. Зерна из алмаза и CBN намного тверже, чем зерна электрокорунда и карбида кремния. Эти свойства позволяют продлевать срок их службы и значительно повышать производительность финишного шлифования. Однако, следует отметить, что применение металлической связки для эльборовых и алмазных инструментов способствует их «засаливанию». Этот момент нужно учитывать при выборе способа шлифования и правки абразивных кругов.

Алмазные шлифовальные инструменты не рекомендуется использовать для изготовления изделий из стали, так как происходит химическое взаимодействие углерода алмаза и углерода, входящего в состав стали. Происходит растворение углерода алмаза в стали, что приводит к снижению режущих свойств. Чтобы устранить влияние этого отрицательного эффекта можно применить метод электрохимического шлифования. Проходящие при этом электрохимические процессы препятствуют растворению углерода алмаза в стали или шлифование проводить инструментам на основе CBN. Эти два типа сверхтвердых материалов эффективно дополняют друг друга, что расширяет область их применения.

Следует отметить, что шероховатость отшлифованной поверхности зависит от зернистости инструмента. Чем более крупное зерно, тем большая шероховатость получается, но повышается производительность процесса. Для получения минимальной шероховатости применяют мелкозернистые круги, а для снижения трудоемкости – крупнозернистые круги. В остальных случаях свойства абразивных инструментов выбирают в соответствии с известными рекомендациями, приведенными в справочной и научной литературе.

Стоит обратить внимание на мелкозернистые шлифовальные головки с зернами алмаза или CBN на гальванической связке. Они отличаются тем, что зерна распределяются в одном слое. Такие инструменты чаще всего не правятся. Гальваническая связка образуется путем

электрохимического осаждения на металлической державке головки никелевого слоя, который закрывает почти половину зерна.

Слой алмазных и CBN головок может располагаться в синтетической связке. Инструмент содержит абразивные зерна, связующий материал и наполнитель. Синтетическая связка имеет плотную структуру с малым содержанием пор. Металлическая связка отличается от синтетической связки высокой прочностью и надежностью крепления зерен. Инструменты с CBN на керамической связке имеют абразивные зерна и воздушные поры. Она как раз и отличается от рассмотренных связок пористой структурой. Алмазные и CBN-инструменты с гальванической связкой могут использоваться как для мокрого, так и для сухого шлифования. В то время как CBN-инструменты с керамической связкой предназначены исключительно для мокрого шлифования.

Алмазные и эльборовые инструменты применяются для обработке особо твердых материалов. Свойства шлифовальных инструментов оказывают существенное влияние на область их применения. Алмазные и CBN шлифовальные инструменты в том числе используются для заточки инструментов, изготовленных из группы инструментальных материалов, относящихся к твердым сплавам.

На рисунке 1 показаны различные типы мелкогазмерных абразивных головок с зернами из сверхтвердых материалов. Они применяются для шлифования труднодоступных и сложнопрофильных деталей, изготовленных из высокопрочных материалов.



Рис.1. Мелкогазмерные абразивные головки

В работах [4-13] представлены результаты исследований, касающихся влияния механических режимов резания, свойств электролита и параметров электрического тока на качество поверхности образцов из стали 12X18H10T, изготовленных при электрохимическом шлифовании с использованием алмазных головок AW 3x10x2,4x45 AC20 125/80 100% МЭ.

Заключение

В результате проведенного обзора установлено:

1. Для шлифования нержавеющих сталей электрохимическим методом используются абразивные головки с зернами из сверхтвердых материалов на металлической связке.
2. Перспективным направлением дальнейших исследований видится применение эльборовых головок на металлической связке.

Список литературы

1. Применение металлоорганической связки при шлифовании кругами с зернами из сверхтвердых материалов / П. М. Салов, Д. П. Салова, С. С. Сайкин [и др.] // Инновационные технологии в металлообработке: Сборник научных трудов, Ульяновск, 12 ноября 2016 года / Ответственный редактор Н.И. Веткасов. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2017. – С. 114-118. – EDN XYNKDH.

2. Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 25–34. – doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-25-34.
3. Исследование влияния электрических режимов комбинированной электроалмазной обработки на качество шлифования твердых сплавов. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В. В сборнике: актуальные проблемы современного машиностроения. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт. Томск, 2014. С. 323-327.
4. Борисов, М. А. Устройство для автоматической смены полярности тока при заточке баровых резцов / М. А. Борисов, А. С. Зворыгин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2023. – Т. 10, № 1-2. – С. 28-35. – EDN JSPLRZ
5. Борисов, М. А. Влияние продолжительности импульсов тока на интенсивность электрохимического шлифования / М. А. Борисов, В. А. Мишин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2019. – Т. 6, № 1-4. – С. 48-52. – EDN NCRQHK.
6. Борисов, М. А. Управление процессом электрохимического шлифования при отсутствии автономной цепи правки инструмента / М. А. Борисов, В. А. Мишин. – Чебоксары : Политех, 2019. – 134 с. – ISBN 978-5-907132-49-8. – EDN RNAYCN.
7. Зворыгин, А. С. Стенд для исследования процесса электрохимического шлифования / А. С. Зворыгин, М. А. Борисов, О. С. Рафанова // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 19–22 мая 2020 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2020. – С. 64-69. – EDN CVBYXG..
8. Борисов, М. А. Программируемое устройство для управления электрическими параметрами комбинированной обработки высокопрочных материалов / М. А. Борисов, Д. В. Лобанов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8, № 1-2. – С. 14-21. – EDN BBUXFH.
9. Зворыгин, А. С. Влияние электропроводности электролита на шероховатость при электрохимическом шлифовании стали 12X18H10T / А. С. Зворыгин, М. А. Борисов // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 19–22 апреля 2021 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2021. – С. 18-22. – EDN RZYTUU.
10. Борисов, М. А. Влияние продолжительности импульсов тока на шероховатость при электрохимическом шлифовании коррозионностойкой стали 12X18H10T / М. А. Борисов, Д. В. Лобанов, А. С. Зворыгин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2020. – Т. 7, № 3-4. – С. 18-25. – EDN ITEGRA.
11. Борисов, М. А. Влияние температуры и концентрации электролита на шероховатость при электрохимическом шлифовании коррозионностойкой стали 12X18H10T / М. А. Борисов, А. С. Зворыгин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2022. – Т. 9, № 1-2. – С. 15-22. – EDN DGLOIP.
12. Разработка устройства для исследования и моделирования процесса электрохимического шлифования / М. А. Борисов, Д. В. Лобанов, В. Ю. Скиба, О. А. Надеждина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 93-105. – DOI 10.17212/1994-6309-2025-27.1-93-105. – EDN TOQSUS.
13. Надеждина, О. А. Устройство для электрохимической обработки и правки инструмента / О. А. Надеждина, М. А. Борисов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2025. – № 18. – С. 37-39. – DOI 10.26160/2309-8864-2025-18-37-39. – EDN CVPZKY.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Е. А. Рожкова, А.В. Кустов

Сибирский государственный университет науки и технологий

имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

e_rozhok@vk.com

Аннотация. Бортонная кабельная система является критическим компонентом космического аппарата, обеспечивающим передачу электроэнергии и сигналов между различными подсистемами. Обеспечение надежности БКС — ключевая задача, определяющая работоспособность КА в космосе. Данная статья посвящена детальному обзору методов контроля и испытательного оборудования, используемых для всесторонней оценки характеристик БКС. В работе подробно рассматриваются различные типы испытаний, охватывающие широкий спектр воздействий, включая механические нагрузки (вибрация, удар, растяжение), климатические факторы (температура, влажность, вакуум, песок и пыль), а также сочетание вакуума и экстремальных температур в электровакуумных испытаниях. Описываются конкретные методы измерения электрических параметров, таких как сопротивление изоляции и проводников, падение напряжения и электрическая прочность изоляции. Отдельное внимание уделено визуальному контролю и металлографическим исследованиям для выявления дефектов и оценки структуры материалов. Статья акцентирует внимание на необходимом испытательном оборудовании, а также на требованиях к обеспечению точности и надежности результатов. Представленные данные обеспечивают полное представление о процессе испытаний БКС, позволяя гарантировать ее соответствие высоким требованиям надежности, предъявляемым к космической технике.

Ключевые слова: испытания, бортовая кабельная система, космический аппарат, измерение.

TESTING THE ON-BOARD CABLE SYSTEM OF THE SPACE VEHICLE

E. A. Rozhkova, A.V. Kustov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31,

Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e_rozhok@vk.com

Abstract. The onboard cable system is a critical component of the spacecraft, providing for the transmission of electrical energy and signals between various subsystems. Ensuring the reliability of the onboard cable system is a key task determining the operability of the spacecraft in space. This article is devoted to a detailed review of the control methods and test equipment used for a comprehensive assessment of the onboard cable system characteristics. The work considers in detail various types of tests covering a wide range of influences, including mechanical loads (vibration, impact, tension), climatic factors (temperature, humidity, vacuum, sand and dust), as well as a combination of vacuum and extreme temperatures in electrovacuum tests. Specific methods for measuring electrical parameters, such as insulation and conductor resistance, voltage drop and dielectric strength of insulation are described. Special attention is paid to visual inspection and metallographic examinations to detect defects and assess the structure of materials. The article focuses on the necessary test equipment, as well as the requirements for ensuring the accuracy and reliability of the results. The presented data provide a complete picture of the BKS testing process, ensuring that it meets the high reliability requirements for space technology.

Keywords: testing, on-board cable system, spacecraft, measurement.

Введение. Бортовая кабельная система (БКС) представляет собой критически важный элемент космического аппарата (КА), обеспечивающий передачу электроэнергии и сигналов управления между всеми его подсистемами и оборудованием. От надежности и стабильной работы БКС напрямую зависит функциональность и долговечность КА, поэтому обеспечение её безотказной работы является приоритетной задачей. В связи с этим, проведение всесторонних испытаний БКС является неотъемлемой частью процесса создания КА. Целью данных испытаний является подтверждение соответствия БКС жестким требованиям надежности и работоспособности, предъявляемым к компонентам, функционирующим в суровых условиях космического пространства.

Данная статья посвящена рассмотрению основных этапов и методов испытаний БКС КА, включая описание типов испытаний, направленных на подтверждение соответствия системы заданным требованиям, обзор используемых методов контроля и испытательного оборудования, применяемого для оценки характеристик кабелей и их устойчивости к воздействию различных факторов, а также анализ влияния этих факторов на работоспособность БКС. Комплексный подход к испытаниям БКС позволяет гарантировать ее надежность и долговечность в условиях эксплуатации в космическом пространстве.

Методы испытаний БКС космического аппарата. Для оценки характеристик БКС космического аппарата применяются разнообразные методы контроля и испытательное оборудование. Выбор конкретных методов и оборудования определяется типом проводимых испытаний, требованиями нормативной документации и особенностями конструкции самой БКС. Основные методы контроля и испытательное оборудование подробно описаны ниже:

1. Визуальный контроль и проверка на соответствие конструктивно-техническим требованиям. Этот этап является начальным и включает в себя тщательный внешний осмотр кабелей, разъемов, соединительных элементов и жгутов БКС. Проверяется отсутствие видимых дефектов: трещин, царапин, заломов, повреждений изоляции, коррозии контактных поверхностей и других отклонений от конструкторской документации. Используются оптические приборы, такие как лупы, микроскопы (для выявления микротрещин и дефектов поверхности), а также шаблоны и измерительные инструменты для контроля геометрических размеров и соответствия спецификациям. Результаты визуального контроля документируются с помощью фотографий и детальных описаний обнаруженных отклонений.

2. Измерения электрических характеристик. Электрические измерения являются ключевыми для оценки функциональности и безопасности БКС. Применяются следующие методы:

- измерение сопротивления изоляции: проводится с использованием мегаомметров (высоковольтных измерителей сопротивления) для оценки качества изоляции между токопроводящими жилами кабеля и между жилами и экраном (если он присутствует). Низкое сопротивление изоляции указывает на ее повреждение или загрязнение, что может привести к утечкам тока и короткому замыканию.

- измерение сопротивления токопроводящих жил: проводится с использованием миллиомметров или мультиметров с высокой точностью для определения сопротивления каждой жилы кабеля. Повышенное сопротивление жилы может указывать на дефекты в материале проводника, повреждение жилы или некачественное соединение.

- измерение падения напряжения: проводится при прохождении через кабель номинального тока. Измеряется разница потенциалов на концах кабеля, позволяющая оценить потери напряжения в кабеле и его пропускную способность. Большое падение напряжения может привести к снижению мощности, передаваемой к потребителям.

- испытание электрической прочности изоляции: проводится с использованием высоковольтных испытательных установок (пробойных установок). К кабелю прикладывается напряжение, значительно превышающее рабочее, для проверки устойчивости изоляции к пробоем.

3. Испытания на воздействие механических факторов. Эти испытания имитируют механические нагрузки, возникающие при запуске, работе и транспортировке космического аппарата.

- испытания на вибрацию. Проводятся на вибрационных стендах, способных воспроизводить синусоидальную, случайную и ударную вибрацию. На кабель или жгут воздействуют вибрации с определенными частотами, амплитудами и продолжительностью, соответствующие условиям эксплуатации КА. Во время испытаний контролируются электрические параметры кабеля и проводится визуальный осмотр на предмет механических повреждений.

- испытания на удар. Проводятся на ударных стендах, где на кабель или жгут воздействуют одиночные или повторяющиеся удары с определенной величиной ускорения и

длительностью импульса. Эти испытания имитируют ударные нагрузки, возникающие при отстыковке ступеней ракеты-носителя, работе двигателей и других событиях.

- испытания на растяжение. Проводятся на разрывных машинах для определения прочности кабеля на разрыв. К образцам кабеля прикладывается увеличивающаяся нагрузка до разрушения, измеряется усилие и деформация. Эти испытания позволяют оценить способность кабеля выдерживать статические нагрузки.

- испытания на изгиб. Проводятся для определения устойчивости кабеля к многократным изгибам. Образец кабеля многократно изгибается под определенным углом и с определенной частотой, контролируется состояние изоляции и электрических параметров.

4. Испытания на воздействие климатических факторов. Эти испытания имитируют условия окружающей среды, в которых будет эксплуатироваться космический аппарат.

- испытания на температуру. Проводятся в термокамерах, где кабели выдерживаются при высоких и низких температурах в течение определенного времени. Контролируется изменение электрических характеристик кабеля и состояние изоляции.

- испытания на влажность. Проводятся в камерах влажности (рис. 1), где кабели выдерживаются при высокой относительной влажности и определенной температуре. Эти испытания оценивают устойчивость изоляции кабеля к воздействию влаги.



Рис. 1. Камера испытаний с постоянной температурой и влажностью для испытаний

- испытания на пониженное давление (вакуум). Проводятся в барокамерах для имитации условий вакуума в космическом пространстве. Оценивается влияние пониженного давления на электрические характеристики кабеля, дегазацию материалов и другие параметры.

- испытания на песок и пыль. Проводятся в специальных камерах, заполненных песком или пылью определенной фракции. Оценивается способность кабеля сохранять работоспособность в условиях повышенной запыленности.

- испытания на воздействие инея и росы. Проводятся в специальных климатических камерах, где создаются условия для образования инея или росы на поверхности кабеля. Оценивается влияние этих явлений на электрические характеристики и механическую прочность кабеля.

5. Электровакуумные испытания. Это комплексные испытания, которые объединяют воздействие вакуума и экстремальных температур. Проводятся в специальных электровакуумных камерах. Позволяют оценить поведение кабеля в условиях, максимально приближенных к космическим. Во время испытаний контролируются электрические характеристики, дегазация материалов и другие параметры.

6. Металлографические исследования. Металлографические исследования проводятся для анализа микроструктуры материалов кабеля. Образцы кабеля подготавливаются и изучаются под микроскопом (рис. 2). Эти исследования позволяют выявить дефекты в структуре материала, оценить качество сварных соединений и определить причины разрушения кабеля.



Рис. 2. Металлографический комплекс OMOS-серии с системой анализа микроструктуры объектов

Для обеспечения точности и надежности результатов испытаний необходимо соблюдать следующие условия:

- использование аттестованного и калиброванного испытательного оборудования;
- соблюдение методики проведения испытаний, указанной в нормативной документации;
- квалифицированный персонал, обученный проведению испытаний и интерпретации результатов;
- ведение протоколов испытаний с подробным описанием условий проведения, полученных результатов и выявленных отклонений.

Применение описанных методов контроля и испытательного оборудования позволяет получить всестороннюю оценку характеристик БКС космического аппарата и гарантировать ее надежную работу в условиях эксплуатации.



Рис. 3. Пример монтажа БКС на наземный цикл испытаний модуля «Наука».

Выводы. Проведение комплексных испытаний БКС КА является критически важным этапом обеспечения надежности и работоспособности системы в экстремальных условиях космического пространства. Представленный обзор типов испытаний и технологий позволяет улучшить характеристики БКС и повысить ее устойчивость к воздействию различных факторов.

Список литературы

1. Кравченко С. В., Нестеров С. Б., Романько В. А., Тестоедов Н. А., Халиманович В. И., Христин В. В. Подходы к созданию комплексных систем для отработки и испытания космических аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. №1 (13).
2. Двирный В. В., Еременко Н. В., Двирный Г. В. Уменьшение массы кабельной продукции для космических аппаратов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2015. №3.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ВИДОВ И СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ

М.К.Зубков¹, Д.А. Курасов², Р.С. Чуйков¹

¹Московский университет СИНЕРГИЯ, г. Москва, 129090, Россия, shketgcc@gmail.com

²Тюменский государственный университет, г. Тюмень, 625003, Россия, naukka@mail.ru

Аннотация: Манипуляторы представляют собой сложное техническое устройство, которое способно выполнять задачи по позиционированию объектов разной сложности. Существует несколько видов манипуляторов, каждый из них обладает отдельными преимуществами и недостатками. Также возможно комбинирование основных видов для выполнения поставленных задач.

Ключевые слова: Манипулятор, позиционирование, стрела, робототехника, датчик.

OVERVIEW OF MAIN VIEWS AND POSITIONING SYSTEMS OF MANIPULATORS

M.K. Zubkov¹, D.A. Kurasov², R.S. Chuikov¹

¹Moscow University SINERGIA, Moscow, 129090, Russia, shketgcc@gmail.com

²University of Tyumen, Tyumen, 625003, Russia, naukka@mail.ru

Abstract: Manipulators are complex technical devices that are capable of performing tasks of positioning objects of different complexity. There are several types of manipulators, each of them has separate advantages and disadvantages. It is also possible to combine the main types to perform the tasks.

Keywords: Manipulator, positioning, boom, robotics, sensor.

Кран манипулятор – это спецтехника, представляющая собой грузоподъемный механизм устанавливаемый на транспортное средство. За счёт своей универсальности это оборудование имеет ещё несколько названий – гидроманипулятор, воровайка, краново-манипуляторная установка и др.

Введение. Успешное выполнение монтажных работ, их комплексной механизации и автоматизации связано с разработкой и внедрением методов принудительной установки и ориентирования монтируемых элементов в проектное положение, основанных на достижениях робототехники [1]. Осуществление пространственных траекторий и формирование законов управления, обеспечивается движением грузозахватных устройств или инструментов по этим траекториям [2-3].

Существует множество конструкций таких грузозахватных устройств, имеющих свои преимущества и недостатки. Рассмотрим конструкцию краново-манипуляторной установки (КМУ), состоящую из опорно-поворотного устройства; выдвижных опор или аутригеров; основной и дополнительной стрелы; грузозахватного приспособления; исполнительных гидроцилиндров; поста управления, в некоторых случаях добавляется ДУ.

При этом существуют несколько видов стрел манипуляторов: Z-образная; L-образная; телескопическая; гидравлическая; тросовая.

Основная часть.

Тип Z-образной стрелы относится к схеме гидроманипулятора и состоит из нескольких шарнирно-сочленённых звеньев, которая складывается в несколько колен. Z-образная конструкция обладает компактностью для практического использования конструкции. Но есть риск перегрузки передней оси автомобиля, а также имеется сложность погрузочно-разгрузочных работ вблизи колонны, потому что после складывания коленчатой стрелы ее сложно развернуть. Такая конструкция эффективней справляется с габаритными грузами и требует для монтажа дорогое и мощное шасси.

Тип L-образной конструкции гидроманипулятора – это конструкция крана манипулятора с прямой телескопической стрелой и тросовой подвеской крюка. L-образная конструкция имеет следующие преимущества: масса крана-манипулятора частично перераспределяется на

заднюю ось автомобиля, не перегружая переднюю; скорость работы выше, чем у гидроманипулятора Z-образного типа; тросовая подвеска крюка позволяет точно позиционировать груз; возможна работа ниже уровня земли. L-образную стрелу невозможно будет использовать с высоким грузом в кузове или с рассыпчатым грузом с горкой из-за её расположения. Такая стрела обладает достаточно сложным механизмом телескопирования, но небольшим количеством узлов и шарнирных соединений, что делает её надёжной, дорогой в обслуживании. L-образную конструкцию рекомендуют использовать с тяжёлыми и компактными грузами.

Телескопическая стрела манипулятора представляет собой конструкцию с коробчатым сечением, где вложенные друг в друга рабочие элементы стрелы смещаются относительно друг друга с помощью гидравлики.

Существует несколько основных форм профилей телескопирования.

Четырёхугольная форма с сечением в виде квадрата или прямоугольника, не рассчитанная на предельные нагрузки. Трапециевидная, обеспечивающая большую жесткость при одинаковом весе.

Многогранный профиль с количеством граней $n = 4, 6, 8$. При этом большее количество граней обеспечивает большую прочность и жесткость профилю. Из всех видов многогранников наибольшее распространение получили конструкции с гексагональным сечением.

Овоидная форма является наиболее высокотехнологичной конструкцией. В сечении представляет собой прямоугольник с округленными гранями в верхней части и в форме полуэллипса в нижней. Такая конфигурация позволила добиться наилучших показателей стабильности положения стрелы при боковых нагрузках, жесткости конструкции и противодействия к скручиванию.

Телескопические стрелы КМУ нуждаются в регулярном осмотре и смазке элементов скольжения для устранения преждевременно изнашивания. Крайне важно также контролировать работу гидравлики и износ манжет гидроцилиндров.

Гидравлический манипулятор [4] - это сложное устройство, широко применяющееся в различных отраслях промышленности. Основная его задача - подъем, перемещение и точное позиционирование грузов. Такие устройства играют ключевую роль в машиностроении, строительстве и других секторах экономики. Обладая мощной гидравлической системой, эти манипуляторы способны выполнять задачи, которые другие механизмы не могут осуществить.

Основные компоненты гидравлического манипулятора: гидравлический насос (преобразует механическую энергию в гидравлическую); гидроцилиндры (позволяют выполнять линейные движения благодаря изменению давления рабочей жидкости); гидравлические шланги (служат системой передачи рабочей жидкости между компонентами); клапаны и распределители (контролируют поток жидкости и её направление); конструкция крана и стрела (обеспечивают физическое манипулирование грузами).

Работа гидравлического манипулятора основана на передаче энергии через жидкость. Гидравлический насос под высоким давлением подает рабочую жидкость в систему. Благодаря этому создается усилие, достаточное для поднятия и перемещения тяжёлых грузов. Гидроцилиндры служат приводным механизмом, который преобразует гидравлическую энергию в линейное движение. Динамическая система клапанов и распределителей регулирует точные параметры перемещения.

Преимущества гидравлических манипуляторов: высокая грузоподъемность (способность перемещать грузы значительного веса); точность и контроль (возможность выполнения точных операций под контролем оператора); надежность и долговечность (прочные компоненты, что повышает срок службы техники); широкий спектр применения (приспособляемость к различным рабочим условиям и задачам).

Недостатки гидравлических манипуляторов: сложность в обслуживании (необходимость регулярного технического обслуживания для поддержания эффективности); высокие затраты (существенные издержки на приобретение и эксплуатацию); потенциальные утечки (риски утечки рабочей жидкости, что может потребовать своевременного обслуживания);

чувствительность к температурным изменениям (изменения вязкости жидкости могут влиять на работу устройства)

Тросовый манипулятор – это кран, оснащённый полноповоротной телескопической стрелой с тросовой подвеской для подъёма грузов. Телескопическая стрела тросового манипулятора состоит из нескольких секций и устанавливается на поворотной платформе. Крюк в таких установках опускается/поднимается с помощью троса.

Тросовые КМУ обладают рядом преимуществ. Такие установки способны подавать груз вниз, выполнять работы через препятствия (траншеи, заборы и ограды). Груз поднимается и опускается строго по вертикали, что исключает проблемы с подачей объектов в траншею или колодец.

Тросовый манипулятор отличается плавностью и аккуратностью в работе. Во время подъема положение груза в пространстве полностью контролируется оператором, за счет плавных движений исключается случайное повреждение груза от ударов. Благодаря поочередному телескопическому выдвижению секций стрелы грузовой момент может быть использован максимально.

Среди минусов техники с тросами можно отметить: невозможность транспортировать грузы большой массы из-за неполного складывания стрелы; подъем габаритных объектов может сопровождаться сильным раскачиванием; дорогой ремонт основных узлов.

В области мехатроники и робототехники выделяют несколько видов систем позиционирования [5] манипуляторов.

Глобальная система позволяет определять абсолютные координаты, то есть широту и долготу (GPS, RTK-GPS, Глонасс). При этом для позиционирования используются спутники.

Персональная система. Её используют для позиционирования отдельных частей робота и взаимодействия с близлежащими предметами.

Автономная система использует гироскопы и цифровые компасы в затруднённых условиях.

Локальная систему применяют на относительно больших локациях, например, для тактических беспилотных самолётов, работающих в рамках известной территории

Выводы. В заключении важно отметить, что в данной статье представлены только основные виды манипуляторов, на данный момент существуют различные комбинации этих видов стрел манипуляторов. Различные современные варианты конструкций, рассмотренных в этой статье, способны выполнять более сложные задачи. Но с развитием цивилизации появляется потребность в более совершенных манипуляторах и на данный момент есть случаи, когда задачу одним манипулятором не решить. Существует актуальная проблема, которую необходимо решать исследованиями и разработками новых видов манипуляторов, и совершенствованиями существующих манипуляторов, а также их приводов на основе существующих механических систем [6-7].

Список использованной литературы

1. Либенко, А.В. Структуры и параметры манипуляционных систем в строительстве / А.В. Либенко, С.С. Базин, Д.А. Ефремов // Инновационные технологии в промышленности, строительстве и образовании: сб. науч. тр. – М.: МАДИ (ГТУ), 2007. – С. 137–142.
2. Тихонов, А.Ф. Система автоматизированного управления исполнительными механизмами строительных манипуляторов 3 2016 / А.Ф. Тихонов, С.С. Базин // Механизация строительства. – 2009. – №2. – С.36–39.
3. Базин, С.С. Система автоматизированного управления электроприводом грузоподъемных кранов / С.С. Базин, Я.В. Захаров, В.И. Марсов; Сб. науч. тр. «Интерстроймех–009». – М.: МГСУ, 2009. – С. 8–50.
4. Костевич, В. Е. Манипулятор гидравлический - для замены футеровок барабанных мельниц через монтажный люк / В. Е. Костевич, Н. Н. Наилов // Горная промышленность. – 2017. – № 1(131). – С. 50.
5. Ефимов, П. А. Системы позиционирования робота в закрытых помещениях под управлением операционной системы для роботов ROS / П. А. Ефимов // Устойчивое развитие науки и образования. – 2017. – № 7. – С. 166-176.
6. Эксцентриковый подшипник качения: пат. 73045 РФ / Г. Ю. Волков, Д. А. Курасов - 2008. - Бюл. № 13.
7. Пат. 108525 РФ, МПК F 16 H 1/36. Безводильная планетарная передача / Волков Г.Ю., Курасов Д.А., Колмаков С.В.; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26.

УДК 62-529.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К.И. Коростелев¹, Д.А. Курасов²¹Московский университет СИНЕРГИЯ, г. Москва, 129090, Россия, korostelyovk@gmail.com²Тюменский государственный университет, г. Тюмень, 625003, Россия, naukka@mail.ru

Аннотация: На данный момент в России происходит рост отечественного производства во всех направлениях, в том числе и создания роботов и систем различных сложностей. Однако создание сложных и программируемых систем всегда начинается с моделирования. В статье будут рассмотрены основные определения и методы моделирования, а также методы моделирования различных параметров роботов. Рассмотрены преимущества и недостатки методов и исходящее из них заключение.

Ключевые слова: Модели, моделирование, свойства, объект, упрощение.

MODELING OF MECHATRONIC AND ROBOTIC SYSTEMS

K.I. Korostelev¹, D.A. Kurasov², research supervisor¹Moscow University SINERGIA, Moscow, 129090, Russia, shketgcc@gmail.com²University of Tyumen, Tyumen, 625003, Russia, naukka@mail.ru

Abstract: At the moment, Russia is experiencing growth in domestic production in all areas, including the creation of robots and systems of varying complexity. However, the creation of complex and programmable systems always begins with modeling. The article will consider the basic definitions and methods of modeling, as well as methods for modeling various parameters of robots. The advantages and disadvantages of the methods and the conclusion based on them are considered.

Keywords: Models, modeling, properties, object, simplification.

Введение.

Сейчас в России активно развивается сфера робототехники и для создания качественных устройств и систем необходимо верно провести предварительную аналитическую работу. Моделирование включает в себя:

- исследование объекта;
- выделение его ключевых свойств;
- построение модели;
- анализ поведения объекта в действительности.

Модель, в свою очередь, это созданная человеком абстракция, которая отражает необходимые предмета исследования. Такая упрощенная модель позволяет рассматривать свойства семейства объектов, подобных модели.

Моделирование, как неотъемлемая часть Индустрии 4.0, бывает разных видов [1-2].

Полунатурное моделирование. Такой вид моделирования совмещает в себе модель с «реальным» оборудованием. Такой метод часто применяют при разработке космического оборудования. Космические условия трудно воссоздать в земных условиях, поэтому люди пользуются различными способами приближения к космическим – например: разгрузка оборудования. Этот метод хорош тем, что получаемые результаты являются наиболее достоверными, но также при таком способе невозможно избежать ограничения реального мира, таких как длительность процессов.

Физическое моделирование. Наиболее часто применяемый метод, который основывается на использовании материалов той же природы, но более доступных физических параметров, таких как размер, температура, давление, скорость и прочие. Примером такого метода может служить любая уменьшенная копия объектов (натуральные модели машин, домов и. т. П.) такой метод в зависимости от объекта может быть, как эффективным, так и нет. Материалы

для создания модели могут оказаться дорогостоящими, а результаты проведения эксперимента далеко не всегда просто переносятся на реальный объект.

Модели прямой аналогии. В отличие от предыдущего метода здесь реальный объект заменяется на модель другой физической природы. В реальном мире совершенно разные процессы функционируют по одной схеме, которой соответствуют одни и те же аналитические зависимости. Например, можно проводить аналогию между протеканием воды и электрического тока. Электрические модели используются очень часто. Так как их довольно просто реализовать, они не требуют больших затрат и не оставляют никаких следов, а процессы протекают быстро. Кроме того, сейчас у нас достаточно много измерительной аппаратуры для фиксации результатов исследования.

Методами не прямой аналогии при моделировании в качестве инструмента применяют компьютеры. Они, в свою очередь, делятся на вычисление с использованием аналоговых машин и цифровых.

Изначальным методом такого моделирования было моделирование на АВМ. Они произошли от методов не прямой аналогии. Тут отдельный электронный компонент может заменить одну элементарную модель. Преимуществом такого метода является то, что процессы непрерывны, и, соответственно, имеют ту же топологию, что и реальный объект. Недостатком же такого метода является сложная и длительная настройка. Помимо сложной перестройки оборудования применяются различные методы стабилизации оборудования. Помимо этого, с течением времени появляются новые логико-динамические системы, которые уже сложно реализовать на АВМ.

Методы моделирования на цифровых вычислительных машинах лишены недостатков АВМ. Модель легко перестраивается. Реализация цифровых регуляторов также не представляет проблем. Основным недостатком цифровых моделей – необходимость реализации специальных алгоритмов численного интегрирования непрерывных процессов. Если объект имеет широкий разброс постоянных времени, то возникает проблема точного численного интегрирования его динамики. Её можно решить, но для этого нужно найти компромисс между временем счета и точностью процесса, что будет влиять на точность.

Математические модели в свою очередь можно разделить на несколько видов.

Аналитическая модель. Описание объекта с помощью каких-либо уравнений, физических законов, или систем уравнений. Такие модели позволяют практически в полной мере описать основные свойства объекта не прибегая к вычислительным машинам.

Структурная модель. Представляет собой элементы объекта, связанные какой-то структурой. Примером такого объекта будет диаграмма, структурная или функциональная схема.

Алгоритмические модели. Такие модели воссоздают программно с помощью ЭВМ. Обычно, настраивая определенные алгоритмы в специальных программах. Таких, как Mathcad, Matlab

Для робототехнических систем существуют методы моделирования их технических параметров. Рассмотрим основные из них [3-4].

Матричное исчисление.

Матричное исчисление проводится с помощью комплексных матриц 4 на 4. С их помощью можно, в одно и то же время, совершить и поворот, и перенос одних координат системы по отношению к другим. Допустим, координаты точки будут $(x_i, y_i, z_i, 1)$ вектора R_i некоторой точки A_i в «прежней» i -ой системе координат, тогда однородные координаты $(x_i, y_i, z_i, 1)$ вектора R_i этой точки A_i в «текущей» $(i-1)$ -ой системе координат рассчитываются по следующей формуле:

$$\begin{aligned} x_i &= C(x_{i-1} \wedge x_i)x_i + C(x_{i-1} \wedge y_i)y_i + C(x_{i-1} \wedge z_i)z_i + x_{i-1,i}^0 \\ y_i &= C(y_{i-1} \wedge x_i)x_i + C(y_{i-1} \wedge y_i)y_i + C(y_{i-1} \wedge z_i)z_i + y_{i-1,i}^0 \\ z_i &= C(z_{i-1} \wedge x_i)x_i + C(z_{i-1} \wedge y_i)y_i + C(z_{i-1} \wedge z_i)z_i + z_{i-1,i}^0 \\ 1 &= C90^\circ x_i + C90^\circ y_i + C90^\circ z_i + 1 \end{aligned}$$

где C – символ, обозначающий тригонометрическую функцию «cosinus», $x_{i-1}, x_i, \dots, z_{i-1}, z_i$ – углы, образуемые осями «старой» i -й системы координат с осями «новой» $(i-1)$ -й системы.

Метод специальных координат Денавита Хартенберга используется, когда в схемах манипуляторов роботов используются одноподвижные кинематические пары, либо вращательные, либо поступательные, либо те и другие.

Прямая задача кинематики.

В принятых специальных системах координат ось Z_i всегда направлена в одном из 2-х направлений: во вращательной кинематической паре по оси вращения; в поступательной паре параллельно направляющей кинематической пары.

В первом случае при вращении i -го звена относительно $(i-1)$ -го из четырех параметров Θ_i, S_i, a_i и α_i переменным будет параметр Θ_i , то есть во вращательной кинематической паре: $q_i = \Theta_i, S_i = \text{const}, a_i = \text{const}, \alpha_i = \text{const}$.

Во втором же случае переменным будет параметр S_i , то есть в поступательной паре: $q_i = S_i, \Theta_i = \text{const}, a_i = \text{const}, \alpha_i = \text{const}$.

Таким образом, из четырех параметров, ориентирующих i -ю систему координат, а следовательно, и i -е звено относительно $(i-1)$ -го при движении i -го звена относительно $(i-1)$ -го переменным будет один параметр Θ_i или S_i , а три остальных – постоянны.

Сама прямая задача кинематики заключается в вычислении положения манипулятора по его кинематической схеме и заданном положении звеньев. Для этого используют специальную таблицу кинематических пар. В таблицу заносятся данные о параметрах, описанных выше, а переменные отображаются буквой q . Такая задача может решаться для разных механических систем [5].

Заключение и выводы. Таким образом стало понятно, что моделирование – необходимый инструмент для анализа и расчёта будущей механической системы. Все рассмотренные методы моделирования имеют свои преимущества и недостатки и выбираются из поставленной задачи и имеющегося на неё ресурса. Однако достоверность любого из представленных методов моделирования остается высокой, и нужно выбирать наиболее эффективный с точки зрения поставленной задачи способ моделирования и анализа полученных данных, ведь от этого зависят результаты прогнозирования, которые потом будут перенесены на реальные объекты.

Список литературы

1. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. / Учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 224 с.
2. Kurasov D.A. Digital technologies Industry 4.0 // CEUR Workshop Proceedings. - 2021. – 2843.
3. Норенков И.П., Трудоношин В.А., Федорук В.Г. Математическое моделирование объектов мехатроники // Электронный журнал «Наука и образование». – 2005. – № 3.
4. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования многосвязных механических систем. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
5. Эксцентриковый подшипник качения: пат. 73045 РФ / Г. Ю. Волков, Д. А. Курасов - 2008. - Бюл. № 13.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Е.А. Леонова¹, С.И. Рощупкин²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, elizavetabacaeva@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, siroshchupkin@sevsu.ru

Аннотация: Рассмотрены три варианта охлаждения в зоне механической обработки (обработка с минимальным количеством смазки MQL, с охлаждением жидким азотом LN₂, с комбинированным охлаждением MQL + LN₂). Проведены экспериментальные исследования по влиянию различных способов охлаждения на шероховатость поверхности.

Ключевые слова: Стратегии охлаждения, минимальное количество смазки, охлаждение жидким азотом, комбинация охлаждений.

THE EFFECT OF COOLING METHODS IN THE CUTTING ZONE ON SURFACE ROUGHNESS DURING HIGH-SPEED MILLING OF ALUMINUM ALLOYS

E.A. Leonova¹, S.I. Roshupkin²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, elizavetabacaeva@yandex.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, siroshchupkin@sevsu.ru

Abstract: Three cooling options in the machining area are considered (processing with a minimum amount of MQL lubricant, with liquid nitrogen cooling LN₂, with combined cooling MQL + LN₂). Experimental studies have been conducted on the effect of various cooling methods on surface roughness.

Keywords: Cooling strategies, minimum amount of lubrication, liquid nitrogen cooling, cooling combination.

Введение

Основой высокоскоростной обработки (ВСО) является существенное повышение скорости вращения шпинделя и подачи [1-4], с целью достичь повышения эффективности обработки, которой ранее было не достичь.

Стратегии охлаждения вносят значительный вклад в решение проблемы образования тепла, температуры и трения во время обработки труднообрабатываемых металлов за счет улучшения смазки и снижения температуры в зоне резания, а также выброса стружки из зоны резания.

Цель исследования – повышение эффективности процесса высокоскоростного фрезерования алюминиевых сплавов. Анализ влияния способа охлаждения на шероховатость поверхности.

1. Минимальное количество смазки (Minimum quantity lubrication)

Технология MQL использует растительное масло в качестве базовой жидкости вместо классической охлаждающей эмульсии. MQL уменьшает количество используемой охлаждающей жидкости путем смешивания небольшого количества биоразлагаемых смазок на основе растительных масел и сжатого воздуха с образованием аэрозоля, который распыляется в виде тумана и небольшого количества в зону резания с использованием сопла для смазки и охлаждения зоны резания. При использовании этой технологии нет проблемы утилизации, поскольку количество используемой смазки очень мало по сравнению с обычным охлаждением и смазкой эмульсией.

Более того, MQL, использующая растительное масло в качестве базовой жидкости, дешевле, чем обычная эмульсия, к тому же, она биоразлагаема, возобновляемая, и не вызывает

никакой опасности для здоровья или загрязнения окружающей среды, поэтому она экологически безопасна. Она также выдувает стружку из зоны резания.

2. Охлаждение жидким азотом (LN_2)

Проблемы, вызванные обычной охлаждающей эмульсией и смазкой, также могут быть решены путем применения жидкого азота, его обычно называют криогенным охлаждением. Это охлаждение, применяемое в зоне резания при отрицательной температуре, снижает температуру в обрабатываемой зоне и затем испаряется в атмосферу. Следовательно, при криогенном охлаждении проблема утилизации не возникает, а также не возникает парникового эффекта.

3. Комбинация LN_2 и MQL охлаждений

Другой альтернативой решению проблем, связанных с обычными эмульсионными охлаждающими жидкостями и смазочными материалами, может быть применение комбинированного ($MQL + LN_2$) охлаждения в зоне резания. Этот метод сочетает в себе преимущества стратегий охлаждения MQL и LN_2 . MQL обеспечивает эффективную смазку в зоне резания, а LN_2 обеспечивает эффективное охлаждение и снижение температуры в зоне резания, таким образом, комбинированное ($MQL + LN_2$) охлаждение обеспечивает идеальную стратегию смазки-охлаждения для резки труднообрабатываемых металлов, таких как алюминиевые сплавы

4. Экспериментальные исследования

Представлены результаты сравнительного исследования стратегий охлаждения MQL, LN_2 и комбинированного ($MQL + LN_2$) при определенной оптимальной скорости шпинделя 2000 об/мин и скорости подачи 150 мм/мин. Эксперименты по концевому фрезерованию проводились с использованием твердосплавной концевой фрезы со сферической головкой без покрытия с четырьмя зубьями диаметром 12 мм на 5-осевом вертикальном обрабатывающем центре с ЧПУ MAXXMILL 630. Измерение температуры осуществлялось с помощью термопары типа К диаметром 3 мм, которую вставляли в отверстия, просверленные в заготовке для измерения температуры заготовки вблизи зоны резания. Линия криогенного потока была разработана для регулирования потока и температуры криогенного LN_2 от -196°C до -15°C в зоне резания, в то время как аппликатор MQL использовался для подачи микрокапель биоразлагаемого растительного масла в зону резания.

В качестве материала заготовки используются два прямоугольных блока из алюминиевого сплава размерами 52 мм × 76 мм × 38 мм (рис. 1).

Шероховатость поверхности измерялась с помощью портативного профилометра Mitutoyo (рис.2).

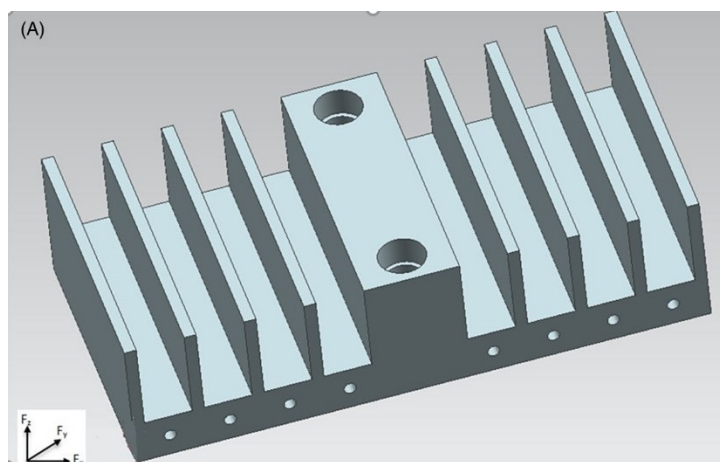


Рис. 1. Конструкция заготовки для экспериментов



Рис. 2. Профилометр Mitutoyo

Были измерены ребро паза и шероховатость поверхности перемычки. Было обнаружено, что средние значения шероховатости поверхности на ребрах были значительно выше, чем на поверхности паза, по этой причине внимание было сосредоточено на ребре, чтобы найти лучший способ.

На рис. 3 представлены гистограммы измеренной средней шероховатости поверхности, полученной при постоянной скорости вращения шпинделя 2000 об/мин и постоянной подаче 150 мм/мин для методов охлаждения MQL, LN₂ и комбинированного (LN₂ + MQL) охлаждения. Четвертый сравнительный график предназначен для охлаждения эмульсии при скорости вращения шпинделя 2000 об/мин, но с использованием скорости подачи 300 мм/мин, вместо 150 мм/мин.

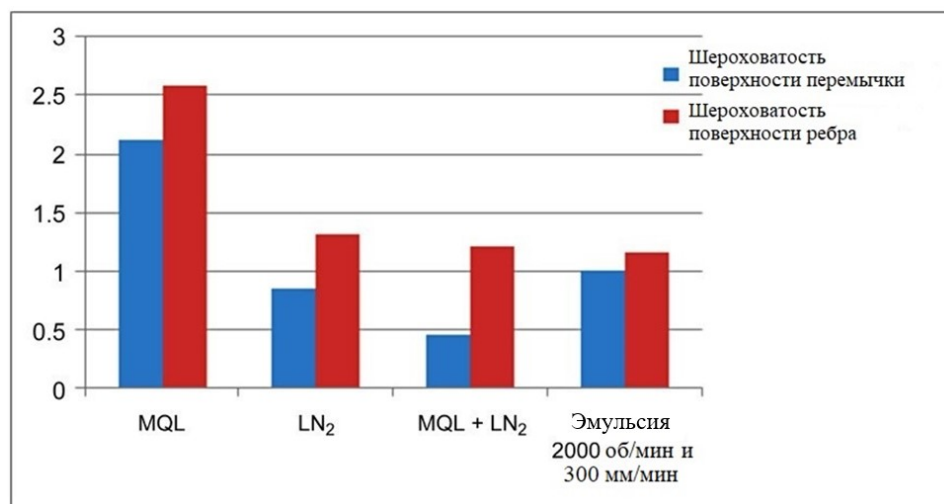


Рис. 3. Средние значения шероховатости поверхности для оптимальных условий резания и охлаждения

Заключение

Гистограммы показывают, что комбинированное (MQL + LN₂) охлаждение обеспечивало наилучшую чистоту поверхности как на стенках, так и на ребре ниже 0,5 мкм и 1,25 мкм соответственно. MQL произвело самую плохую обработку поверхности как на ребрах, так и на стенках; рядом с MQL было LN₂, которое давало значительно более низкую среднюю шероховатость поверхности как на стенках, так и на ребрах по сравнению с MQL. Графики показывают, что шероховатость поверхности ребра и стенки при использовании LN₂ составляет менее 1,5 мкм и 1 мкм соответственно. Когда средние значения шероховатости поверхности в оптимизированных условиях резания и охлаждения сравнивались с режимами резания 300мм/мин и 2000 об/мин с использованием эмульсионного охлаждения, средняя шероховатость поверхности на стенках была выше, чем для LN₂ и комбинированных (MQL + LN₂), но, похоже, дала хорошую финишную отделку поверхности ребра.

Список литературы

1. RAHMAN M, Zhi-Gang W, Yoke-San W. A Review on High-Speed Machining of Titanium Alloys. JSME Int J 2006;49:11–20. doi:10.1299/jsmec.49.11.
2. Schulz H. High-Speed Machining. In: Dashchenko AI, editor. Manuf. Technol. Mach. Futur. 21st Century Technol., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2003, p. 197–214. doi:10.1007/978-3-642-55776-7_7.
3. King R. Handbook of high-speed machining technology. 1st editio. Chapman and Hall; 1985. doi:10.1007/978-1-4684-6421-4.
4. Ekinović S, Ekinović E. Some Advantages of High Speed Machining in Aspect of Machined Surface Quality. 3rd Res. Conf. with Int. Particip. "QUALITY", Zenica, B&H: 2003, p. 453–60

УДК 621.01

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-ПЕЧАТНЫХ И ГИПСОВЫХ МАТРИЦ ПРИ ВАКУУМНОЙ ФОРМОВКЕ ЭЛЕМЕНТОВ МОРСКИХ БЕСПИЛОТНИКОВ

Д.А. Черепанин¹, А.А. Макамутдинова², Л.В. Шиленок³, Г.В. Невар⁴

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, danilcerepanin@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, amakamutdinova@yandex.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, shilenok.online@yandex.ru

⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, GVNevar@sevsu.ru

Аннотация. В данной статье исследуется опыт применения 3D-печатных и гипсовых матриц для вакуумного формования корпусных элементов морских беспилотников. Рассматриваются технологические аспекты, включая параметры постобработки, а также оценку долговечности и экономической эффективности такого подхода. Результаты исследования позволят определить перспективность использования технологий в производстве оснастки для вакуумного формования в процессе прототипирования и их потенциал для снижения себестоимости малосерийного выпуска морских беспилотных аппаратов.

Ключевые слова: FDM технология, морской беспилотник, вакуумное формование, гипсовая матрица, матрица.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USAGE OF 3D-PRINTED AND GYPSUM MATRICES IN VACUUM FORMING OF MARINE DRONES ELEMENTS

D.A. Cherepanin¹, A.A. Makamutdinova², L.V. Shilenok³, G.V. Nevar⁴

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, danilcerepanin@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, amakamutdinova@yandex.ru

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, shilenok.online@yandex.ru

⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, GVNevar@sevsu.ru

Abstract. This article examines the experience of using 3D printed and gypsum matrices for vacuum forming of marine unmanned aerial vehicle hull elements. Technological aspects, including post-processing parameters, as well as an assessment of the durability and cost-effectiveness of this approach are considered. The results of the study will help determine the prospects of using technologies in the production of equipment for vacuum forming in the process of prortotyping and their potential for reducing the cost of small-scale production of marine unmanned vehicles.

Keywords: FDM technology, marine unmanned aerial vehicle, vacuum forming, process cost reduction, gypsum matrix.

Введение

Одним из важных этапов создания новых продуктов является этап эскизного проектирования, результатом которого является полнофункциональный прототип (демонстратор технологии). Широкое распространение аддитивных технологий позволяет существенно ускорить данный процесс и получить более качественный прототип [1]. Вместе с тем, по возможности, при создании прототипа необходимо стремиться максимально задействовать и другие промышленные технологии, которые впоследствии будут использоваться при изготовлении серийных образцов.

Среди промышленных технологий изготовления изделий из пластмасс можно выделить процесс вакуумной формовки. Суть технологии заключается в нагревании пластмассового листа до температуры, при которой он переходит в термопластичное состояние, опускании его на матрицу и обтягивании её с помощью вакуума.

Как правило, матрица изготавливается из металла или дерева с помощью объёмного фрезерования или точения. Процесс изготовления матрицы является достаточно трудоёмким.

В данной работе представлены результаты исследования, проведённые в СевГУ в рамках деятельности группы студенческого конструкторского бюро по созданию морской надводной беспилотной платформы, целью которых является поиск возможности упрощения создания матриц, что позволит широко использовать технологию вакуумной формовки при создании прототипов, максимально приближенных к серийным образцам. Среди рассматриваемых вариантов были выбраны технология формовки на напечатанную на 3D-принтере матрицу и на гипсовую матрицу, которая заливалась в форму, также напечатанную на 3D-принтере. Определялись преимущества и недостатки каждого способа.

Цель исследования – оценка влияния материала матрицы на качество, точность и скорость производства изделий. Изучение способов удешевления матрицы с помощью применения технологии 3D-печати. Рассмотрение альтернативных вариантов материала для создания матрицы.

1. Экспериментальные исследования

Для проведения исследовательской работы было решено использовать 3D-принтер Bambu Lab X-1-Carbon с нитью из PLA-пластика. Кроме того, для вакуумной формовки применялась установка ТВФС-П Ручной термовакuum-формовочный станок, а в качестве заготовки использовался лист ABS-пластика размером 3x1000x1000 мм.

2. Формовка с использованием 3D-печатной матрицы

Изготовление матриц для вакуумной формовки с использованием аддитивных технологий, а именно 3D-печати, представляет собой современный и экономически эффективный подход к производству. Традиционные методы, такие как механическая обработка, требуют значительных затрат времени и ресурсов, особенно при создании сложных геометрических форм [2] 3D печать, напротив, позволяет оперативно изготавливать матрицы сложной конфигурации непосредственно из цифровой модели.

Процесс включает в себя разработку 3D -модели матрицы с учетом усадки материала при формовке и необходимой шероховатости поверхности [3]. Для печати применяются различные материалы, включая полимеры, такие как ABS, PLA, PETG, и композиты, обладающие достаточной термостойкостью и прочностью для выдерживания температуры и давления в процессе вакуумной формовки.

Необходимо учитывать также влияние шероховатости поверхности матриц на качество отформованных изделий. 3D-печать, в зависимости от технологии (например, FDM или SLA), может приводить к образованию ступенчатой структуры на поверхности, что требует дополнительной обработки для достижения необходимой гладкости [4].

Использование 3D-печати для изготовления матриц вакуумной формовки позволяет значительно сократить сроки разработки и производства, а также снизить затраты на изготовление прототипов и малосерийных изделий [5].

В качестве опытного образца для матрицы вакуумной формовки была изготовлена пустотелая матрица рис. 1 из PLA-пластика с помощью технологии 3D печати.



Рис. 5. Матрица поплавок из PLA-пластика

В процессе формовки, матрица продемонстрировала недостаточную прочность, подверглась значительному нагреву и деформировалась под воздействием вакуума рис.2. Данный результат подчеркивает критическую важность выбора материалов и оптимизации конструкции при использовании аддитивных технологий для изготовления инструментов вакуумной формовки.

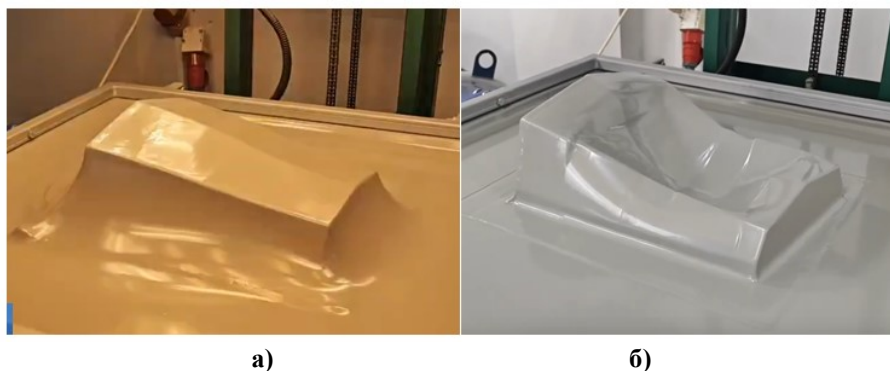


Рис. 2. Вакуумная формовка поплавка на матрицу из PLA-пластика
 а) наложение разогретого листа пластика на матрицу; б) деформация матрицы во время процесса вакуумной формовки

Допущенные ошибки

Во-первых, пустотелая конструкция матрицы, вероятно, не обеспечила достаточной жесткости и устойчивости к деформациям. Усиление конструкции за счет добавления внутренних ребер жесткости или использования более толстых стенок может повысить сопротивление матрицы деформации под воздействием вакуума.

Во-вторых, материал, использованный для 3D-печати матрицы, вероятно, не обладает достаточной термостойкостью и механической прочностью, чтобы выдерживать высокие температуры и перепады давления, возникающие в процессе вакуумной формовки. Альтернативные материалы, такие как полиамид с добавлением стекловолокна или высокотемпературные полимеры, могут обеспечить лучшую стабильность размеров и прочность при повышенных температурах.

В-третьих, параметры процесса вакуумной формовки, такие как температура нагрева, величина вакуума и время выдержки, могли быть неоптимальными для данной матрицы. Слишком высокая температура нагрева могла привести к размягчению материала матрицы, а избыточное вакуумное давление – к ее деформации. Необходимо тщательно контролировать и оптимизировать эти параметры для предотвращения подобных проблем

3. Формовка с использованием гипсовой матрицы

В лабораторных условиях было принято решение изготовить 3D-печатную разборную формы для последующей заливки ее гипсом. Процесс разработки гипсовой матрицы для вакуумной формовки был разделен на несколько этапов:

Этап 1 – Подготовка 3D-печатной формы:

Первым этапом было создание цифровой модели будущего изделия в специализированном CAD-программном обеспечении. При проектировании разборной формы были учтены следующие аспекты:

1. Усадка гипса. Гипс, как и большинство материалов, подвержен усадке в процессе твердения. Согласно исследованиям, линейная усадка гипса составляет от 0.1% до 0.5% в зависимости от марки и условий твердения [6]. Это необходимо компенсировать при создании 3D-модели, масштабируя её на соответствующий процент.

2. Разуклонка. Для облегчения извлечения гипсовой модели из формы необходимо предусмотреть разуклонку стенок, обычно в диапазоне 1-3 градуса.

3. Разборность. Конструкция формы должна обеспечивать легкую разборку после затвердевания гипса. Это достигается путем деления формы на несколько частей, соединенных между собой механическими креплениями (винтами, защелками) или посредством магнитных элементов.

4. Точность 3D-печати. Выбор технологии 3D-печати (FDM, SLA, SLS) и материала (PLA, ABS, PETG) влияет на точность и шероховатость поверхности формы. Для получения качественной гипсовой матрицы рекомендуется использовать технологии, обеспечивающие высокую точность и минимальную шероховатость, например, SLA или SLS [7].

5. Герметичность. Важно обеспечить герметичность 3D-печатной формы для предотвращения вытекания гипсового раствора. Для этого можно использовать уплотнительные материалы (силиконовый герметик, тефлоновая лента) в местах соединения частей формы.

После создания 3D-модели, она экспортируется в формат STL и передается на 3D-принтер для изготовления разборной формы рис. 3.



Рис. 3. Разборной форма для изготовления матрица вакуумной формовки из гипса.
а) детали; б) форма в собранном виде

Этап 2 – Заливка гипсового раствора:

Для изготовления гипсовой матрицы был использован высококачественный гипс, предназначенный для формовочных работ марки Г-18 по ГОСТ 125-79. Процесс заливки гипсового раствора включал следующие этапы:

Подготовка гипсового раствора. Необходимо строго соблюдать пропорции гипса и воды, указанные производителем. Важно избегать образования пузырьков воздуха в растворе, так как они могут негативно повлиять на прочность и качество поверхности матрицы.

Заливка формы. Перед заливкой внутреннюю поверхность 3D-печатной формы была обработана разделительным составом с применением восковой смазки для облегчения извлечения гипсовой модели. Заливка гипсового раствора осуществлялась медленно и равномерно, чтобы избежать образования воздушных карманов.

Этап 3 – Обработка и доводка гипсовой матрицы:

После затвердевания гипса разборная форма аккуратно разбиралась по сегментам. На этапе разбора формы возникли сложности извлечения гипсовой матрицы в районе соединительной конструкции модуля поплавка в форме «ласточкин хвост». Проблема обусловлена сложностью данного модуля множеством углов и закруглений. После извлечения гипсовой формы, матрица подверглась следующим этапам подготовительных работ к процессу непосредственной формовки:

Удаление облоя: Неровности и облой, который образовался в местах соединения частей 3D-печатной формы, удалялся при помощи шлифовальной шкурки, трещины и места пустот, которые образовались из-за наличия пузырьков в растворе – покрывались тонким слоем гипса.

Шлифовка и полировка: Поверхность матрицы шлифовалась шлифовальной шкуркой

Пропитка: Для повышения прочности и влагостойкости гипсовую матрицу рекомендуется пропитать специальными составами (например, раствором поливинилацетата или акриловыми лаками).

Этап 4 – Контроль качества:

Готовая гипсовая матрица подвергается контролю качества, который включает проверку геометрических размеров, гладкости поверхности и прочности. При необходимости вносятся корректировки.

Этап 5 – Формовка:

Изготовление гипсовой матрицы для вакуумной формовки с использованием 3D-печатной разборной формы позволило значительно сократить время и затраты на производство. После того как были выполнены все требования, мы перешли к самой формовке рис.4.



а) б)
Рис. 4. Процесс вакуумной формовки с использованием гипсовой матрицы.
а) гипсовая матрица на столе; б) сформованная матрица
(форма в процессе формовки / первичная форма)

Выявленные сложности и допущенные ошибки

После использования вакуумной формовки извлечение матрицы из полученной формы оказалось затруднительным, вероятно, из-за того, что поверхность матрицы не была обработана. Также причиной неудачи могли стать перегрев пластика и неправильные углы матрицы. Кроме того, было необходимо предусмотреть отверстия в гипсовой матрице для облегчения извлечения изделия из формы рис.5.



а) б)
Рис. 5. Результат вакуумной формовки с использованием гипсовой матрицы.
а) Форма из ABS пластика; б) Матрица из гипса

4. Заключение

Исследование, проведенное в СевГУ, показало, что аддитивные технологии, такие как 3D-печать, могут значительно упростить создание матриц для вакуумной формовки. Хотя первый эксперимент оказался неудачным из-за деформации матрицы, второй опыт продемонстрировал, что использование сборных форм и тщательная подготовка матрицы могут улучшить точность и качество деталей. Важными факторами для успешного извлечения деталей из формы оказались обработка поверхности матрицы и возможность разборной конструкции. Это говорит о том, что дальнейшие исследования и оптимизация технологий могут сделать процесс производства прототипов более эффективным и экономичным, приближая их к серийным образцам.

Список литературы

1. Рыжков, А. И. Процесс развития и классификация аддитивных технологий / А. И. Рыжков, Л. В. Шиленок // Современные технологии и реверс-инжиниринг: Сборник статей Всероссийских научно-практических конференций, Севастополь, 17 апреля – 12 2023 года / Гл. редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 165-169.
2. Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. Springer.
3. Gebhardt, A. (2003). Rapid prototyping. Hanser Gardner Publications.
4. Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2010). Rapid Prototyping: Principles and Applications. World Scientific
5. Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (2006). Rapid manufacturing: An industrial revolution for the digital age. John Wiley & Sons
6. Пшеничный Г. Н. Твердение строительного гипса мифы и реальность // Современное строительство и архитектура. 2021. №2 (22).
7. Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). Additive Manufact

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРАВКИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.В. Лобанов¹, Е.А. Терентьев², О.С. Рафанова³

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова»
г. Чебоксары, 428015, Россия, lobanovdv@list.ru

²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова»
г. Чебоксары, 428015, Россия, Genya_ms@mail.ru

³ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова»
г. Чебоксары, 428015, Россия, olesya-karamaeva89@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются различные методы правки алмазного шлифовального инструмента на металлической связке. Такой инструмент применяют для финишной обработки современных труднообрабатываемых композитных материалов, таких как режущая керамика.

Рассмотрены методы с анализом применения алмазных кругов на металлической связке для конкретного случая технологической обработки - шлифование режущей керамики. Не все методы, приведенные в классической литературе по шлифовальной обработке применимы для данного вида инструмента при обработке композитных материалов на основе керамики. Произведен анализ достоинств и недостатков этих методов применительно к труднообрабатываемому композитному материалу режущей керамики.

Ключевые слова: абразивная обработка, инструментальные материалы, правка абразивного инструмента, режущая минералокерамика, электрохимические методы.

ANALYSIS OF ABRASIVE TOOL DRESSING METHODS IN THE PROCESS OF FINISHING OF COMPOSITE MATERIALS

D.V. Lobanov¹, E.A. Terentyev², O.S. Rafanova³

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State University named after. I.N. Ulyanova" Cheboksary, 428015, Russia, lobanovdv@list.ru

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State University named after. I.N. Ulyanova" Cheboksary, 428015, Russia, Genya_ms@mail.ru

³Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State University named after. I.N. Ulyanova" Cheboksary, 428015, Russia, olesya-karamaeva89@mail.ru

Abstract: The article discusses various methods of dressing diamond grinding tools on a metal bond. Such tools are used for finishing modern difficult-to-machine composite materials, such as cutting ceramics.

The methods with the analysis of application of diamond wheels on a metal bond for a specific case of technological processing - grinding of cutting ceramics are considered. Not all methods given in classical literature on grinding processing are applicable for this type of tool when processing composite materials based on ceramics.

An analysis of the advantages and disadvantages of these methods is carried out in relation to the difficult-to-machine composite material cutting ceramics.

Keywords: abrasive machining, tool materials, dressing of abrasive tools, cutting mineral ceramics, electrochemical methods.

Введение

Требования, выдвигаемые производством по наиболее производительной и точной финишной обработке современных материалов, таких как композитные, высокопрочные, возможно выполнить, подвергая эти материалы обработке резанием с применением режущего инструмента на основе минералокерамики (режущей керамики). При заточке режущего инструмента на основе режущей керамики используется дорогостоящий абразивный инструмент.

В современном производстве появляется все больше труднообрабатываемых материалов, с высокими прочностными свойствами [1, 2]. Возрастает необходимость в чистовой обработке материалов прошедших процесс термической обработки. Часто требуется произвести обработку композитных материалов с неоднородной структурой. Все эти материалы являются труднообрабатываемыми из-за вышеперечисленных свойств. Современное производство

также выдвигает требования по наиболее производительной и точной обработке этих материалов. Приведенные условия выполнимы, при обработке заготовок резанием с применением режущих материалов на основе минералокерамики (режущей керамики). Минералокерамические материалы обеспечивают обработку на высоких скоростях резания до 300-500 м/мин, обладают высоким значением красностойкости до 1000 °С. Использование режущей керамики позволяет получать значения качественных параметров обрабатываемых материалов, например шероховатость до Ra0,8, что не хуже, чем в процессе шлифования.

Для финишной обработки режущих керамических материалов с перечисленными техническими характеристиками чаще всего используют операцию шлифования поверхности, осуществляемую алмазным абразивным инструментом [3, 4, 5]. Из проведенных экспериментов, описанных в работах [6, 7] известно, что в процессе шлифования идет засаливание абразивного инструмента. При засаливании абразивного инструмента нарастает мощность, затрачиваемая на технологический процесс, что приводит к такому отрицательному эффекту, как возникновение температурного перегрева в зоне обработки засаленным участком шлифовального круга.

В литературе приводятся различные методы восстановления работоспособности круга непосредственно в процессе обработки или с прерыванием данного процесса на вспомогательную операцию по зачистке абразивного инструмента.

Обработка композитных материалов, на основе керамики осуществляется алмазным абразивным кругом на металлической связке и не все методы, приведенные в классической литературе по шлифовальной обработке, применимы для данного вида инструмента. В статье рассмотрен анализ методов применения алмазных кругов на металлической связке для конкретного случая технологической обработки - шлифование режущей керамики.

Цель работы – анализ и выявление оптимальных условий правки алмазного абразивного инструмента при финишной обработке современных композитных материалов, позволяющих получать поверхности высокого качества.

Методы правки абразивных кругов на металлической связке по силовому характеру действия на перефирийную поверхность круга делятся на: механические, химические, физические и комбинированные. Так же в последнее время появились и новые технологии правки: лазерная правка, правка свободным абразивом.

Механические методы могут осуществляться путем обработки такими способами резания как: шлифование о круговой сегмент или брусок. Или способами силового воздействия: обкатывание, накатывание, и т.д. Большинство этих методов универсальны, но при обработке алмазного инструмента на металлической связке имеют невысокую производительность, что приводит к повышению основного времени обработки изделия. Нередко механический метод не может обеспечить достаточно высокую точность профиля, особенно в местах перехода периферии круга с его торцовыми участками. При механическом методе происходит большой размерный износ алмазного круга после правки, что влияет на себестоимость технологического процесса (алмазный круг – дорогостоящий инструмент).

К механической правке относится правка методом обкатки рабочей поверхности путем усилия прижима обкатывающего инструмента, выполненного из карбида кремния зеленого. Алмазный круг не обладает термостойкостью, в результате правка происходит на высокой скорости. Эти два условия приводят к тому, что в порах обрабатываемого круга остаются частицы карбида кремния зеленого, которые при последующей обработке керамического материала алмазным кругом на заданных режимах способствуют получению царапин, которые влияют на качество обрабатываемой поверхности.

Одной из современных разновидностей механических методов воздействий является правка свободным абразивом. При этом методе механическое действие на алмазные зерна поверхности круга происходит более мягко [8].

При правке свободным абразивом в качестве притира экспериментально был использован серый чугунок СЧ10 ГОСТ 1412-70, который обеспечивает наилучшие условия. При малых скоростях круга происходит затупление зерен, которое протекает быстрее, чем

вышлифовывание связки зернами абразива. В данном случае восстановление режущей способности происходит медленнее и величина режущей способности ниже, чем при больших скоростях. При скоростях круга больше 16 м/с усилия на зерна круга от притира возрастают, что способствует более высокой скорости их разрушения при правке. В результате действия этих двух процессов появляется экстремальная зависимость предельной режущей способности от скорости шлифовального круга [8].

К недостаткам данного вида правки можно отнести следующие элементы технологического процесса: создание установки для подачи свободного абразива, подвод притира с подачей свободного абразива без переделки плоскошлифовального или заточного оборудования не возможен без технической переделки оборудования. Увеличивается технологическое время обработки изделий из режущей керамики. Переоснащение основного технологического оборудования приводит к экономическим затратам.

Устройство электроабразивной обработки с непрерывной правкой круга относится к электрофизическим и электрохимическим методам обработки и может быть использовано при электроабразивном шлифовании материалов кругами на токопроводящих связках [9].

Электрофизический метод (например правка электроэрозией) позволяет обеспечить нужную точность. При правке данным методом используется правящий инструмент (электрод). При этом методе происходит вырывание частиц материала с поверхности абразивного круга импульсным током. В результате происходит оплавление поверхности абразивного круга [10]. При применении указанного метода может происходить термохимическое воздействие электрической эрозии на алмазные зерна. Таким образом при электроэрозионных процессах управляющим воздействиям подвергаются зерна инструментального материала. Это ведет к ухудшению характеристики поверхности режущей керамики после шлифования, и к возникновению микротрещин в начале обработки шлифованием после правки круга.

Рассмотрим электрохимический метод правки алмазных шлифовальных кругов на металлической связке. Источником энергии может выступать лабораторный блок питания или ЛАТР. Источник питания подключен к электроду на основе меди или графита. Между шлифовальным кругом и электродом устанавливается обязательный зазор около 0,1...0,3 мм. Одновременно с подачей питания подают электролит, который возможно подавать и как через полый электрод и пространство между электродом и шлифовальным кругом, который одновременно выполняет и функцию смазочно-охлаждающей жидкости [11].

При этом методе в результате электролиза засаленный слой и частично металлическая связка алмазоносного слоя растворяются [12, 13], алмазные зерна оголяются, происходит обновление засаленного слоя. Зерна шлифовального круга под действием правящего инструмента (электрода) не подвергаются физическим воздействиям. После операции правки режущие зерна на поверхности шлифовального круга остаются неповрежденными [14, 15]. Режущие кромки на зернах образуются в результате химического взаимодействия связки круга с электролитом, то есть они не повреждаются и проявляют большую стойкость к последующим растрескиваниям и объемному разрушению в процессе продолжения работы круга, чем в выше приведенных методах. При использовании данного метода механические вкрапления на поверхности инструмента, которые на первоначальной стадии шлифования приводят к получению микротрещин или царапин на обрабатываемом материале (режущая керамика) не остаются. Обрабатываемая шлифовальным кругом режущая керамика [16] предназначена для силовой работы, связанной с резанием, и явление возникновения микротрещин и царапин для нее не желательно.

К недостаткам данного вида правки алмазного абразивного инструмента на металлической связке можно отнести два момента. Первый - это переоснащение шлифовального или заточного оборудования для выполнения электрохимической правки. Стоимость специального оборудования, которое изначально позволяет производить данную обработку в несколько раз выше стоимости обычного плоскошлифовального станка. Второй -

это проведение данного метода правки связано с прерыванием технологического процесса обработки изделия, и осуществление вспомогательной операции по правке инструмента.

К достоинствам можно отнести минимальный съем материала с абразивного круга для восстановления его режущей способности. Это позволяет повысить время эксплуатации одного шлифовального круга, уменьшить вспомогательное время на его обслуживание, а следовательно, снизить технологическую себестоимость обработки (затраты на дорогостоящий инструмент).

Следующий метод правки – комбинированный метод.

В его основе лежит тот же самый электрохимический метод, но прерывание технологического процесса при обработке шлифованием режущей керамики не происходит. При комбинированном методе правки тоже присутствуют электрофизические явления, влияющие на качество обрабатываемой поверхности [17]. Частью комбинированного метода является механическое воздействие операции шлифования на процесс правки. Рассмотрим разделение этого процесса на составляющие технологические блоки. Вначале произведем электрохимическую правку, в течение которой происходит разупрочнение засаленного слоя связки. Засаленный слой начинает разрушаться под действием электрохимического процесса, рабочие абразивные зерна из алмаза очищаются от шлама и, следовательно, происходит восстановление работоспособности абразивного зерна. Следующим действием для абразивного зерна будет приложение к нему сил резания, неизбежно возникающих при шлифовании. И здесь уже под действием возникших внешних сил, затупленные и изношенные зерна покидают шлифовальный круг, открывая последующие слои зерен.

Управление процессом включения электрохимической правки может происходить или по контролю затрачиваемой эффективной мощности технологического процесса или по контролю электрического тока и напряжения во время основной механической обработки, а именно шлифования режущей керамики [18].

Заключение

При обработке режущей керамики рекомендуемым оптимальным технологическим решением является применение комбинированного метода шлифования, осуществляемого непосредственно в процессе основной технологической обработки заготовки из режущей керамики. Прерывистое включение электрохимической правки во время данного процесса по контролируемой мощности технологического процесса приводит к сокращению расхода материала инструмента. Данный метод так же приводит к минимизации причин трещинообразования на обрабатываемой керамике.

Список литературы

1. Полтавец, В. В. Оптимизация процесса алмазного шлифования ванадиевых сталей с периодическими электроэрозионными управляющими воздействиями / В. В. Полтавец // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 3(86). – С. 46-56.
2. Керамические нанокompозиты на основе диборида циркония / Е. Г. Скрипняк, Д. В. Лобанов, В. В. Скрипняк [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 2(10). – С. 95-98.
3. Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов / А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов, В. Ю. Скиба [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2017. – № 3(76). – С. 17-27. – DOI 10.17212/1994-6309-2017-3-17-27.
4. Попов, В. Ю. Формирование поверхностного слоя режущего инструмента при алмазной обработке кругами на металлической связке / В. Ю. Попов, А. С. Янюшкин // Решетневские чтения. – 2014. – Т. 1. – С. 306-308.
5. Гусев, В. В. Технические ограничения при алмазном шлифовании керамики / В. В. Гусев, Д. А. Моисеев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 2(53). – С. 35-42.
6. Салова, Д. П. Методика измерения импульсных температур при круглом шлифовании / Д. П. Салова, Е. А. Терентьев, П. М. Салов // Вестник Чувашского университета. – 2008. – № 2. – С. 108-112.
7. Влияние вида правки на длину дуги контакта шлифовального круга с заготовкой / П. М. Салов, Д. П. Салова, Е. А. Терентьев, Т. Г. Виноградова // Высокие технологии в машиностроении : Материалы всероссийской научно-технической интернет-конференции. Посвященная 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники ПАПШЕВА Дмитрия Дмитриевича, Самара, 22–25 октября 2015 года / Ответственный редактор В.Н. Трусов. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2015. – С. 75-77.

8. Гусев, В. В. К определению параметров управления процессом правки свободным абразивом алмазного шлифовального круга при обработке керамики / В. В. Гусев, А. Г. Мамолат, С. А. Поезд // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 1(84). – С. 11-16.
9. Реченко, Д. С. Правка абразивного инструмента / Д. С. Реченко, А. Ю. Попов // Омский научный вестник. – 2008. – № 4(73). – С. 62-64.
10. Зорина, М. М. Эффективность применения метода "двойного травления" для обработки безвольфрамовых твердых сплавов / М. М. Зорина, В. Н. Цай, Е. А. Терентьев // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2017. – № 4. – С. 36-38.
11. Борисов, М. А. Управление процессом электрохимического шлифования при отсутствии автономной цепи правки инструмента / М. А. Борисов, В. А. Мишин. – Чебоксары : Политех, 2019. – 134 с.
12. Механизм образования защитных пленок на алмазных кругах с металлической связкой / А. С. Янюшкин, О. И. Медведева, П. В. Архипов, В. Ю. Попов // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – № 1(5). – С. 132-138.
13. Медведева, О. И. Влияние параметров электроалмазного шлифования твердых сплавов на величину растворенного слоя / О. И. Медведева, А. С. Янюшкин, В. Ю. Попов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 3(64). – С. 68-75.
14. Probabilities of abrasive tool grain wearing during grinding / V. A. Nosenko, E. V. Fedotov, S. V. Nosenko, M. V. Danilenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2009. – Vol. 38, No. 3. – P. 270-276. – DOI 10.3103/S1052618809030108.
15. Богущий, В. Б. Расчет размерного износа абразивных зерен при наружном круглом шлифовании / В. Б. Богущий, Ю. К. Новоселов, С. М. Братан // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 279-283.
16. Гусев, В. В. Износ алмазного шлифовального круга при обработке керамики / В. В. Гусев, Д. А. Моисеев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – № 4(67). – С. 25-29.
17. Янюшкин, А. С. Качество поверхности твердого сплава при комбинированном электроалмазном шлифовании с непрерывной правкой круга / А. С. Янюшкин, П. В. Архипов, С. П. Ереско // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – № 5(11). – С. 26-31.
18. Research of influence electric conditions combined electrodiamond processing by on specific consumption of wheel / D. V. Lobanov, P. V. Arkhipov, A. S. Yanyushkin, V. Yu. Skeebe // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : electronic edition, Yurga, 19–21 мая 2016 года / National Research Tomsk Polytechnic University. Vol. 142. – Yurga: IOP Publishing Ltd, 2016. – P. 12081. – DOI 10.1088/1757-899X/142/1/012081.

СЕКЦИЯ № 3

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.01

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ДРОНОВ

Е.Д. Хоженцев¹, Я.С. Кривунец², Д.С. Сячин³, С.С. Сячин⁴, Д.С. Солнцева⁵

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, khzhentsevy@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, krivunetc@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, syachin04@mail.ru

⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, sergejsacin50@gmail.com

⁵ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, dssolntseva@sevsu.ru

Аннотация. Обзорная статья посвящена анализу моделей применения наземных беспилотных дронов (НБД) в различных отраслях. Рассмотрены ключевые аспекты, такие как технологии, обеспечивающие эффективность работы НБД, и их влияние на процессы автоматизации и оптимизации в логистике, сельском хозяйстве, охране труда, окружающей среде. Выделены не только основные преимущества использования НБД, включая снижение затрат, повышение безопасности и улучшение качества данных, но и вызовы и ограничения с которыми сталкиваются пользователи НБД, такие как регулярные барьеры, проблемы с интеграцией в существующие системы. Статья подчеркивает важность дальнейших исследований и разработок для максимизации потенциала наземных беспилотных технологий и их интеграции в повседневную практику.

Ключевые слова: Модели применения (НБД), преимущества и вызовы, важность исследований.

OVERVIEW OF APPLICATION MODELS OF GROUND UNMANNED DRONES

E.D. Khozhenzev¹, Y.S. Krivunetc², D.S. Syachin³, S.S. Syachin⁴, D.S. Solntseva³

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, khzhentsevy@mail.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, krivunetc@mail.ru

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, syachin04@mail.ru

⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, sergejsacin50@gmail.com

⁵FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, dssolntseva@sevsu.ru

Abstract. The review article is devoted to the analysis of application models of ground unmanned drones (UUD) in various industries. Key aspects are considered, such as technologies that ensure the efficiency of UUD, and their impact on automation and optimization processes in logistics, agriculture, labor protection, and the environment. Not only the main advantages of using NBD, including cost reduction, increased security and improved data quality, but also the challenges and limitations faced by NBD users, such as regular barriers, problems with integration into existing systems, are highlighted. The article emphasizes the importance of further research and development to maximize the potential of ground unmanned technologies and their integration into everyday practice.

Keywords: Application models (NBD), advantages and challenges, importance of research.

1. Введение

В настоящее время тема беспилотных аппаратов становится все более актуальной и обсуждаемой в современном обществе. Сегодняшние беспилотные аппараты представляют собой высокотехнологичную, наукоемкую область и являются одним из перспективных направлений развития робототехники [1,3]. С момента своего появления они прошли долгий путь, начиная от военных технологий до массового использования в гражданских целях [2].

Развитие технологий, таких как миниатюризация компонентов, улучшение систем навигации и связь с интернетом, сделали беспилотники доступными для широкой аудитории.

Сегодня они помогают решать сложные задачи, повышая эффективность и сокращая затраты, при этом позволяя находиться на расстоянии [3,4].

Однако, с ростом популярности дронов возникли и новые вызовы, такие как вопросы безопасности, конфиденциальности и регулирования. Таким образом, важно рассмотреть не только текущее состояние технологий и их применение, но и будущее беспилотников, а также потенциальные проблемы, которые могут появиться в процессе их интеграции в общество.

В данной статье подробно рассмотрены основные технологии, используемые в беспилотниках, их применение в различных отраслях и дальнейшие перспективы развития. Это поможет лучше понять, как именно дроны меняют наш мир и какие возможности ни открывают для будущего.

2. Исследование.

Оценить потенциал использования беспилотных дронов можно на основе данных статистики на примере беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), по которым существует большое количество исследований и государственных программ. Вместе с тем, в эти программы уже включаются не только летательные аппараты, но и аппараты морские и наземные.

По данным Ростелекома В2Е Российский рынок БПЛА (рис. 1), применяемых для задач коммерческого сектора экономики, растет более чем на 60% в год. К 2028 году объем выделенных средств, должен превысить 81 млрд. рублей [6].

По реальным нынешним прогнозам, принадлежащим Ростелекому, отложенный до этого рост рынка БПЛА реализуется в перспективе в 2025-2026 гг.

На конец 2023 года это направление оставалось вовсе недоинвестированным и не только со стороны УТ- составляющей (системы управления устройствами), но и в части микроэлектроники (электронно – компонентная база).

3. Меры господдержки.

На сегодняшний день в Российской Федерации действует нацпроект «Беспилотные авиационные системы» (БАС) от 1 января 2024г, который должен определить стратегию развития беспилотной авиации на период 2030г.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 30.12.2022 № Пр-2548 федеральными органами исполнительной власти ведется работа по формированию отрасли беспилотных авиационных систем (далее – БАС)

В качестве меры поддержки государством лиц, работающих в сфере разработки, производства и др. предпринимаются различные меры государственной помощи [5,6].

Таким образом для поддержки производства:

- льготный лизинг;
- гранты на НИОКР;
- стимулирование спроса (ГТЗ).

Кадровая поддержка:

- новые образовательные программы
- открытие специализированных учреждений в области робототехники
- национальные соревнования

Поддержка эксплуатантов:

- налоговые и иные льготы
- оптимизация процедур страхования и сертификации
- унификация инфраструктуры
- ЭПР



Рис. 1. График (Российский рынок БПЛА)

4. Общее описание.

Наземные беспилотные дроны, или роботизированные наземные транспортные средства, становятся все более важным инструментом в различных отраслях благодаря своей способности выполнять задачи с высокой точностью и эффективностью. Их применение варьируется от сельского хозяйства и логистики до охраны окружающей среды и военных операций [4]. Эти устройства не только оптимизируют процессы, но и значительно снижают риски для человека, выполняя работы в сложных или опасных условиях [5]. Далее рассмотрим ключевые области применения наземных беспилотных наземных дронов, их преимущества и перспективы развития технологий, которые открывают новые горизонты для автоматизации и инноваций.

5. Применение наземных дронов и платформ в различных сферах.

Наземные дроны и платформы – это универсальные устройства, которые находят применение в самых разных отраслях. В зависимости от модификации и оснащения они могут использоваться для перевозки грузов, выполнения спасательных операций, контроля безопасности на предприятии и даже в экологических проектах [4]. Рассмотрим, как такие тележки применяются в каждой из сфер.

5.1. Дрон для охраны труда (рис. 2).

Применение:

1. Транспортировка средств защиты – перевозка огнетушителей, аптек, защитных костюмов и других средств безопасности по территории предприятия;
2. Контроль за соблюдением норм – мобильная платформа может быть оснащена датчиками (газоанализаторы, шумомеры), что позволяет оперативно проверять условия труда;
3. Эвакуация пострадавших – в экстренных случаях дрон может использоваться, как носилки или средство для транспортировки человека;
4. Хранение инструментов для чрезвычайных ситуаций (ЧС) – на платформе можно разместить аварийный комплект (лопаты, противогазы, фонари).

Преимущества: мобильность, быстрый доступ к средствам защиты, снижение времени реагирования при ЧП.

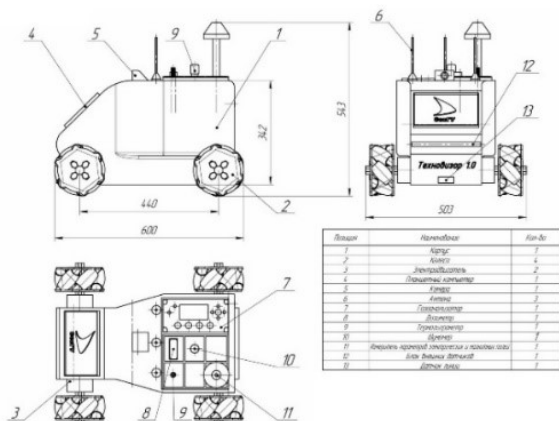


Рис. 2. Макет дрона для охраны труда



Рис. 3. Макет дрона для С/Х

5.2. Сельскохозяйственный дрон (рис. 3).

Применение:

1. Перевозка урожая – удобная транспортировка овощей, фруктов, зерна с поля до места хранения;
2. Транспортировка удобрений и кормов – можно перевозить мешки с комбикормом, минеральные удобрения, сено;
3. Обработка растений – если дрон оснащен баком и распылителем, он может использоваться для полива или опрыскивания;
4. Перемещение мелкой техники – транспортировка мотоблоков, небольших культиваторов, инструментов.

Преимущества: экономия времени, снижение физической нагрузки, возможность адаптации под разные задачи.

5.3. Спасательный дрон (рис. 4).

Применение:

1. Эвакуация пострадавших – в условиях ЧС (пожары, землетрясения, ДТП) тележка может служить мобильными носилками;

2. Доставка аварийного оборудования – перевозка медицинских комплектов, кислородных баллонов, гидравлических инструментов для разбора завалов;

3. Использование в труднодоступных местах – компактные модели могут применяться в тоннелях, на стройках, в горной местности;

4. Мобильный пункт помощи – если тележка оснащена складными элементами, она может превращаться в временный стол или опору для медиков.

Преимущества: быстрое разворачивание, надежность конструкции, возможность работы в экстремальных условиях.

5.4. Складской/грузовой дрон (рис. 5).

Применение:

1. Погрузочно-разгрузочные работы – перемещение ящиков, коробок, паллет внутри склада или магазина;

2. Комплектация заказов – удобная транспортировка товаров по торговому залу или складскому терминалу;

3. Работа с габаритными грузами – усиленные модели могут перевозить технику, стройматериалы, металлоконструкции;

4. Интеграция с системами учета – некоторые дроны оснащаются сканерами штрих-кодов для автоматизации логистики.

Преимущества: ускорение процессов грузопереработки, снижение травматизма, универсальность.

5.5. Эко – дрон (рис. 6).

Применение:

1. Сбор мусора и вторсырья – удобная сортировка отходов (пластик, стекло, бумага) прямо на улицах или в парках;

2. Очистка территорий – перевозка мешков с листьями, ветками, бытовым мусором;

3. Озеленение городов – транспортировка саженцев, грунта, инструментов для посадки растений;

4. Экологический мониторинг – если дрон оснащен датчиками, он может измерять уровень загрязнения воздуха или почвы.



Рис. 4. Макет дрона для спасения



Рис. 5. Макет грузового дрона



Рис. 6. Макет эко – дрона

Преимущества: экологичность (возможность использования солнечных батарей или перерабатываемых материалов), удобство для городских служб, поддержка ESG-инициатив.

Заключение

Наземные дроны и платформы – это многофункциональные решения, которые оптимизируют работу в самых разных отраслях. В зависимости от задач их можно адаптировать под конкретные нужды, будь то охрана труда, сельское хозяйство, спасательные операции, логистика или экологические проекты. Благодаря своей мобильности и вариативности они остаются незаменимыми помощниками в современном мире. В рамках деятельности студенческого конструкторского бюро машино- и приборостроения Севастопольского государственного университета разрабатывается универсальная наземная платформа, которая по модульному принципу может быть легко переоборудована под различные назначения из представленных выше. Использование универсального решения в виде платформы позволит существенно оптимизировать технологический процесс её последующего серийного изготовления, а также сократить сроки проектирования и постановки на производство новых исполнений для регулярно возникающих новых моделей применения.

Список литературы

1. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-perspektivy-razvitiya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov/viewer>
2. [https://viek.ru/67/vie_24_1\(67\)-005-008.pdf](https://viek.ru/67/vie_24_1(67)-005-008.pdf)
3. Варламов, А. С. Перспективы развития систем и средств комплексов с беспилотными летательными аппаратами / А. С. Варламов, А. В. Седых, Д. С. Бачурин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 47 (494). — С. 25-27. — URL: <https://moluch.ru/archive/494/108015/>
4. Варламов, А. С. Обобщенный анализ существующих тенденций и достижений в области перспектив развития систем и средств беспилотных летательных аппаратов / А. С. Варламов, А. В. Седых, Д. С. Бачурин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 47 (494). — С. 27-31. — URL: <https://moluch.ru/archive/494/108115/>
5. https://ai.gov.ru/knowledgebase/tekhnologii-i-produkty-ii/2024_rynok_graghdanskih_bespilotnyh_apparatov_obyem_dinamika_i_scenarii_primeneniya_bespilotnikov_v_otraslyah_ekonomiki_rostelekom/
6. <https://rt-static.rt.ru/sites/default/files/b2b/docs/bpla.pdf>

УДК 656.073.7

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВЫХ ПРОЦЕССОВ МОРСКОГО ПОРТА

И.Н. Майорова¹,

¹ Азовский морской институт филиал ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в городе Мариуполе ДНР, 278010, Россия, inmayorova@mail.ru

Аннотация. В морском порту существует два вида потоков: поток грузов и поток судов. В работе рассмотрены подходы к классификации грузопотоков морского порта, дана характеристика измерительных показателей грузопотоков. Исследование мирового опыта управления морскими потоковыми процессами показали два обобщающих момента этого процесса. Первый – используя механизм прямых инвестиций судоходные компании самостоятельно подчиняют себе такие функции как организацию работ и предоставление услуг логистических и услуг портовых терминалов. Второй – морские порты для оптимизации издержек собственных не мобильных активов и экономии на масштабе, основываясь на интегрированной логистике, преобразуются в многофункциональные транспортно-логистические узлы в глобальных цепях поставок.

Ключевые слова: морские порты, терминалы, грузы, морские суда, причалы, перегрузочные технологии, транспортный поток, интермодальные транспортные единицы, транспортно-логистический узел.

MODERN TECHNOLOGIES FOR THE FORMATION OF SEAPORT FLOW PROCESSES

I.N. Mayorova¹¹*Azov Maritime Institute Sevastopol State University in Mariupol, Donetsk People's Republic, 278010, Russia, inmayorova@mail.ru*

Abstract. *There are two types of flows in a seaport: cargo flow and ship flow. The paper considers approaches to classifying cargo flows of a seaport, and describes the measurement parameters of cargo flows. A study of the global experience in managing marine flow processes has shown two generalizing aspects of this process. The first is that by using the direct investment mechanism, shipping companies independently subordinate themselves to such functions as organizing work and providing logistics and port terminal services. The second is that seaports are being transformed into multi functional transport and logistics hubs in global supply chains to optimize the costs of their own non-mobile assets and scale savings based on integrated logistics.*

Keywords: *seaports, terminals, cargoes, sea vessels, berths, transshipment technologies, transport flow, inter modal transport units, transport and logistics hub.*

Введение

Самый ощутимый удар по грузообороту российских портов нанес отказ крупнейших морских перевозчиков работать с Россией. По оценкам представителей транспортных компаний, 9 из 11 глобальных компаний ввели ограничения на перевозки через морские порты РФ и объявили об уходе из нашей страны. Среди них Maersk, MSC, CMA CGM, Hapag-Lloyd, Yang Ming и ряд других. Такие компании, как HMM и ONE, ограничили прием отправок в крупнейшие российские порты Новороссийск и Санкт-Петербург. Всего же в первые дни после объявления Западом санкций 6 морских линий приостановили бронирование грузов в морские порты РФ [1]. Планируется, что территорией для концентрации грузов для поставок товаров между Россией и Европой станет Турция. В этом случае грузы, прибывающие по суше в Стамбул, далее будут перегружаться на морской транспорт и отправляться в черноморские порты России. Этим же путем российские товары могут доставляться в Северную Африку, Индию, Южную Америку [2].

По прогнозам, объемы внешнеторговых перевозок таких грузов как уголь, нефть, СПГ, зерно, контейнерные грузы, удобрения, металлогрузы и лесоматериалы будут расти [3]. Следовательно, на данном этапе становится актуальным планирование потоковых процессов и планирование терминалов морского порта. В данном случае речь идет не только о специализации терминалов, размерах принимаемых судов (их длина и осадка) но и общие подходные пути с моря и с суши: каналы, разворотные круги, якорные стоянки. По сути требуется ответить на вопросы о целесообразности размещения портовых мощностей по отношению к глубинам и уже существующим морским каналам, каким образом будут организованы и осуществляться транспортные подходы к ним, решение вопросов, связанных с безопасностью мореплавания.

По авторитетному мнению Галина А.В. [4], [5] на процесс развития любого порта влияют два основных ограничения. Первый – доступный рынок судов определенных размеров и типов. По мнению автора [5] под рынком существующих судов следует понимать имеющиеся в наличии специализированные суда или финансовые возможности для их постройки. В свою очередь, доступный рынок судов требует наличие в порту специализированных причалов для обработки специализированных грузов. Таким образом возникает приоритет в развитии морского порта по перевалке определенных видов грузов через порт.

Второй тип ограничений связан непосредственно с количеством доступных причалов. Естественным фактором ограничения доступных причалов является общая длина береговой линии. Экономическим фактором ограничения наличия доступных причалов является финансовые возможности по строительству и эксплуатации причалов.

Характеристики причалов влияют на используемый флот. Например, глубина у причалов и на подходном фарватере влияет на размеры используемых судов. Размеры обрабатываемых судов, в свою очередь, оказывают ответное влияние на тип и количество перегрузочной

техники на причале, определяют скорость обработки судов и пропускную способность причала, что в совокупности влияет на объем и структуру грузопотока, проходящего через порт, резюмирует Галин А.В. [5] ссылаясь на источники [6], [7].

Цель исследования – исследовать современные технологии формирования грузовых потоков морского порта в условиях санкций с учетом потоков судов и потоков грузов, перерабатываемых в морском порту.

Изложение основного материала

Потоковые процессы в морском порту.

Волынский И.А. грузопотоки морского порта классифицирует по следующим признакам [8]: 1) отношение к логистической системе порта: входящие и исходящие, внутренние и внешние; 2) вид грузов: генеральные (тарно-штучные, грузы, транспортируемые в интермодальных транспортных единицах, небалк); массовые (насыпные, наливные, навалочные); особо режимные (опасные, перевозимые под температурным контролем, крупногабаритные и тяжеловесные); 3) по совместимости грузов: совместимые и несовместимые; 4) по варианту перегрузочных операций в порту [9]: прямые (судно – судно, судно – железнодорожные вагоны, судно – автомашины и т. д.) и совмещенные (перегрузка через склады). Наибольшее преобладание какого либо вида грузопотока определяет организацию процессов перевалки и технологии обработки грузов в порту. Под эти процессы определяется и необходимое специализированное оборудование. Сама организация технологических процессов требует согласования мощности механизмов, сооружений, вспомогательных устройств, которые задействованы в выполнении перегрузочных работ в морских портах.

К оценочным показателям обработки грузопотоков в морских портах следует отнести: объем перевалки грузов по видам груза за определенный период времени, т; площадь складов, тыс. м²; емкость резервуаров для хранения грузов, тыс. т; габаритные характеристики, м, шт., тыс. TEU; весовые характеристики, т; и физико-химические (сыпучесть, пористость, способность уплотняться, хрупкость, распыляемость, слеживаемость, смерзаемость, коррозия и др.) характеристики груза, измеряемые в абсолютных показателях. Начальной точкой отсчета преобразования грузопотока в морском порту служит дата завоза груза на территорию порта, конечной точкой обработки груза является выгрузка груза на судно. Перегрузочные работы в порту производятся несколькими способами, например, у береговых причалов и/или в районах акваторий с использованием специальных стационарных причальных приспособлений, которые прочно закрепляются в грунте или укрепляются на мертвых якорях. При этом, размерность временных и стоимостных затрат на перемещение и обработку груза в порту зависят не только от уровня организации перегрузочных работ, но и от эффективной организации обслуживания потока судов.

Транспортный поток судов морского порта представляет собой совокупность судов, заходящих и выходящих из порта, а также находящихся в акватории порта и/или у причалов под загрузкой/выгрузкой. Основные логистические операции в данном случае: формирование потока судов в порт/из порта; распределение судов между причалами; подача судов под погрузку – распределение судов для перевозок и установление сроков постановки их под погрузку исходя из графика движения судов, их позиций и ситуации в портах; движение судов от исходных позиций с портами и перестановка их в порту; оформление прихода, маневрирование в акватории порта и при постановке к причалу, швартовка; подача извещения о готовности судна к грузовым операциям; обработка судов. К характеристикам судопотока морского порта относят количество судозаходов, ед.; время нахождения судна под погрузкой/выгрузкой, время простоя судов, стояночное время; средняя валовая вместимость на 1 судозаход, тыс. GT; валовая вместимость судов, тыс. GT, и др.[8, с.74]. Как правило, каждый поток грузов и судов всегда сопровождается конкретным информационным, финансовым потоками. Следует отметить, что финансовые потоки в морских портах обслуживаются и преобразуются согласно законодательных актов РФ и в данной статье не исследуются.

Относительно морского порта информационные потоки можно систематизировать следующим образом [8, с.73]: 1. Поток информационных услуг: – предоставление по запросу (после получения разрешения) пользователям доступа к информационным базам данных: автоматической идентификационной системе (АИС) по всем судам от береговых базовых станций региональной системы безопасности; АИС HELCOM о текущем местоположении судов; по поиску судна по номерам MMSI, IMO, позывному или названию в базах данных РИСС Северо-Запада, РИСС Юга с привязкой к базам данных ITU и INMARSAT; – предоставление информации о судозаходах в порт, дислокации судов, их перемещениях, о работе стивидорных компаний, что расширяет возможности грузовладельцев, грузоотправителей и заинтересованных лиц при выборе стивидорной компании; 2. Поток комплексных навигационных услуг, оказываемых системами управления движением судов (СУДС) судам, находящимся в зоне действия портов; 3. Информационные потоки, отражающие требования грузоотправителей, грузополучателей и других заинтересованных лиц; 4. Информационные потоки, формируемые администрацией морского порта, службой капитана морского порта, управляющим субъектом морского порта, логистическими посредниками, финансовыми организациями и др. Параметры, характеризующие информационные потоки: наличие СУДС в порту, ед.; перечень информационных услуг, ед.; количество стивидорных компаний, выполненных договоров, актов приемки-сдачи груза и других работ, ед.; сроки заключения и регистрации договоров и т. д. [8, с.73].

Мировой опыт формирования потоковых процессов морского порта

Международный опыт в консолидированном развитии грузовых потоковых процессов в морских портах, обобщенно, можно представить в двух вариантах. Первый вариант: используя механизм прямых инвестиций судоходные компании самостоятельно подчиняют себе такие функции как организацию работ и предоставление услуг логистических и услуг портовых терминалов. Они обеспечивают доступ в районы за пределами морских портов, таким образом, организуют согласованное сетевое взаимодействие и стабильные кооперационные связи с производственными компаниями различных экономических секторов региона. Примером могут служить Датская компания APM-Maersk и Китайская COSCO Container, входящие в первые 20 компаний из листа ТОП-100 контейнерных линий, которые владеют портовыми терминалами по всему миру, управляют высоко дифференцированными, в частности производственными, активами [10, со ссылкой на 11]. Таким образом, морская и наземная логистика интегрируют путем создания альянсов между судоходными и наземными транспортными предприятиями.

Другой путь заключается в том, что морские порты для оптимизации издержек собственных не мобильных активов и экономии на масштабе, основываясь на интегрированной логистике преобразуются в многофункциональные транспортно-логистические узлы в глобальных цепях поставок. Авторами научной публикации [10] отмечены следующие общие тенденции: частные терминальные операторы стремятся к прямому управлению объектами наземной транспортной инфраструктуры, организации самостоятельной логистики и поддержки своих клиентов по бизнесу в вопросах бухгалтерского учета и юридических вопросов. Примером могут служить такие глобальные портовые операторы, как Hutchinson Port Holdings, APM Terminal, Port of Singapore Authority, Dubai Ports International, которые на данный момент управляют терминальной инфраструктурой почти в каждом крупном порту мира [10, с.73].

Новые технологии в перевозочном процессе: контейнеризация грузов, которая обеспечивает интермодальные и мультимодальные перевозки; появление нового класса морских судов – супер контейнеровозов, следствием которого стало введение единых стандартов операционной деятельности, общих требований к технологиям и качеству менеджмента; развитие компьютерных технологий, которые позволяют производить все большее количество операций по обработке грузов и проводить мониторинг грузоперевозок в режиме реального времени, обусловили активную трансформацию морских портов в транспортно-логистические узлы глобальных цепочек создания дополнительной стоимости. Экономическими последствиями внедрения и развития новых технологий стало: снижение

издержек в расчете на единицу груза или веса; многообразие видов морских судов позволило выбирать судно по оптимальному размеру и характеристикам, что снизило издержки на грузовые перевозки и оптимизировало цепи поставок; современные транспортно-технологические системы стали модульными, универсальными, гибкими и специализированными; появились новые концепции управления портовыми мощностями, которые соответствуют новым технологическим и организационным нововведениям и мотивируют к введению инноваций. Например, крупные порты Роттердам, Антверпен, Гон Конг, Нью-Йорк управляются несколькими холдингами; при этом отмечается как диверсификация активов, так и их консолидация, создание различного типа альянсов для обеспечения «бесшовной» логистики, для получения сетевых эффектов в результате роста числа участников экономического обмена. В крупнейших портах Китая Шанхай, Шэньчжень учтены новые логистические подходы по работе с грузами и изменения глобальных торговых потоков, а также деловая активность порта в регионе своей локации, что привело к преобразованию Китая «...в промышленную мастерскую мира» [10].

В отличие от мировой практики основными движущими силами развития отечественных морских портов выступают компании — производители. Известные российские компании СУЭК, Еврхим, НЛМК владеют собственным подвижным составом, железнодорожными подходами и собственными портовыми терминалами, а так же на конкретных направлениях и собственными судоходными линиями. При условии, что морской порт в числе своих акционеров имеет крупные добывающие предприятия, которые создают грузопотоки и имеют тесные взаимоотношения с ведущими мировыми трейдерами, он может инвестировать в модернизацию и строительство новых мощностей [10].

Выводы

1. В исследовании показано, что на данном этапе становится актуальным планирование потоковых процессов и планирование терминалов морского порта. В данном случае речь идет не только о специализации терминалов, размерах принимаемых судов (их длина и осадка) но и общие подходные пути с моря и с суши: каналы, разворотные круги, якорные стоянки. По сути требуется ответить на вопросы о целесообразности размещения портовых мощностей по отношению к глубинам и уже существующим морским каналам, каким образом будут организованы и осуществляться транспортные подходы к ним, решение вопросов, связанных с безопасностью мореплавания.

2. К оценочным показателям обработки грузопотоков в морских портах следует отнести: объем перевалки грузов по видам груза за определенный период времени, т; площадь складов, тыс. м²; емкость резервуаров для хранения грузов, тыс. т; габаритные характеристики, м, шт., тыс. TEU; весовые характеристики, т; и физико-химические, измеряемые в абсолютных показателях. Начальной точкой отсчета преобразования грузопотока в морском порту служит дата завоза груза на территорию порта, конечной точкой обработки груза является выгрузка груза на судно.

3. Международный опыт в организации потоковых процессов морских портов показывает два варианта развития. Первый — судоходные компании, используя прямые инвестиции проникают в районы за пределами морских портов, таким образом, организуют согласованное сетевое взаимодействие и стабильные кооперационные связи с производственными компаниями различных экономических секторов региона. Второй — морские порты для оптимизации издержек собственных не мобильных активов и экономии на масштабе, преобразуются в многофункциональные транспортно-логистические узлы в глобальных цепях поставок.

Список литературы

1. Владимиров Е. Грузопотоки через морские порты меняют направление. / Е. Владимиров// Морские порты №3 (2022). — URL: <https://morvesti.ru/analitika/1688/96309/> (дата обращения: 03.03.2025)
2. Гаврилов А.М. Новый мировой порядок в безопасности транспортных перевозок грузов. /А.М. Гаврилов, У. Сяньюй, Чжан Чжэнь// Научные проблемы водного транспорта № 78(1). 2024. с.127-140.
3. Танцюра В.В. Нужны ли нам перспективные планы развития морских портов. / В.В. Танцюра, Е.М. Новосельцев// Морские порты № 10(2021).URL: <https://morvesti.ru/analitika/1688/94521/> (дата обращения 05.04.2025)

4. Галин А.В. Обобщенная имитационная модель процессов развития портов /А. Галин// Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. — 2015. — №6 (34). — с. 43-51
5. Галин А.В. Воздействие ограничений на обобщенную имитационную модель процесса развития портов /А.В.Галин// Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2016. №19 (35).с. 7-14.
6. Кириченко А. В. Взаимоотношения города и порта: эволюция и перспективы / А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов // Транспорт Российской Федерации. — 2014. № 1 (50). С. 12–15.
7. Кириченко А. В. Анализ моделей терминальной перевозки грузов в транспортной логистике / А. В. Кириченко // Логистика: современные тенденции развития: Материалы XIV Международной науч.- практ. конференции. — СПб.:, 2015. С. 183–187.
8. Волынский И. А. Понятие, виды и особенности формирования потоковых процессов морского порта // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. — 2020. № 3. С. 71–78. DOI: 10.24143/2073-5537-2020-3-71-78
9. Валькова С. С., Степанец В. Е., Киселева Е. В. Сравнительная оценка эффективности и обоснование выбора варианта перегрузки груза в порту // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 3. С. 107–115. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-107-115.
10. Дунаев О.Н. Морские порты в экспортной цепи поставок российских компаний./ О.Н.Дунаев, Д.В. Нестерова// Транспорт Российской Федерации №2 (69). —2017. —с.17-21
11. Аналитики Alphaliner обновили ТОП-100 крупнейших судоходных компаний мира. — URL:<https://alphaliner.axsmarine.com/PublicTop100/> (дата обращения 07.04.2025)

УДК 621.879

О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АДГЕЗИИ ГРУНТОВ ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ

Д.А. Минеев¹, П.Ю. Дрюпин², С.Н. Медведев³, П.Д. Быков⁴

¹ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, 665707, Россия,
mineev@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, 665707, Россия,
760bf@mail.ru

³ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, 665707, Россия,
serxiomed543@mail.ru

⁴ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, 665707, Россия,
sesvard228@gmail.com

Аннотация. Проблема разработки влажного связного грунта машинами для земляных работ возникает во всех температурных диапазонах окружающей среды. В данной статье рассматривается вопрос использования одного из методов борьбы с адгезией грунта на ковш экскаватора такого как – комбинированный с использованием пьезокерамических излучателей. При работе пьезокерамические преобразователи нагреваются, что в сочетании с высокочастотной вибрацией дает на выходе комбинированное воздействие (термоакустическое). Их действие основано на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта. Преимуществом использования пьезокерамических излучателей является их компактность и возможность равномерного размещения по поверхности ковша. Проведен обзор основных физико-механических характеристик пьезокерамических излучателей, также выбран наиболее эффективный излучатель для дальнейшего использования для очистки ковша экскаватора.

Ключевые слова: адгезия, пьезокерамические излучатели, очистка, ковш

ON THE PROSPECTS OF USING PIEZOCERAMIC EMISSIONS TO REDUCE SOIL ADHESION DURING THEIR DEVELOPMENT

D.A. Mineev², P.Yu. Dryupin³, S.N. Medvedev⁴, P.D. Bykov⁵

¹FSBEI HE «Bratsk State University», Bratsk, 665707, Russia, mineev@mail.ru

²FSBEI HE «Bratsk State University», Bratsk, 665707, Russia, 760bf@mail.ru

³FSBEI HE «Bratsk State University», Bratsk, 665707, Russia, serxiomed543@mail.ru

⁴FSBEI HE «Bratsk State University», Bratsk, 665707, Russia sesvard228@gmail.com

Abstract. *The problem of developing wet cohesive soil by earthmoving machines arises in all temperature ranges of the environment. This article discusses the issue of using one of the methods of combating soil adhesion to the excavator bucket, such as a combined method using piezoceramic emitters. During operation, piezoceramic transducers heat up, which, in combination with high-frequency vibration, produces a combined effect (thermoacoustic). Their action is based on the phenomenon of the inverse piezoelectric effect. The advantage of using piezoceramic emitters is their compactness and the possibility of uniform placement over the surface of the bucket. A review of the main physical and mechanical characteristics of piezoceramic emitters is given, and the most effective emitter is also selected for further use for cleaning the excavator bucket.*

Keywords: *adhesion, piezoelectric emitters, cleaning, bucket*

Постановка проблемы. При разработке влажных грунтов (особенно при минусовой температуре) происходит намерзание и налипание грунта на рабочие органы, что существенно снижает производительность экскаваторов. Это снижение – результат уменьшения полезной емкости ковшей за счет неполной выгрузки, роста сопротивления при копании в результате налипания влажного грунта к ковшу, увеличения сопротивления входа в ковш, роста простоев экскаваторов ввиду необходимости очистки ковшей. Также возрастают энергетические потери из-за роста сил трения, и ухудшается качество выполняемых работ. Доля силы трения при копании и планировке достигает 30-70% от общего сопротивления копанию, а производительность снижается в 1,2- 2 раза.

Существует четыре группы методов устранения адгезии грунтов к поверхностям рабочих органов землеройных машин: методы создания на границе контакта промежуточного слоя, методы, способствующие ослаблению адгезионных связей за счет внешнего (интенсифицирующего) воздействия, конструктивно-технологические методы, комбинированные методы. По характеру и принципу действия методы и средства для борьбы с прилипанием и примерзанием грунтов к рабочим органам землеройных машин можно разделить на профилактические средства (предотвращение адгезии) и средства для очистки ковша (восстановление эвакуирующей способности грунта) [1].

Известно, что наиболее эффективны для борьбы с адгезией грунта комбинированные методы, к которым относится применение пьезокерамических излучателей. При работе пьезокерамические преобразователи нагреваются, что в сочетании с высокочастотной вибрацией дает на выходе комбинированное воздействие (термоакустическое). Их действие основано на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта. Преимуществом использования пьезокерамических излучателей является их компактность и возможность равномерного размещения по поверхности ковша, что будет являться устройством для обогрева ковша и ультразвукового воздействия [2-4, 8-11].

Изложение основного материала. Рассмотрим пьезокерамические излучатели, наиболее подходящих для использования их на рабочих органах строительно-дорожных машин. Основные физико-механические характеристики пьезокерамических излучателей представлены в табл.1 [7,8].

Таблица 1. Основные физико-механические характеристики пьезокерамических излучателей

Параметр	Символ	Единица измерения	Марка материала			
			ЦТС-19	ЦТБС-3	ПКВ-460	PZT-40
Относительная диэлектрическая проницаемость	$\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$	1	1650	2325	1550	2325
Тангенс угла диэлектрических потерь в слабых полях при $E=25\text{кВ/м}$	$\text{tg } \delta$	1	0,030	0,012	0,003	0,003
Коэффициент электромеханической связи	K_p	1	0,56	0,52	0,59	0,61
	K_{31}	1	0,29	0,30	0,33	0,35
	K_{33}	1	0,64	0,64	0,71	0,70
Пьезоэлектрический модуль	$(-) d_{31}$	10^{-12} Кл/Н	155	158	145	158
	d_{33}		360	360	315	360
Частота постоянна	N_p	Hz-m	2,00	2,4	2,24	2,40
Скорость звука	v_{E1}	10^3 м/с	2,95	3,47	3,15	3,6
Упругая податливость	S_{E11}	$10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$	15,80	11,10	12,70	10,00
	S_{E33}		16,80	13,90	15,30	12,4
Коэффициент Пуассона	σ	1	0,38	0,30	0,32	0,29
Предел механической прочности при статическом растяжении/сжатии, не менее	$\sigma_{\text{раст.}}$	10^6 Н/м^2	не нормир.	21,60	18,60	21,60
	$\sigma_{\text{сжат.}}$		294	392	400	350
Механическая добротность	Q_m	1	90	200	1200	1500
Точка Кюри	T_c	$^{\circ}\text{C}$	290	180	295	330
Плотность	ρ	10^3 кг/м^3	7,4	7,2	7,60	7,7

При выборе материала для пьезокерамических пластин, был выбран сегнетоэлектрический материал PZT-40 (рис.1). Этот материал обладает высокой механической добротностью $Q_m = 1500$. Высокое значение добротности необходимо для получения длительных ультразвуковых колебаний. Еще одно из требований, которое предъявляется данному материалу, это малые диэлектрические потери [5]. Диэлектрические потери определяются тангенсом угла диэлектрических потерь и данный материал полностью соответствует данному требованию $\tan(\delta) = 0,003$. Коэффициенты электромеханической связи k_p , k_{33} , k_{31} описывают способность пьезоэлемента преобразовывать энергию из электрической в механическую и наоборот. Каждый из этих коэффициентов должен иметь высокое значение, для качественной работы пьезокерамической шайбы $k_p = 0,61$, $k_{33} = 0,35$, $k_{31} = 0,70$. Плотность пьезокерамической пластины составляет $\rho = 7,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Температура Кюри $T_k = 330$ определяет предельную температуру, при которой наступает область фазового перехода в материале (тепловое движение молекул разрушает дипольную структуру материала и пьезоэлектрические свойства исчезают). d ($d_{33}=36$, $d_{31}=-160$) – пьезомодули (по направлению рабочих деформаций) определяют рабочий диапазон перемещений исполнительного устройства [9].

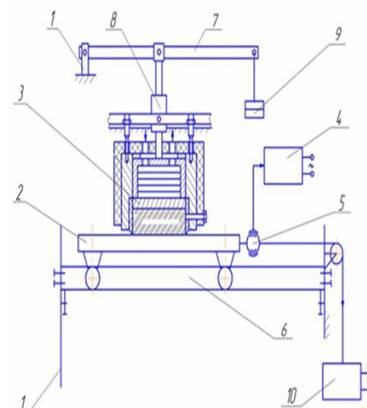
Все эти характеристики говорят о том, что PZT-40 отлично подходит при выборе материала для пьезокерамических дисков.



Рис. 1. Дисковый пьезокерамический излучатель PZT-40



а)



б)

Рис. 2. Сдвиговой стенд:

- а – лабораторная установка; б – принципиальная схема;
 1 – рама; 2 – каретка; 3 – обойма; 4 – тензометрическая аппаратура;
 5 – тензометрический датчик; 6 – направляющая;
 7 – нагрузочный рычаг; 8 – втулка; 9 – груз; 10 – приводной механизм

Для оценки эффективности использования дискового пьезокерамического излучателя PZT-40 планируется произвести эксперименты на стенде сдвигового типа при различной температуре окружающей среды (рис. 2) [7]. Сдвиговой стенд позволяет определить сдвиговое усилие, которое возникает при взаимодействии грунта с имитатором ковша, когда на зону контакта не действует тепловое излучение, при различной внешней температуре и различном давлении прижатия и сравнить его со значениями сдвигового усилия при действии дискового пьезокерамического излучателя.

Выводы. Применение пьезокерамических излучателей является перспективным методом снижения адгезии грунтов к ковшам экскаваторов. При работе пьезокерамические преобразователи нагреваются, что в сочетании с высокочастотной вибрацией дает на выходе комбинированное воздействие (термоакустическое). Их действие основано на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта. Преимуществом использования пьезокерамических излучателей является их компактность и возможность равномерного размещения по поверхности ковша.

Список литературы

1. Средства и способы предотвращения прилипания и примерзания горной массы к металлическим рабочим поверхностям // Сборник научных трудов. – Челябинск: НИИОГР, 1972. 36 с.;
2. Зеньков, С.А. Влияние ультразвукового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 2. С. 43-45.;
3. Зеньков, С.А. Устранение налипания грунта на рабочие органы землеройных машин с использованием пьезокерамических излучателей / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев, А.С. Филонов, Н.А. Балахонов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 1. С. 64-72.;
4. Зеньков, С.А. Снижение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи высокочастотного воздействия / С.А. Зеньков, А.С. Козик, О.А. Буйлов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2011. Т. 2. С. 88-92.;
5. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники [Текст]: в 2-х т. / С.П. Кундас, В.Л. Ланин М.Д. Тявловский и др. Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. – Мн.: Бестпринт, 2002. – 404 с.;
6. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Карев П.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб: Университет ИТМО, 2017 – 134 с.;
7. Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Зеньков С.А., Журавчук С.В. Сдвиговой стенд // Авторское свидетельство SU 1310696 A1, 15.05.1987. Заявка № 3992052 от 12.12.1985.;
8. Piezoelectric ceramic supplier | soft & hard piezo ceramic materials | In HS [<https://www.he-shuai.com/>];
9. Пьезокерамика Аврора-ЭЛМА [<https://avrora-elma.ru/>];
10. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники [Текст]: в 2-х т. / С.П. Кундас, В.Л. Ланин М.Д. Тявловский и др. Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. – Мн.: Бестпринт, 2002. – 404 с.;
11. Zenkov S.A., Kirichenko O.P., Mineev D.A. Reducing adhesion of soil to the earth-moving machines using piezoceramic transducers // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2017. № 4. С. 56-58.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ДОСТАВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К СТАРТОВЫМ ПЛОЩАДКАМ

Е. А. Рожкова, А.В. Кустов

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, e_rozhok@vk.com

Аннотация. В данной статье представлен комплексный анализ эффективности различных видов транспорта для доставки космических аппаратов к стартовым площадкам. Рассматриваемая проблема приобретает особую актуальность в условиях быстрорастущей космической индустрии, требующей своевременной, безопасной и экономически обоснованной доставки спутников и другого космического оборудования. Исследование охватывает четыре основных вида транспорта: автомобильный, железнодорожный, водный и авиационный, оценивая их сильные и слабые стороны с учетом специфических требований, предъявляемых к транспортировке КА. В статье анализируются ключевые критерии эффективности, такие как надёжность, скорость доставки, габаритно-весовые ограничения, адаптация к климатическим условиям, экологичность и безопасность. Для каждого вида транспорта приводятся примеры использования, рассматриваются специализированные транспортные средства и технологии, применяемые для минимизации рисков, связанных с конкретными условиями транспортировки, включая расстояние, сроки доставки, габариты и вес КА, а также доступность инфраструктуры. В статье подчёркивается, что универсального решения не существует, и эффективное решение требует комплексного анализа всех факторов и учёта взаимосвязей между ними. Выводы содержат рекомендации по выбору оптимального варианта доставки в зависимости от различных сценариев и подчёркивают важность интеграции различных видов транспорта для повышения общей эффективности логистической цепочки.

Ключевые слова: космические аппараты, транспортировка, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, водный транспорт, авиационный транспорт.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF VARIOUS VEHICLES FOR DELIVERING SPACE VEHICLES TO LAUNCH SITES

E. A. Rozhkova, A.V. Kustov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31,
Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e_rozhok@vk.com

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of the efficiency of various modes of transport for delivering spacecraft to launch pads. The problem under consideration is particularly relevant in the context of the rapidly growing space industry, which requires timely, safe and cost-effective delivery of satellites and other space equipment. The study covers four main modes of transport: road, rail, water and air, assessing their strengths and weaknesses taking into account the specific requirements for spacecraft transportation. The article analyzes key efficiency criteria, such as reliability, delivery speed, size and weight limitations, adaptation to climatic conditions, environmental friendliness and safety. For each mode of transport, examples of use are given, specialized vehicles and technologies are considered that are used to minimize the risks associated with specific transportation conditions, including distance, delivery times, spacecraft dimensions and weight, as well as infrastructure availability. The article emphasizes that there is no universal solution, and an effective solution requires a comprehensive analysis of all factors and consideration of the interrelations between them. The conclusions contain recommendations for choosing the optimal delivery option depending on various scenarios and emphasize the importance of integrating different modes of transport to improve the overall efficiency of the logistics chain.

Keywords: spacecraft, transportation, automobile transport, rail transport, water transport, air transport.

Постановка проблемы. Космическая индустрия переживает период бурного роста, характеризующийся увеличением количества запускаемых космических аппаратов (КА), особенно спутников различного назначения. Обеспечение своевременной и безопасной доставки этих КА к стартовым площадкам является критически важным элементом успешной реализации космических программ. Однако транспортировка КА представляет собой сложную логистическую задачу, требующую использования специализированных транспортных средств и строгого соблюдения технологических процессов.

Эффективность процесса транспортировки напрямую влияет на общую стоимость, сроки реализации и безопасность космических миссий. В настоящее время для доставки космических аппаратов используются различные виды транспорта, в том числе автомобильный, железнодорожный, водный и авиационный. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки, обусловленные специфическими характеристиками космических аппаратов (габариты, масса, чувствительность к внешним воздействиям), географическим расположением стартовых площадок и инфраструктурными ограничениями.

Существующие исследования в области космической логистики часто фокусируются на оптимизации маршрутов и сокращении сроков, необходимых для обеспечения надёжности и безопасности космических миссий при оптимальных затратах.

Введение. Проблема эффективной и надёжной доставки КА к стартовым площадкам приобретает всё большую актуальность. Для транспортировки используются специализированные транспортные средства, такие как:

1. Низкорамные платформы: обеспечивают устойчивое положение крупногабаритных КА и позволяют минимизировать вибрацию.

2. Термоконтейнеры: защищают КА от воздействия окружающей среды (температуры, влажности, загрязнений).

3. Амортизационные системы: минимизируют ударные нагрузки и вибрации, критичные для чувствительной электроники и оптики КА.

Применяемые транспортные средства включают в себя:

- Автомобильный транспорт;
- Железнодорожный транспорт: применяется для доставки КА на большие расстояния, особенно при необходимости транспортировки крупногабаритных и тяжелых объектов;
- Водный транспорт (морской и речной): используется для доставки КА на большие расстояния, особенно при отсутствии других транспортных магистралей;
- Авиационный транспорт: применяется для оперативной доставки КА, особенно в случаях, требующих срочной доставки или транспортировки на большие расстояния.

Критерии оценки эффективности транспортных средств. Для эффективной доставки космических аппаратов к стартовой площадке требуется комплексный подход, в котором ключевыми критериями являются надёжность, экономичность и скорость. Надёжность, определяемая вероятностью успешной доставки без повреждений, требует анализа рисков и технической экспертизы.

Высокая надёжность критически важна, поскольку повреждение КА может привести к срыву миссии и значительным финансовым потерям. Эффективность, качество и надёжность транспортной доставки являются ключевыми понятиями при управлении доставкой товаров, поскольку именно с их помощью конкретизируются цели, которые ставят перед собой участники транспортного процесса. Хотя эти понятия часто используются по отдельности, между ними существует определённая взаимосвязь. [1]

Для выбора оптимального транспортного решения также необходимо учитывать габариты и вес, климатические условия, требования к инфраструктуре, экологичность и безопасность.

Анализ эффективности автомобильного транспорта. Автомобильный транспорт (АТ) играет важную роль в логистической цепочке доставки космических аппаратов, особенно на завершающих этапах, обеспечивая связь между производственными комплексами, испытательными полигонами и стартовыми площадками космодромов.

Одним из ключевых преимуществ АТ является его гибкость и способность осуществлять доставку «от двери до двери». Это особенно ценно при транспортировке чувствительных КА, поскольку исключает необходимость в промежуточных перегрузках, которые потенциально увеличивают риск повреждений. На сравнительно небольших расстояниях автомобильный транспорт часто демонстрирует более высокую экономическую эффективность по сравнению с железнодорожным, водным или авиационным транспортом благодаря меньшим операционным издержкам и упрощенной логистике.



а)



б)

Рис. 1. а) - пример перевозки контейнера с космическим аппаратом на автомобильном транспорте; б) - перевозка ракеты-носителя на железнодорожном транспорте.

Важным аспектом является использование специализированного транспорта, спроектированного с учетом особенностей КА. Например, компания «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» разработала модернизированный транспортировочный контейнер, предназначенный для доставки КА на космодромы различными видами транспорта. Этот контейнер, оснащенный грузоподъемным оборудованием, в частности опорой-кантователем для придания КА необходимого пространственного положения, а также передовыми инженерными системами для поддержания оптимального микроклимата, способствует сокращению времени предполетной подготовки на космодроме [2].

Помимо этого, к специализированному транспорту относятся низкорамные платформы, обеспечивающие устойчивое положение крупногабаритных грузов, климатические контейнеры (термоконтейнеры), поддерживающие заданные параметры температуры и влажности, амортизационные системы, эффективно снижающие вибрацию и ударные нагрузки, и транспортные средства с пневматической подвеской, гарантирующие плавность хода и минимизацию динамических воздействий на груз.

Несмотря на существенные преимущества, автомобильный транспорт имеет ряд ограничений. К ним относятся ограничения по габаритам и массе груза, что может создавать препятствия при транспортировке крупных космических аппаратов или их составных частей. Зависимость от состояния дорожной инфраструктуры и погодных условий также является критическим фактором, поскольку неблагоприятные условия могут приводить к задержкам и повышать риск аварий. Ограниченная дальность транспортировки делает автомобильный транспорт менее привлекательным для перевозок на большие расстояния.

Анализ эффективности железнодорожного транспорта. Железнодорожный транспорт играет важную роль в логистике доставки космических аппаратов, особенно на средние и дальние расстояния, где требуется транспортировка крупногабаритных и тяжёлых грузов. Одним из ключевых преимуществ железнодорожного транспорта является возможность перевозки грузов большого объёма и веса на значительные расстояния, что делает его незаменимым при доставке блоков ракет-носителей, крупных спутников и прочего оборудования, необходимого для реализации космических миссий.

Например, доставка компонентов ракет-носителей «Союз» на космодром Байконур традиционно осуществляется по железной дороге, что обусловлено большими габаритами и весом этих грузов. Кроме того, на больших расстояниях железнодорожные перевозки часто оказываются более экономичными по сравнению с автомобильными или авиаперевозками, обеспечивая снижение логистических издержек.

Однако железнодорожный транспорт имеет ряд ограничений. Ограниченная гибкость и зависимость от железнодорожной инфраструктуры не позволяют доставлять грузы

непосредственно «от двери до двери», что требует перегрузки на другие виды транспорта на конечном этапе маршрута, увеличивая время, затраты и риск повреждения.

Например, при доставке КА на космодром «Восточный» железнодорожный транспорт используется до определенной станции, после чего груз перегружается на автомобильные платформы для доставки непосредственно на территорию космодрома. Риск повреждения груза при маневрах и транспортировке по неровным участкам пути также является существенным фактором, требующим принятия специальных мер для защиты чувствительной аппаратуры КА от ударных и вибрационных нагрузок. Для повышения эффективности и безопасности транспортировки КА по железной дороге необходимо использовать специализированные вагоны и платформы, оборудованные системами крепления и амортизации, обеспечивающими сохранность груза.

Анализ эффективности водного транспорта. Водный транспорт, включающий морские и речные перевозки, играет важную роль в логистике доставки космических аппаратов (КА), особенно для транспортировки на большие расстояния и в случаях, когда другие виды транспорта ограничены или недоступны.

Одним из ключевых преимуществ водного транспорта является возможность перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов на очень большие расстояния. Это делает его незаменимым для доставки компонентов ракет-носителей, крупных спутников и другого оборудования между континентами или в отдалённые районы, где нет развитой железнодорожной или автомобильной сети.

Однако водный транспорт имеет и ряд существенных недостатков. Продолжительность транспортировки является одним из главных ограничений, поскольку морские и речные перевозки занимают значительно больше времени, чем автомобильные, железнодорожные или авиационные. Зависимость от погодных условий также является серьезным фактором риска, поскольку штормы, туманы и другие неблагоприятные погодные явления могут привести к задержкам и повреждению груза. Необходимость перегрузки груза в портах также увеличивает время и стоимость доставки, а также повышает риск повреждения КА.

Для минимизации рисков и повышения эффективности водных перевозок КА необходимо использовать специализированные суда, такие как ролкеры и баржи, оборудованные системами крепления и стабилизации груза, а также климатическими установками для поддержания оптимальных условий хранения. Также важно тщательно планировать маршрут с учетом погодных условий и наличия портовой инфраструктуры, а также страховать груз от всех видов рисков. Примером специализированного судна является морское судно «Sea Launch Commander», которое использовалось для транспортировки ракет-носителей и спутников в рамках программы «Морской старт».



а)



б)

Рис. 3. а) Пример перевозки космического аппарата на «Sea Launch Commander»;
б) Перевозка космического аппарата на Ан-124 до космодрома.

Анализ эффективности авиационного транспорта. Авиационный транспорт играет особую роль в логистической цепочке доставки космических аппаратов, особенно в тех случаях, когда требуется оперативная доставка грузов на большие расстояния или в труднодоступные регионы, где другие виды транспорта ограничены или отсутствуют.

Одним из ключевых преимуществ авиационного транспорта является высокая скорость доставки, что позволяет значительно сократить время транспортировки космических аппаратов и их компонентов по сравнению с другими видами транспорта. Это особенно важно в ситуациях, когда сжатые сроки запуска или необходимость оперативной замены вышедшего из строя оборудования являются критическими факторами, а доставка обходится значительно дороже, чем автомобильная, железнодорожная или водная. Ограничения по габаритам и массе груза также могут создавать проблемы при транспортировке крупных и тяжелых компонентов космических аппаратов. Зависимость от погодных условий также является серьезным фактором риска, поскольку полеты могут быть отменены или задержаны из-за неблагоприятных погодных условий. Например, доставка небольших спутников на космодром Куру по воздуху оправдана необходимостью соблюдения жестких сроков запуска, несмотря на высокую стоимость перевозки.

Для минимизации рисков и повышения эффективности авиaperевозок КА необходимо использовать специализированные грузовые самолёты, такие как Ан-124 «Руслан» или Boeing 747, оборудованные системами крепления и амортизации груза, а также климатическими установками для поддержания оптимальных условий хранения.

Также важно тщательно планировать маршрут с учётом погодных условий и наличия необходимой аэродромной инфраструктуры, а также страховать груз от всех видов рисков. Следует отметить, что разработаны специализированные контейнеры для космических аппаратов, предназначенные для перевозки в грузовых отсеках самолётов и обеспечивающие защиту от вибрации, ударов и перепадов давления.

Выводы. Анализ различных видов транспорта для доставки КА показывает, что универсального решения не существует. Выбор оптимального варианта — сложная задача, требующая учёта множества взаимосвязанных факторов. Характеристики КА (габариты, масса, чувствительность), расстояние, сроки, инфраструктура, погодные условия и стоимость — всё это необходимо учитывать при принятии решения.

Автомобильный транспорт удобен для гибкой доставки на короткие расстояния, но имеет ограничения по размеру и весу. Железнодорожный транспорт эффективен для перевозки крупногабаритных грузов на средние и дальние расстояния, но требует перегрузки. Водный транспорт экономичен для дальних перевозок, но медленный и зависит от погоды. Авиационный транспорт обеспечивает высокую скорость, но стоит дорого и также имеет ограничения.

Список литературы

1. Мухина А. А., Сярдова О. М. Проблемы оценки эффективности транспортного обеспечения // Экономика и социум. 2016. №4-1 (23).
2. Оборудование для транспортировки спутников [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iss-reshetnev.ru/media/news/news-190624?ysclid=m8b6wyx77130125481> (дата обращения: 12.03.2025).
3. ГОСТ Р 56525-2015. Аппараты космические автоматические. Общие требования к транспортированию.

УДК 621.87

ТЕХНОЛОГИЯ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ САМОПРОНИКАЮЩЕЙ ЗАКЛЕПКИ (SPR)

Ли Цзэлун, М.А. Дудин, Е.С. Мелкозеров

ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, 620062, Россия, max.dudin04@mail.ru

Аннотация. В автомобилестроении сегодня всё большую популярность приобретают сплавы на основе алюминия. Благодаря своей устойчивости к коррозионным процессам, отличной теплопроводности и другим полезным свойствам, эти материалы активно внедряются производителями. Уменьшение веса транспортных средств, достигаемое применением высокопрочных алюминиевых компонентов, способствует существенному сокращению углекислотных выбросов и оптимизации расхода топлива. Метод самопроникающей (полупустотельной) заклепки (SPR) позволяет соединять различные материалы, прочность стыка соединения SPR выше, чем прочность точечной сварки для алюминиевых сплавов, а процесс соединения деталей занимает 4 секунды. В статье проведен обзор литературы по технологии SPR, с целью определения состояния развития, существующих проблем и будущих тенденций.

Ключевые слова: Метод самопроникающей (полупустотельной) заклепки (SPR), прочность, алюминиевый сплав, метод соединения, качество соединения.

TECHNOLOGY OF JOINING CAR PARTS BY SELF-PENETRATION RIVET (SPR)

Li Zelong, M.A. Dudin, E.S. Melkozerov

FSAEI HE «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin», 620062, Russia, max.dudin04@mail.ru

Abstract. Aluminum-based alloys are becoming increasingly popular in the automotive industry today. Due to their resistance to corrosion processes, excellent thermal conductivity and other useful properties, these materials are actively introduced by manufacturers. Reducing the weight of vehicles, achieved by using high-strength aluminum components, helps to significantly reduce carbon dioxide emissions and optimize fuel consumption. The self-penetrating (semi-hollow) rivet (SPR) method allows joining various materials, the joint strength of the SPR joint is higher than the strength of spot welding for aluminum alloys, and the process of joining parts takes 4 seconds. The article provides a literature review on SPR technology in order to determine the state of development, existing problems and future trends.

Keywords: Self-piercing (semi-hollow) rivet (SPR) method, strength, aluminum alloy, joining method, joint quality.

Введение

В производстве транспортных средств широко используется метод крепления с помощью SPR-заклепок. Данная технология позволяет обойтись без предварительного сверления, соединяя компоненты различных типов и толщины. Автомобилестроители особенно ценят этот крепежный способ за его выдающуюся устойчивость к вибрациям и усталостным нагрузкам, а также исключительную прочность соединения. Благодаря этим преимуществам SPR-заклепки нашли активное применение в автомобильной индустрии.

Автомобильная индустрия сегодня активно внедряет технологию SPR в качестве ведущего метода крепления. Эта технология завоевывает позиции благодаря способности создавать легкие, прочные соединения из различных материалов, что отвечает современным требованиям производства. Заклепки SPR стали незаменимыми в изготовлении множества автомобильных элементов - от компонентов кузова и крыши до частей дверей, шасси и подвесок, подтверждая свою возрастающую роль в современном автомобилестроении.

Цель исследования – в работе представлен обзор исследований, посвященных технологии SPR Rivet (самопроникающих заклепок). В публикации анализируются не только достигнутые успехи, но и существующие проблемы в этой сфере. Прогностическая оценка будущих изменений SPR-технологии сочетается с детальным изучением перспективных векторов её дальнейшего совершенствования.

5. Соединительные технологии в автомобилестроении

Алюминиевый сплав, как легкий и высокопрочный материал, имеет широкое применение в автомобильной промышленности. Использование алюминия позволяет не

только уменьшить массу конструкции, но и повысить топливную экономичность автомобиля и снизить выбросы углекислого газа. В настоящее время материалы из алюминиевых сплавов в основном используются в деталях кузова автомобиля. Однако из-за особых свойств материала, традиционные методы соединения, такие как болтовые соединения, вытяжная клепка, ударная клепка и т. д., не удовлетворяют требованиям технологического процесса, поэтому за последние несколько десятилетий появилось много новых технологий для соединения деталей из алюминия.

Различные материалы имеют разные свойства и поэтому для их соединения в готовый кузов используются различные методы соединения. На рис. 1 показаны соединительные технологии, применяемые в производстве каркаса AUDI A8.

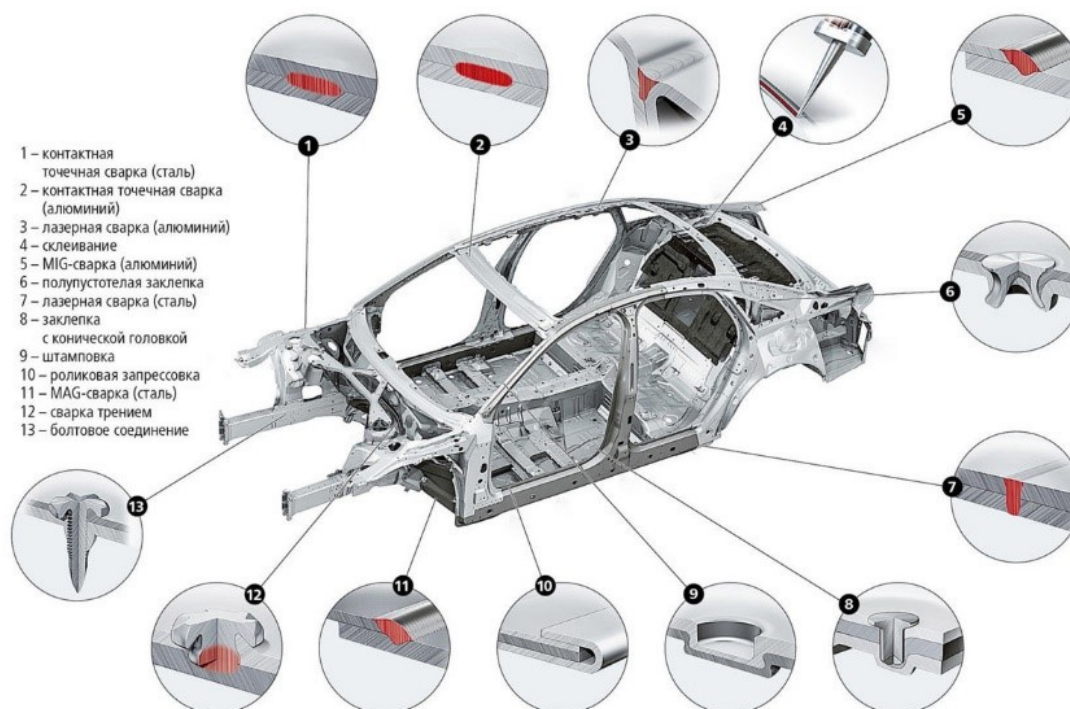


Рис. 1. Соединительные технологии, применяемых в производстве каркаса AUDI A8

К современным механическим способам соединения деталей из алюминиевого сплава можно отнести самопроникающую клепку (SPR), беззаклепочное соединение (Clinch), технологию Flow Drill Screw (FDS), клеевое соединение, метод сдвиговой экструзии. Инновации в механических методах соединения позволяют создавать более легкие, прочные и долговечные автомобили, тем самым улучшая их эксплуатационные характеристики и снижая углеродный след.

6. Метод самопроникающей заклепки (SPR)

Метод самопроникающей (полупустотельной) заклепки (SPR) — это технология холодного соединения двух или более металлических листов. Основной принцип заключается в том, что заклепки проникают под действием осевой силы индентора в первый слой и средний слой материала, расширяются и врезаются из-за пластической деформации в нижнюю пластину, образуя заклепочное соединение (рис. 2). Метод SPR имеет свои уникальные преимущества: экономичность, долговечность работы и высокая эффективность, тем более прочность соединения относительно высока. Ее можно объединять с методами клеевого соединения для увеличения прочности и уменьшения коррозии. Технология позволяет соединять различные материалы, прочность стыка соединения SPR выше, чем прочность точечной сварки для алюминиевых сплавов, а процесс соединения деталей занимает 4 секунды.

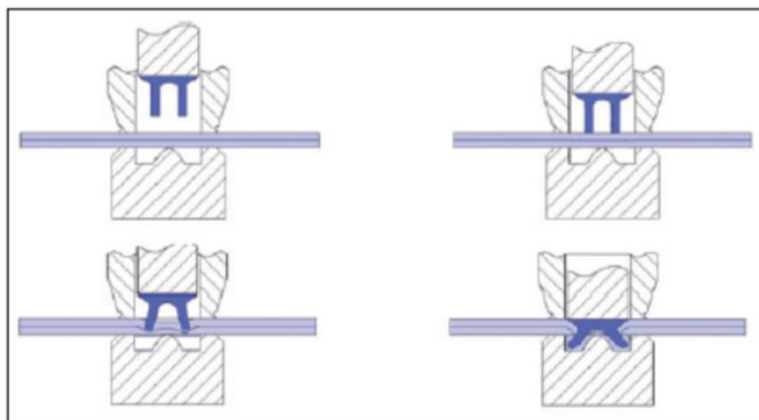


Рис. 2. Схема выполнения соединения SPR

3. Обзор исследований, посвященных технологии SPR

Самопроникающая заклепка — относительно новый процесс соединения листовых металлов в автомобильной промышленности. Его значение в автомобильной промышленности растет из-за его преимуществ по сравнению с точечной сваркой алюминиевых сплавов. Исследованием свойств этого соединения занимаются многие научные коллективы.

Коллектив авторов [1] через эксперименты установил, что толщины соединяемых пластин оказывают наибольшее влияние на усталостную прочность соединения SPR, даже превосходит влияние от формы и самих заклепок. Отношение толщины нижней пластины к общей толщине имеет большее влияние на статическую прочность соединения. Приведены экспериментальные данные о влиянии нескольких переменных процесса, таких как диаметр заклепки, длина заклепки, твердость заклепки, толщина листа и форма штампа, на статические и усталостные свойства самопроникающих заклепочных соединений из алюминиевого сплава, проведен статистический анализ для изучения относительной важности этих переменных для статических и усталостных характеристик соединений.

Исследователи [2] через моделирование для алюминиевого сплава 6063 обнаружили, что, когда высота бобышки и глубина формы мала, эффект клепки получается лучше, а скругление внутреннего диаметра в нижней части формы не оказывает очевидного влияния на качество соединения. Увеличение наружного диаметра формы может улучшить качество клепки. В статье [3] проведено исследование распределения одиночных и многоклепочных заклепочных соединений SPR и их режим разрушения. Результаты показывают, что статическая прочность и усталостная прочность многоклепочных соединений выше, чем у одиночных заклепочных соединений, а механические свойства заклепочных соединений с разными типами распределения, но в одном и том же количестве, может быть совершенно разным, поэтому необходимо разработать план целевого распределения.

Проведенные эксперименты [4] и сравнение методов клепки Clinch, SPR и точечной сварки (RSW) показали, что, хотя RSW показывает лучшую статическую прочность соединения для стальных пластин, но RSW плохо работает в случае соединения с алюминием. В этом случае прочность на сдвиг по методу SPR превышает прочность соединений Clinch и RSW. В исследовании [5] использовали два вида клея на основе эпоксидной смолы и тестировали прочность стыка клееклепанного соединения по SPR. В статье рассмотрено пять ситуаций, для каждого типа изготовлено по 8 образцов. Далее проведены испытания на прочность по сдвигу. Сделан вывод, что при использовании только клея разрушение соединения происходит мгновенно, показан характер хрупкого перелома, это является опасными для использования в автомобилестроении. Поэтому рекомендуется при выборе клея для комплексного соединения клеями и методом SPR, надо учитывать характеристики клея и место применения.

Для моделирования проблем, возникающие в процессе соединения SPR использовано программное обеспечение ABAQUS [6]. Смоделирован процесс SPR для двух материалов, AA6061 и DP591, и установлен механизм оценки качества соединения. Полученные результаты сравнивались с реальным экспериментом, в итоге подтвердили соответствие

установленной модели и реальной ситуации. В статье [7] экспериментально исследованы коррозионные эффекты стыка SPR из алюминиевого сплава 5052 в 0,6 моль/л растворе хлорида натрия и 0,02 моль/л растворе бисульфита натрия. В эксперименте пластины были соединены методом SPR, а затем периодически замачивались в жидкости на определенное время. Результаты показали, что прочность соединения на сдвиг увеличилась примерно на 3% после погружения в рассоле на 720 часов, но затем начала снижаться, а после выдержки от 1080 часов, прочность соединения на сдвиг уже стала ниже прочности основного материала. В кислой среде прочность на сдвиг стыка всё время снижалась, поэтому кислая среда оказывает большее негативное влияние на прочность соединения.

В статье [8] провели эксперименты по гибриднему соединению из ультразвуковой сварки и метода SPR. Сделаны выводы: 1. Ультразвуковая вибрация эффективно улучшает статические свойства соединений SPR, поскольку ультразвуковая сварка металла образует прочное соединение между соединительными пластинами при использовании вместе с процессом SPR. 2. Ультразвуковая сварка значительно улучшает максимальное значение сдвиговой нагрузки, смещение при разрушении и значение поглощения энергии соединения.

Исследован процесс SPR-соединения для сверхтвёрдого алюминиевого сплава серии 7000 [9], используя горячий метод заклепки SPR. Сделаны следующие выводы: 1. Твёрдость стыка, полученного по методу заклепки SPR после искусственного старения при температуре 400°C, близка к заклепке при комнатной температуре. 2. В соединениях SPR, заклепанных при нормальной температуре, возникает сильное растрескивание из-за низкой прочности материала. 3. При повышении температуры свыше 200°C, размягчение материала приводит к увеличению глубины проникновения заклепки, что приводит к хорошему качеству формирования стыка, оптимальная температура для клепки SPR составляет от 350°C до 400°C.

Заключение

За последние десять лет технология самопроникающей (полупустотельной) заклепки (SPR) активно начала использоваться в автомобильной промышленности. К основным направлениям текущих исследований относятся: улучшение механических свойств соединений (таких как схема соединения, термообработка, покрытие поверхности и т. д.); оптимизация технологических параметров штампов и формы для соединения однородных и разнородных материалов; анализ усталостной прочности и ударопрочности соединений; трещинообразование и микроструктура трещин; исследования по динамической коррозии; моделирование процессов образования, растрескивания и разрушения соединений; процесс автоматизации SPR процессов и другие.

Список литературы

1. Fu Maofeng, Mallick P K. Effect of process variables on the static and fatigue properties of self-piercing riveted joints in aluminum alloy 5754 [R]. SAE Technical Paper, 2001:9-12.
2. Liu Xiuquan, Zhang Lianhong, Li Shuangyi, et al. Finite element numerical simulation of self-piercing riveting process [J]. Automotive Technology, (In Chinese), № 12, 2006:42-45.
3. Xing B, He X, Zeng K, et al. Mechanical properties of self-piercing riveted joints in aluminum alloy 5052 [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Volume 75, № 1, 2014:351-361.
4. Huang Zhichao, Liu Xiaokun, et al. Joining Strength Comparison among Self-piercing Riveting, Clinching and Resistance Spot Welding [J]. China Mechanical Engineering, Volume 23, № 20, 2012:2487-2491. DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.20.019
5. Liu Fulong, He Xiaocong, et al. Influence of Adhesive on Strength of Self-piercing Riveted Joints [J]. Thermal processing technology, Volume 43, № 9, 2014:29-32.
6. Yan Keying. Research on self piercing riveting process and failure model of steel and aluminum [M]. Dissertation for the Degree of Master, Hunan University of Science and Technology, 2021.
7. Jin Wenhao, Xing Baoying, He Xiaocong, et al. Study on Static Properties of Self-piercing Riveted Joints in Aluminum Alloy Under Different Corrosive Environments [J]. Materials reports. Volume 33, № 8, 2019:2725-2728. www.mater-rep.com
8. Huo Xiaole, Zhao Lun, et al. Effect of ultrasonic vibration static properties of 5A06 aluminum alloy self-piercing riveting joints [J]. Materials science and technology. Vol. 31, № 2, 2023:44-49. DOI:10.11951/j.issn.1005-0299.20220208
9. Dai Jingchao. Research on Mechanical Behavior of Thermal Self-piercing Riveting for Automotive High Strength Aluminum Alloy [M]. Dissertation for the Degree of Master, Dalian University of Technology, Dalian, China, 2018.

ОБЗОР БЕСПИЛОТНЫХ СЕРВИСНЫХ КАТАМАРАНОВ

А.А. Зубцова¹, А.В. Попович², С.И. Рошчупкин³¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, zubtsovaa2711@gmail.com²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, popovich.toxa@mail.ru³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, siroshchupkin@sevsu.ru

Аннотация. Большое количество мусора в Тихом океане является серьезной экологической проблемой, в связи с чем большое количество стран стараются разработать беспилотных сервисных катамаранов, предназначенных для очистки водоемов от мусора. Описываются конструкции имеющихся аппаратов, технические характеристики и принцип работы.

Ключевые слова: Беспилотный сервисный катамаран, загрязнение водных акваторий, конструкция, масляные пятна, морской мусор, радиоуправляемое наведение, сбор мусора.

THE REVIEW OF UNMANNED SERVICE CATAMARANS

A.A. Zubtsova¹, A.V. Popovich², S.I. Roshchupkin³¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, zubtsovaa2711@gmail.com²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, popovich.toxa@mail.ru³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, siroshchupkin@sevsu.ru

Abstract. The large amount of garbage in the Pacific Ocean is a serious environmental problem, which is why a large number of countries are trying to develop unmanned service catamarans designed to clean water bodies from debris. The designs of the available devices, technical characteristics and the principle of operation are described.

Keywords: Unmanned service catamaran, pollution of water areas, construction, oil stains, marine debris, radio-controlled guidance, garbage collection.

Введение

Известно, что морской мусор является большой проблемой, которая ставит под угрозу целостность всей экосистемы океана. Достаточно вспомнить Большое тихоокеанское мусорное пятно, которое размерами с три Франции и в котором содержится примерно 100 млн тонн мусора, 80% которого наземного происхождения. То есть это тот мусор, который сначала плавает в наших акваториях, а потом течениями относится в океан и в результате получаем так называемый Восточный мусорный континент. Данную проблему создает человечество и, к сожалению, не спешит решать. Море является важным ресурсом для людей и его сохранение ставит перед инженерами большое количество различных задач, одной из которых является сбор мусора.

Цель – обзор различных образцов беспилотных катамаранов для осуществления сервисных функций в ограниченных портовых акваториях, яхт-клубах, базах – стоянках, муниципальных и ведомственных пляжах, городских набережных.

Обзор беспилотных сервисных катамаранов

Существует специальная уборочная техника различных видов, назначений и размеров. Российский рынок техники для уборки морского мусора предлагает массивные, тихоходные и неповоротливые суда, поэтому ее применение рентабельно на больших площадях и масштабных загрязнениях, но не для городских пляжей, яхт-клубов и бухт. В данной статье, был приведен обзор имеющихся беспилотных сервисных катамаранов. На рисунках 1- 3 представлен их общий вид.

1. **WasteShark** (рис.1) представляет собой небольшое автономное надводное судно (ASV), которое отличается эффективной утилизацией водных отходов. Благодаря прочной конструкции, напоминающей небольшой катамаран с корзиной, расположенной по центру

между корпусами, WasteShark интегрирует широкий спектр датчиков и передовых технологий.



Рис. 1. Общий вид WasteShark



Рис. 2. Общий вид Jellyfishbot

Ручная модель WasteShark позволяет пользователям управлять работой дрона, обеспечивая адаптивность в ситуациях реального времени. С помощью этой модели пользователи могут вручную управлять WasteShark по водоемам и выбирать конкретные районы для сбора отходов или данных.

Конструкция - катамаран с корзиной, расположенной по центру между корпусами. Габариты - длина: 157 см, высота: 52 см, ширина: 109 см. Вес – 72 кг. Максимальная скорость - 3 км/ч. Время работы - 8 часа. Радиоуправляемое наведение – автономно или дистанционно. Двигательная установка - 2 электрических двигателя. Аппарат характеризуют нулевые парниковые выбросы, простота в эксплуатации, высокая стоимость, транспортабельность, радиоуправляемое наведение, возможность автономной работы.

2. Автономный, надежный и удобный **Jellyfishbot** (рис. 2) — это многоцелевое решение для сбора отходов и углеводородов на поверхности водоемов. Предназначен для всех: портов, пристаней, развлекательных и спортивных сооружений, гостиниц, кемпингов, промышленных объектов и рабочих площадок, верфей, а также научно-исследовательских институтов.

Конструкция - катамаран с корзиной, расположенной по центру между корпусами. Габариты - длина: 70см, высота: 50 см, ширина: 70 см. Вес – 18 кг. Максимальная скорость - 3 км/ч. Время работы – 6-8 часов. Радиоуправляемое наведение – автономно или дистанционно. Двигательная установка – 3 электрических двигателя.

3. **PixieDrone** (рис. 3) — это беспилотник, который собирает плавающие отходы. С дистанционным управлением или полностью автономно, они позволяют быстро принимать меры после определения мест сбора отходов.



Рис. 3. Общий вид PixieDrone



Рис. 4. Общий вид прототипа беспилотного сервисного катамарана

PixieDrone оснащен видеокамерой и технологией LIDAR, позволяющей обходить препятствия. Запустите свой беспилотник и следите за его активностью через веб-приложение.

Конструкция - катамаран с корзиной, расположенной по центру между корпусами. Габариты - длина: 162 см, высота: 60,5 см, ширина: 115,7 см. Вес – 100 кг. Максимальная скорость - 3 км/ч. Время работы – 6 часов. Радиоуправляемое наведение – автономно или с помощью дистанционного управления. Двигательная установка – 2 электрических подруливающих.

СевГУ представляет свой вариант решения уборки мусора и масляных пятен на воде. Беспилотный сервисный катамаран рис.4 осуществляет функции по уборке мусора и топливных загрязнений в ограниченных портовых акваториях, при этом является компактным и не требует привлечения большого количества рабочей силы для управления им.

Инновационность разработки заключается в обеспечении заданных сервисных функций беспилотным способом, а также в возможности установления необходимого оборудования на достаточно компактный размер разработки.

Принцип работы беспилотного сервисного катамарана: электрический. Беспилотный сервисный катамаран приводится в движение двумя бесшумными погружными электродвигателями морского исполнения с водяным охлаждением и полимерными гребными винтами с комплектом защитных насадок.

Конструкция судна позволяет опционально размещать на фигурной навигационной мачте с изменяемым углом наклона различные электронные устройства: антенны, видеокамеры оптического и инфракрасного спектров, громкоговорители, проблесковые огни.

Материал корпуса: экологически чистый материал, способный к полной утилизации через вторичное использование (листовой ПНД или ПП).

Система энергоснабжения беспилотного сервисного катамарана: комбинированная: возобновляемая энергия от солнечной панели с контроллером заряда; накопленная энергия в Литий-Железо-Фосфатных аккумуляторах морского исполнения с зарядными блоками от бытовой электросети.

Особое преимущество представляемого судна заключается в его транспортной мобильности. За один день можно спустить катамаран на воду в совершенно различных частях города, за счет его компактности, легкости и возможности перевозки в легковом автомобиле класса «универсал», что невозможно сделать классическому уборщику мусора на базе баркаса.

Размеры беспилотного сервисного катамарана: длина по корпусу: 1600 мм; общая длина: 2900 мм; ширина по корпусу: 1200 мм; высота по корпусу: 900 мм; общая транспортная высота: 1100 мм; масса: 70 кг.

Перемещение судна по суше осуществляется с помощью легкоъемных колесных блоков усилием 1-2 человек.

Спуск на воду и подъем из воды с оборудованного причала высотой до 0.8м реализуется вручную усилиями 2 человек. Спуск – подъем с более высокого причала или борта судна воплощается штатными подъемными механизмами за сбалансированные точки крепления на корпусе катамарана.

Конструкция судна позволяет извлекать и поднимать на сушу для очистки полезную нагрузку (сетку с мусором) не поднимая катамаран на берег.

Управление катамараном происходит за счет многоканальной радиосистемы одним человеком. Дальность радиосигнала управления более 50 метров.

По своим характеристикам разрабатываемый беспилотный сервисный катамаран не уступает существующим зарубежным аналогам, а в некоторых конструкторских решениях превосходит их.

Локализация комплектующих: 75 – 80% Российские материалы, производственные возможности и технологии.

Заключение

Можно сделать вывод, что на Российском рынке не существует малогабаритных сервисных катамаранов, которые могли бы помочь решить проблему загрязнения водных акваторий пластиком и другим мусором.

Список литературы

1. Большое тихоокеанское мусорное пятно: фото, площадь, размеры | РБК Тренды [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/64ba6b839a7947790f6010bc> - Дата обращения 09.04.2025.
2. WasteShark-RanMarine [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.ranmarine.io/products/wasteshark/> - Дата обращения 09.04.2025.
3. Морской беспилотник для сбора отходов - Jellyfishbot - IADYS - для измерения параметров окружающей среды / автономный блок / телеуправляемый [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.nauticexpo.ru/prod/iadys/product-70306-569245.html> - Дата обращения 09.04.2025.
4. PixieDrone | Mobile waste collector | The Searial Cleaners [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://searial-cleaners.com/our-cleaners/pixiedrone-mobile-waste-collector/> - Дата обращения 09.04.2025.

УДК 621.01

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МОРСКИХ БЕСПИЛОТНИКАХ

Н. В. Невров¹, И.И. Саглай², Г.В. Невар³

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, guliotipi@bk.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, saglayilya@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, Gvnevar@sevsu.ru

Аннотация. Рассматриваются надводные беспилотные аппараты (НБА), их характеристика, области применения и преимущества использования искусственного интеллекта (ИИ). Описаны ключевые технологии, такие как YOLO и другие ИИ-алгоритмы, которые повышают автономность и эффективность БЭК. Приведены примеры современных моделей, включая Seagull™ USV, Wave Glider, Saildrone и Sea Hunter, а также описаны их возможности. Особое внимание уделено проекту «Морской скорпион», созданному для мониторинга водной среды и сбора мусора.

Ключевые слова: Надводные беспилотные аппараты (НБА), искусственный интеллект, YOLO, автономная навигация, экологический мониторинг, Seagull™ USV, Wave Glider, Saildrone, Sea Hunter, проект «Морской скорпион», распознавание объектов, оптимизация маршрутов, мониторинг загрязнений.

THE MOVEMENT OF THE ROCKET IN AN ENVIRONMENT WITH RESISTANCE

N. V. Nevrov¹, I.I.Saglay² G.V. Nevar³

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, guliotipi@bk.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, saglayilya@mail.ru

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, Gvnevar@sevsu.ru

Abstract. The paper examines unmanned surface vessels (USVs), their characteristics, areas of application, and advantages of integrating artificial intelligence (AI). Key technologies, such as YOLO and other AI algorithms that enhance the autonomy and efficiency of USVs, are described. Examples of modern models, including Seagull™ USV, Wave Glider, Saildrone, and Sea Hunter, are presented along with their capabilities. Special attention is given to the "Marine Scorpion" project, developed for water environment monitoring and waste collection.

Keywords: Unmanned Surface Vessels (USVs), Artificial Intelligence, YOLO, Autonomous Navigation, Environmental Monitoring, Seagull™ USV, Wave Glider, Saildrone, Sea Hunter, "Marine Scorpion" Project, Object Recognition, Route Optimization, Pollution Monitoring.

Введение

Надводный беспилотный аппарат (НБА), также известный как безэкипажный катер (БЭК) — это судно, способное передвигаться по поверхности воды без экипажа на борту. Уровень автономности таких аппаратов варьируется от дистанционного управления оператором до полностью автономного режима, где судно самостоятельно принимает решения на основе встроенных алгоритмов. НБА оснащены различными сенсорами и системами навигации, позволяющими им выполнять поставленные задачи с высокой точностью.

С развитием технологий искусственного интеллекта надводные беспилотники становятся более интеллектуальными и функциональными. Они способны не только анализировать данные в режиме реального времени, но и адаптироваться к быстро меняющимся условиям. Это открывает новые возможности для использования НБА, делая их важным инструментом в решении глобальных задач, таких как безопасность, защита окружающей среды и научные исследования.

Цель исследования — анализ особенностей применения и интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ) в надводные беспилотные аппараты (НБА), с акцентом на их автономность, функциональные возможности и эффективность выполнения задач в различных сферах. Рассмотрены примеры использования ИИ-алгоритмов, включая YOLO, и возможностями их применения на практических моделях, таких как проект «Морской скорпион».

Области применения надводных беспилотников

НБА находят применение в разнообразных сферах:

- **Военные операции:** используются для разведки, противолодочной борьбы, разминирования и охраны акваторий. Например, израильская компания Elbit Systems разработала Seagull™ USV — многоцелевой НБА, предназначенный для противоминных и противолодочных операций.
- **Экологический мониторинг:** НБА применяются для сбора данных о состоянии водных ресурсов, мониторинга загрязнений и изучения морской флоры и фауны. Они способны проводить длительные миссии без необходимости возвращения на базу, что делает их незаменимыми в долгосрочных исследованиях.
- **Гидрографические исследования:** используются для картографирования дна, что важно для навигации, строительства морских сооружений и прокладки коммуникаций. НБА могут работать в труднодоступных и опасных районах, снижая риск для человека.
- **Охрана и патрулирование:** применяются для защиты портов, прибрежных зон и морских границ от нелегальной деятельности, такой как пиратство, контрабанда и незаконный вылов рыбы. Они оснащены системами наблюдения и могут оперативно реагировать на угрозы.

Возможности внедрения ИИ в беспилотники и их преимущества

Интеграция искусственного интеллекта в НБА открывает новые горизонты для их применения:

- **Улучшенное распознавание объектов:** ИИ позволяет НБА эффективно идентифицировать и классифицировать объекты в реальном времени, что особенно важно в военных и поисково-спасательных операциях. Например, алгоритмы семейства YOLO (You Only Look Once) обеспечивают высокую скорость и точность обнаружения объектов, что делает их подходящими для задач, требующих мгновенной реакции.
- **Автономная навигация:** ИИ способствует развитию полностью автономных НБА, способных самостоятельно прокладывать маршрут, избегать препятствия и адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды без вмешательства человека.
- **Оптимизация энергопотребления:** Благодаря ИИ, НБА могут более эффективно использовать энергию, выбирая оптимальные маршруты и режимы работы оборудования, что увеличивает продолжительность их миссий.

Существующие беспилотники и их применение

Среди современных НБА можно выделить несколько моделей:

Seagull™ USV: это многоцелевой беспилотный надводный аппарат, разработанный израильской компанией Elbit Systems для выполнения различных задач в морской сфере. Судно длиной 12 метров способно работать как в автономном режиме, так и под дистанционным управлением, обеспечивая выполнение миссий продолжительностью более 96 часов без дозаправки (рис. 1).

Wave Glider: аппарат, использующий энергию волн для движения и солнечную энергию для питания оборудования, применяется в океанографических исследованиях и мониторинге окружающей среды (рис. 2).



Рис. 1. Беспилотный надводный аппарат Seagull™

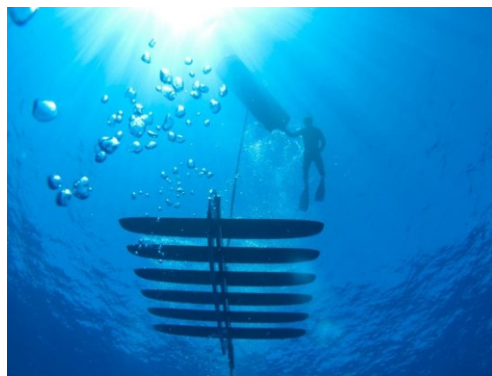


Рис. 2. Беспилотный надводный аппарат Wave Glider

Saildrone: эти автономные аппараты, работающие на энергии ветра и солнца, предназначены для сбора высококачественных данных об атмосфере и океане. Они способны автономно функционировать в течение длительных периодов времени, собирая данные о погодных условиях, морской биологии и других параметрах, что делает их ценным инструментом для океанографических исследований и наблюдений (рис. 3).



Рис. 3. Беспилотный надводный аппарат Saildrone

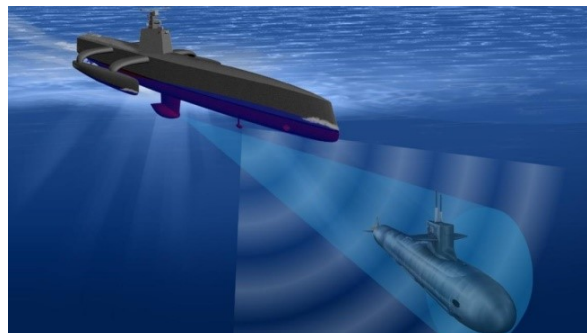


Рис. 4. Беспилотный надводный аппарат Sea Hunter

Sea Hunter: этот беспилотник длиной 40 метров способен автономно патрулировать океанические просторы в течение нескольких месяцев без экипажа на борту. Его основная задача — отслеживание и мониторинг подводных лодок, а также выполнение других миссий, таких как противоминная борьба и разведка (рис. 4).

7. YOLO и другие ИИ-алгоритмы

Алгоритмы ИИ, играют ключевую роль в развитии НБА. Модели ИИ, такие как Faster R-CNN или SSD, также используются в беспилотных системах, однако YOLO чаще выбирается благодаря своему превосходству в скорости и точности в динамичных условиях, что особенно важно для беспилотных систем, работающих в реальном времени. Его преимущества включают:

- **Единый подход к обнаружению:** YOLO рассматривает обнаружение объектов как единую задачу, предсказывая координаты и классы объектов за один проход сети, что обеспечивает высокую скорость обработки.

• **Эффективность на малых объектах:** модификации YOLO, такие как YOLO-Z, направлены на улучшение обнаружения мелких объектов, что актуально для НБА, работающих в сложных морских условиях.

• **YOLO (You Only Look Once)** — это семейство моделей для обнаружения объектов в реальном времени, которое постоянно совершенствуется. На рис. 5 рассмотрен пример работы YOLO - Распознавание людей и автомобилей в реальном времени.

Ниже приведены основные технические характеристики YOLO, которые делают его одним из самых мощных алгоритмов для детекции объектов:

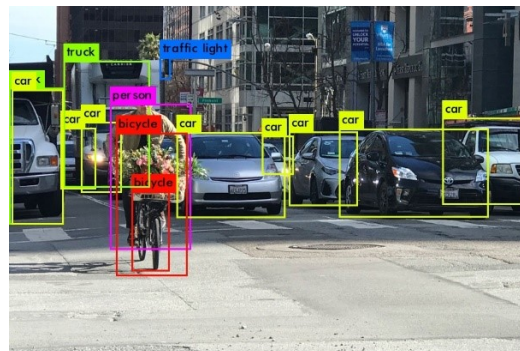


Рис. 5. Пример работы YOLO

1. Архитектура:

• YOLO — это одноступенчатая модель обнаружения объектов, которая рассматривает задачу детекции как единую проблему, предсказывая координаты объектов и их классы за один проход сети.

• Современные версии, такие как YOLOv5 и YOLOv8, используют архитектуру CSPDarknet для повышения эффективности и точности.

2. Скорость обработки:

• YOLO известна своей высокой скоростью, что делает её подходящей для задач в реальном времени.

• Например, YOLOv5s (маленькая версия) обрабатывает до 140 FPS (кадров в секунду) на GPU NVIDIA Tesla V100.

• YOLOv5x (большая версия) обрабатывает около 30 FPS на том же оборудовании.

3. Точность:

• Средняя точность (mAP) на наборе данных COCO:

1) YOLOv5s достигает 36.7% mAP.

2) YOLOv5x достигает 50.7% mAP.

• Более новые версии, такие как YOLOv8, демонстрируют ещё более высокую точность благодаря улучшенной архитектуре.

4. Гибкость:

• YOLO поддерживает различные размеры моделей (например, YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x), что позволяет адаптировать её для устройств с разными вычислительными ресурсами.

• Легко интегрируется в системы с ограниченными ресурсами, такие как мобильные устройства и встраиваемые системы.

5. Требования к оборудованию:

• YOLOv5s может работать на устройствах с ограниченными ресурсами, таких как NVIDIA Jetson Nano.

• Для более крупных моделей, таких как YOLOv5x, требуется около 10 ГБ памяти GPU для обучения.

• Поддерживает ускорение на GPU, таких как NVIDIA Tesla V100 и RTX 3090.

6. Применение:

• YOLO применяется для детекции объектов в реальном времени, обеспечивая высокую скорость обработки и точность распознавания.

• Эффективен в таких областях, как видеонаблюдение, автономный транспорт, робототехника и промышленная автоматизация.

Faster R-CNN (Faster Region-Based Convolutional Neural Network) — это одна из самых популярных и эффективных моделей для обнаружения объектов на изображениях. Она была разработана для повышения скорости и точности детекции объектов, что делает её подходящей для задач, требующих обработки в реальном времени. На рис. 6 рассмотрен пример работы Faster R-CNN - Распознавание людей и автомобилей в реальном времени.

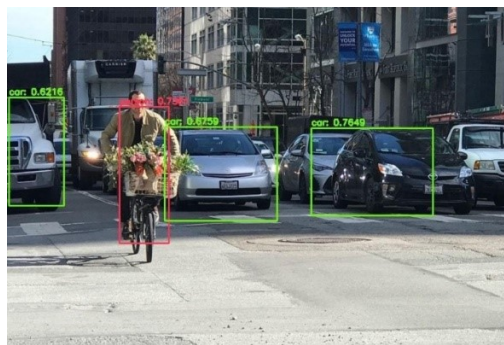


Рис. 6. Пример работы Faster R-CNN

Ниже приведены основные технические характеристики Faster R-CNN, которые делают его одним из самых популярных алгоритмов для детекции объектов:

1. Архитектура:

Faster R-CNN состоит из двух основных компонентов:

1) **Region Proposal Network (RPN):** генерирует области интереса (Region Proposals) для обнаружения объектов.

2) **Object Detection Network:** классифицирует объекты и уточняет их границы.

2. Скорость обработки:

- Faster R-CNN значительно быстрее своих предшественников (R-CNN и Fast R-CNN), так как использует RPN для генерации предложений вместо внешних алгоритмов.

- Среднее время обработки одного изображения составляет около 198 мс при использовании архитектуры VGG-16.

3. Точность:

- Средняя точность (mAP) на наборах данных, таких как VOC 2007, достигает 69.9% при обучении на VOC 2007 trainval.

- При использовании более крупных наборов данных точность увеличивается до 73.2%.

4. Гибкость:

- Faster R-CNN поддерживает различные архитектуры для базовой сети (backbone), такие как **ResNet-50**, **MobileNetV3**, и другие.

- Может быть адаптирован для задач с ограниченными вычислительными ресурсами.

5. Требования к оборудованию:

- Для работы с архитектурой VGG-16 требуется около 5 ГБ памяти GPU.

- Поддерживает графические процессоры, такие как NVIDIA Titan и K80.

6. Применение:

- Faster R-CNN используется для детекции объектов в реальном времени, включая распознавание людей, машин и других объектов.

- Подходит для задач, требующих высокой точности и надёжности, таких как беспилотные системы и системы безопасности.

5. Возможность внедрения ИИ в проект «Морской скорпион»

Проект «Морской скорпион» (рис.7), разработанный учёными и студентами Севастопольского государственного университета, представляет собой уникальный надводный беспилотник для мониторинга водной среды, поиска и сбора мусора, а также экологического контроля водоёмов.



Рис. 7. БЭК «Морской скорпион»

Интеграция ИИ в «Морской скорпион» позволит существенно улучшить эффективность его работы:

1. **Автоматическое распознавание** и классификация мусора для его последующего сбора.

2. **Автономная навигация** и оптимизация маршрутов патрулирования.

3. **Повышение безопасности** за счёт избегания столкновений и препятствий.

4. Предиктивный анализ о состоянии воды, температуре, плотности мусора и прочих параметрах, чтобы прогнозировать возможные участки загрязнения.

Внедрение технологии YOLO обеспечит системе возможность быстрого и точного обнаружения мусора и посторонних объектов на водной поверхности, минимизируя участие оператора и повышая общую эффективность выполнения экологических задач.

Заключение

1. Развитие надводных беспилотных систем и интеграция в них искусственного интеллекта открывает широкие перспективы для множества сфер, от экологического мониторинга до безопасности и научных исследований.

2. Использование таких передовых решений, как YOLO и других ИИ, позволяет существенно повысить эффективность и автономность беспилотных судов, делая их незаменимыми помощниками человека в сложных условиях современной действительности.

Список литературы

1. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017. — URL: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> (дата обращения: 08.04.2025).
2. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016. — URL: <https://arxiv.org/abs/1506.02640> (дата обращения: 08.04.2025).
3. Elbit Systems. Seagull™ USV - Autonomous Multi-Mission Vessel // Naval Technology. — URL: <https://www.naval-technology.com/projects/seagull-unmanned-surface-vessel-usv/> (дата обращения: 08.04.2025).
4. Liquid Robotics. Wave Glider SV3 - Autonomous Maritime Robot // Liquid Robotics Official Website. — URL: <https://www.liquid-robotics.com/wave-glider/> (дата обращения: 08.04.2025).
5. Saildrone, Inc. Saildrone - Unmanned Surface Vehicles for Ocean Data Collection // Saildrone Official Website. — URL: <https://www.saildrone.com> (дата обращения: 08.04.2025).
6. DARPA. Sea Hunter: Anti-Submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel (ACTUV) // DARPA Official Website. — URL: <https://www.darpa.mil/program/sea-hunter> (дата обращения: 08.04.2025).
7. Севастопольский государственный университет. «Морской скорпион»: надводный беспилотник для экологического мониторинга. — Севастополь : СевГУ, 2023. — 56 с.
8. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. — MIT Press, 2016. — 775 с. — ISBN: 9780262035613.

ТАНКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДРОНАХ: ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ КРЫМА

Д.С. Сячин¹, С.С. Сячин², Е.Д. Хоженцев³, Я.С. Кривунец⁴, И.Ю.Чуйко⁵

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, syachin04@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, sergejsacin50@gmail.com

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, khozhentsevy@mail.ru

⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, krivunetc@mail.ru

⁵ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, iuchuiko@sevsu.ru

Аннотация. Виноградники Крыма, с их холмистым рельефом, узкими междурядьями и сложным грунтом, представляют серьезный вызов для сельскохозяйственной техники. Традиционные системы управления часто оказываются неэффективными: техника застревает, повреждает посадки при разворотах или не может обеспечить достаточную устойчивость на склонах. В таких условиях на первый план выходят инновационные решения, среди которых особое место занимает танковое управление (дифференциальный привод). Показано, что данный тип управления обеспечивает превосходную маневренность в стесненных условиях виноградников. Исследованы рыночные тренды, технологические решения и физические основы работы системы.

Ключевые слова: танковое управление, сельскохозяйственные дроны, дифференциальный привод, маневренность, анализ рынка, кинематика движения.

TANK CONTROL IN AGRICULTURAL DRONES: OPTIMAL SOLUTION FOR CRIMEA

D.S. Syachin¹, S.S. Syachin², E.D. Khozhenzev³, Y.S. Krivunetc⁴, I.U.Chuiko⁵

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, syachin04@mail.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, sergejsacin50@gmail.com

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, khozhentsevy@mail.ru

⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, krivunetc@mail.ru

⁵FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, iuchuiko@sevsu.ru

Abstract. The vineyards of Crimea, with their hilly terrain, narrow row spacing and complex soil, pose a serious challenge for agricultural machinery. Traditional control systems are often ineffective: equipment gets stuck, damages plantings when turning, or cannot provide sufficient stability on slopes. In such conditions, innovative solutions come to the fore, among which tank control (differential drive) occupies a special place. It is shown that this type of control provides excellent maneuverability in the cramped conditions of vineyards. Market trends, technological solutions and physical principles of the system operation are investigated.

Keywords: tank control, agricultural drones, differential drive, maneuverability, market analysis, motion kinematics.

Введение

Танковое управление, или дифференциальный привод, — это система, основанная на независимом управлении колесами (или гусеницами) с разных сторон платформы. Такой подход обеспечивает высокую маневренность даже в ограниченном пространстве, что делает его идеальным решением для сельскохозяйственных роботов, работающих на виноградниках.

Ключевые преимущества метода:

- Разворот на месте (нулевой радиус поворота), что критически важно для работы в узких междурядьях.

- Устойчивость на сложном рельефе благодаря независимому контролю скорости вращения колес.
- Плавное изменение траектории без необходимости использования сложных рулевых механизмов.

Таблица 1. Сравнение с альтернативными системами

Тип управления	Преимущества	Недостатки	Применение
Танковое (дифференциальное)	Высокая маневренность, простота конструкции	Повышенный износ покрышек, сложность на высоких скоростях	Роботы-погрузчики, сельхозтехника, БПЛА
Аккермановское (автомобильное)	Энергоэффективность, стабильность на скорости	Большой радиус поворота, сложность в тесных пространствах	Легковые и грузовые автомобили
Омни-колеса (Holonomic)	Движение в любом направлении без поворота	Низкая проходимость, высокая стоимость	Медицинские роботы, фабричные тележки
Гусеничный привод	Проходимость в тяжелых условиях	Шум, низкая скорость, большой вес	Танки, бульдозеры

2. Анализ рынка и технологические тренды

2.1 Российский рынок робототехники с танковым управлением

Согласно данным НАУРР и Минпромторга (2023), сегмент роботов с дифференциальным приводом демонстрирует устойчивый рост:

- Объем рынка: ~350 млн руб.
- Годовой рост: 40% (опережая средние показатели по робототехнике).
- Основные сферы применения:
 - Логистика (45%) — роботы Wildberries, Ozon, СберЛогистики.
 - Сельское хозяйство (30%) — автономные опрыскиватели и прополщики.
 - Оборона (25%) — БПЛА «Соратник», разведывательные платформы.

Прогноз до 2028 года: Ожидается увеличение рынка до 3 млрд руб., чему способствует господдержка в рамках нацпроекта «Автонет». Однако сохраняются проблемы:

- Зависимость от импорта (70% электроники — Китай и Европа).
- Недостаточная развитость российского ПО для точного управления (аналоги ROS уступают западным решениям).

2.2 Глобальные тенденции

Мировой рынок робототехники с танковым управлением оценивается в \$14,5 млрд (Statista, 2023). Лидеры отрасли:

- США: Boston Dynamics, iRobot (военные и сервисные роботы).
- Китай: DJI, Geek+ (логистика и дроны).
- Европа: KUKA, ABB (промышленные решения).

2.3 Перспективные направления развития

1. Гибридные системы — комбинация танкового привода с омни-колесами для складов.
2. ИИ-оптимизация — алгоритмы для адаптивного управления в динамической среде.
3. Локализация компонентов — российские двигатели («НПО Электромашина») и сенсоры («Элемер»).

Пример успешной реализации: Робот-курьер Yandex Rover использует танковое управление для:

- Обхода препятствий в пешеходных зонах.
- Работы в зимних условиях благодаря устойчивости на снегу и льду.

3. Физическая основа танкового управления

3.1 Кинематические уравнения

Скорость движения робота определяется разностью скоростей колес:

$$v = v_R + v_L \quad 2v = 2v_R + v_L \quad (1)$$

где v_R и v_L — скорости правого и левого колес соответственно.

Угловая скорость вращения вычисляется по формуле:

$$\omega = vR - vLd\omega = dvR - vL \quad (2)$$

где d — расстояние между колесами.

3.2 Силовая установка и базовые параметры

Конфигурация системы:

- 4 двигателя по 500 Вт (24-48В).
- Общая мощность: 2000 Вт.
- Масса дрона: 45 кг.
- Размер рамы: 1×1 м.
- Диаметр колес: 14.5" (0.37 м).
- Колея (d): 0.8 м (расстояние между центрами колес).

3.3 Тяговые расчеты

Максимальное тяговое усилие (на ровной поверхности):

$$F_{\text{тяги}} = 4 \cdot P \cdot \eta v = 4 \cdot 500 \cdot 0.852 = 850 \text{ Н} \quad (3)$$

где $\eta = 0.85$ ($\eta = 0.85$ (КПД системы); $v = 2 \text{ м/с}$ ($v = 2 \text{ м/с}$ (рабочая скорость)).

Преодоление уклона:

Для склона $\alpha = 15^\circ$ ($\alpha = 15^\circ$ (26.8%):

$$F_{\text{подъема}} = mg (\sin\alpha + \mu\cos\alpha) = 45 \cdot 9.81 \cdot (0.259 + 0.3 \cdot 0.966) \approx 242 \text{ Н} \quad (4)$$

Запас мощности:

$$k = F_{\text{тяги}} \\ F_{\text{подъема}} = 850242 \approx 3.5k$$

3.4 Энергопотребление

Рабочий ток системы (при напряжении 48В):

$$AI = U_{\text{общ}} = 482000 \approx 41.7 \text{ А}$$

3.5 Кинематика движения

Радиус поворота:

При дифференциальном управлении:

$$R = d2 \cdot vR + vLvR - vL \quad (5)$$

Для разворота на месте ($vR = -vLv$):

$$R = 0 \text{ м}$$

Угловая скорость:

$$\omega = vR - vLd = 2 - (-2)0.8 = 5 \text{ рад/с} \approx 286^\circ/\text{с} \quad (6)$$

3.6 Прочностные расчеты

Нагрузка на ось:

$$F_{\text{ось}} = mg4 = 45 \cdot 9.814 \approx 110 \text{ Н (на каждое колесо)} \quad (7)$$

Крутящий момент на мотор:

$$\tau = F_{\text{тяги}} \cdot r4 = 850 \cdot 0.1854 \approx 39.3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (8)$$

4. Заключение

1. Танковое управление обеспечивает уникальное сочетание маневренности и надежности для сельскохозяйственных дронов.

2. Российский рынок показывает устойчивый рост, однако сохраняется зависимость от импортных компонентов.

3. Физические расчеты подтверждают эффективность системы для работы в условиях крымских виноградников.

Список литературы

1. НАУРР (Национальная ассоциация участников рынка робототехники). URL: <https://naurr.ru>
2. Statista (2023). Global Robotics Market Report. URL: <https://www.statista.com>
3. Минпромторг РФ. Программа развития робототехники. URL: <https://minpromtorg.gov.ru>
4. Boston Dynamics. URL: <https://www.bostondynamics.com>
5. DJI Technologies. URL: <https://www.dji.com>
6. Yandex Rover. URL: <https://yandex.ru/rover>
7. ROS Wiki (Robot Operating System). URL: <https://wiki.ros.org/>
8. IEEE Xplore Digital Library. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/>

УДК 629.331.017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВЕСКОЙ АВТОМОБИЛЯ

Н.А. Иванов¹, Н.В. Яремчук², С.В. Огрызков³¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, nikitosische55@gmail.com²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, NikitaYarnik@gmail.com³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, ogrizkov@mail.sevsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается метод использования геоинформационных навигационных систем для хранения информации об автомобильных дорогах с целью использования ее для управления подвеской автомобиля. Предложен метод определения характеристик дорожного полотна с использованием датчиков системы управления подвеской. Проанализированы результаты экспериментов на различных участках дорожного покрытия, подтверждающие работоспособность предложенного решения. Разработанная система может быть интегрирована в современные транспортные средства с управляемой подвеской, а также использована для автоматизированного контроля состояния дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: геоинформационная система, интеллектуальные транспортные системы, управляемая подвеска, мониторинг состояния дорожного покрытия

USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TO CONTROL THE SUSPENSION OF A CAR

N.V. Yaremchuk¹, N.A. Ivanov², S.V. Ogryzkov³¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, nikitosische55@gmail.com²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, NikitaYarnik@gmail.com³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, ogrizkov@mail.sevsu.ru

Abstract. The article discusses the method of using geoinformation navigation systems to store information about highways in order to use it to control the suspension of a car. A method for determining the characteristics of the roadway using sensors of the suspension control system is proposed. The results of experiments on various sections of the road surface are analyzed, confirming the operability of the proposed solution. The developed system can be integrated into modern vehicles with a controlled suspension, as well as used for automated monitoring of the condition of the road infrastructure.

Keywords: geographic information system, intelligent transport systems, controlled suspension, road surface condition monitoring

Введение

Геоинформационные системы (ГИС) широко используются для управления дорожным хозяйством [1, 2]. Они могут использоваться для прокладывания маршрутов, паспортизации дорог, мониторинга состояния дорожного покрытия, расчета пропускной способности, мониторинга интенсивности движения и управления транспортными потоками, учета дорожно-транспортных происшествий и т.д. [2, 3]. Известны системы, которые используют информацию с датчиков систем управления автомобилей для сбора информации о параметрах автомобиля в процессе движения или испытаний [4]. Регулируемые или активные подвески автомобилей позволяют получать оптимальные характеристики колебаний кузова автомобиля для различных дорожных покрытий и режимов движения. Важной задачей при этом является идентификация характеристик дорожного покрытия [5, 6], в данной работе предлагается использовать навигационные геоинформационные системы для хранения характеристик участков дорог, необходимых для управления подвеской. Теоретические и экспериментальные исследования [1, 2] показывают, что дороги состоят из больших участков с постоянными статистическими характеристиками.

Цель исследования – метод управления подвеской автомобиля с использованием навигационных ГИС.

Конструкция и характеристики подвески автомобиля влияют на управляемость, устойчивость, плавность хода и другие свойства автомобиля, определяющие его безопасность, комфортность, надежность и экономичность [5].

Для идентификации характеристик дорожного покрытия можно использовать показания датчиков ускорений неподрессоренных и поддрессоренных масс автомобиля [6]. Недостатком такой метода является достаточно большое время для идентификации характеристик дорожного покрытия, что будет приводить к движению с неоптимальными настройками подвески. Так же необходимость проводить большие объемы вычислений в режиме реального времени не является обычной задачей для микрокомпьютеров систем управления транспортными средствами и может приводить к большим погрешностям.

1. Подвеска автомобиля, как объект управления.

Для моделирования колебательных процессов автомобиля с независимой подвеской используем двухмассовую модель (рис. 1) [2].

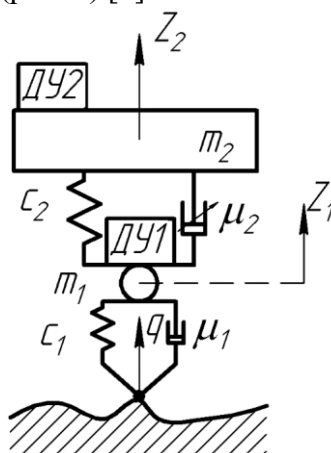


Рис. 1. Двухмассовая модель подвески автомобиля

На рис. 1 показаны m_1, m_2 – неподрессоренная и поддрессоренные массы; u_{z1}, u_{z2} – вертикальные перемещения неподрессоренной и поддрессоренной массы; c_1, c_2 – жесткость колеса и упругого элемента подвески соответственно; μ_1, μ_2 – коэффициенты сопротивления колеса и демпфирующего элемента подвески; $q = q(t)$ – возмущение от дорожного покрытия; ДУ1, ДУ2 – датчики ускорения неподрессоренных и поддрессоренных масс.

С учетом ограничений и допущений [1] уравнения движения для нее будут иметь вид

$$\begin{cases} m_2 \ddot{u}_{z2} + \mu_2 (\dot{u}_{z2} - \dot{u}_{z1}) + c_2 (u_{z2} - u_{z1}) = 0, \\ m_1 \ddot{u}_{z1} + \mu_1 \dot{u}_{z1} + c_1 u_{z1} - \mu_2 (\dot{u}_{z2} - \dot{u}_{z1}) - c_2 (u_{z2} - u_{z1}) = \mu_2 \dot{q} + c_1 q. \end{cases} \quad (1)$$

По результатам показаний датчика ускорений неподрессоренной массы можно получить оценку плотности спектра ускорений неподрессоренной массы $\hat{S}_{\dot{z}_1}(\omega)$ и использовать ее в качестве возмущающего воздействия на колебательную систему автомобиля.

В работе [2] предложено аппроксимировать корреляционные функции $R(\tau)$ функциями вида

$$R(t) = \frac{aR(0)}{tR(0) + a} + R(N), \quad (2)$$

где a – коэффициент, зависящий от скорости автомобиля и частот колебаний неподрессоренной и поддрессоренной массы; $t = t_1 - t_2$; t_1, t_2 – границы временного интервала распознавания дорожного покрытия.

К недостатку данного метода можно отнести значительное время на распознавание дорожного покрытия – до 20 секунд.

2. Использование геоинформационной системы для управления подвеской автомобиля.

Геоинформационные системы автомобильных дорог широко используются в субъектах Российской Федерации, обобщенную информацию о состоянии автомобильных дорог можно отслеживать на интерактивной карте на сайте национального проекта «Безопасные дороги России» [7]. Анализ доступных источников показал, что применение известных ГИС для управления системами автомобиля не производится.

Из системы уравнений (1) следует, что колебания автомобиля будут определяться возмущением от дорожного покрытия $q = q(t)$. Возмущение от дорожного покрытия является функцией характеристик профиля дорожного покрытия и скорости движения. Используя передаточные функции, полученные из системы уравнений (1) [6] по статистическим характеристикам распределения неровностей дорожного покрытия можно получить характеристики колебаний кузова автомобиля и использовать их для построения регулировочных характеристик (карт) системы управления подвеской для различных режимов движения. Решая обратную задачу можно получить статистические характеристики дорожного покрытия по статистическим характеристикам колебаний подвески автомобиля и использовать эти данные для формирования пространственной базы данных автомобильных дорог (БД АД) [1].

Использование ГИС для управления подвеской может производиться в следующих режимах.

Режим 1. Информация о характеристиках участков дороги хранится в пространственной БД АД и доступна в онлайн режиме. Характеристики заносятся и регулярно актуализируются оператором ГИС.

Режим 2. Информация о характеристиках участков дороги скачивается из БД АД и хранится в навигационном устройстве автомобиля.

Режим 3. Информация о характеристиках участков дороги хранится в навигационном устройстве автомобиля и формируется по результатам идентификации по показаниям датчиков ускорения поддрессоренных масс. В этом случае в памяти навигационного устройства автомобиля хранятся характеристики участков дорог, по которым автомобиль осуществлял движение. Данная информация может передаваться в БД АД, для использования другими автомобилями.

Очевидно, что в случае поступления информации от большого количества транспортных средств поступающие данные должны обрабатываться и верифицироваться перед внесением в БД АД.

Схема работы предлагаемой системы показана на рис. 2.

Значения широты и долготы (N, E) местоположения транспортного средства определяется на основании информации от спутниковой системы ГЛОНАСС/GPS

Информация о характеристиках дорожного покрытия, например, в виде массива $q(N, E)$ хранится в БА АД ГИС и передается по системе мобильной связи по запросу на транспортное средство.

Микропроцессорная система управления подвеской (МК СУП) в зависимости от скорости определяет характеристики колебаний автомобиля RO и RN определяющих корреляционную функции $R(\tau)$ (2), по которым из регулировочной карты выбираются настройки для установки режима работы подвески RgP . В зависимости от типа подвески это могут быть значения для настройки коэффициента сопротивления амортизатора, жесткости упругих элементов, высоты подъема кузова.

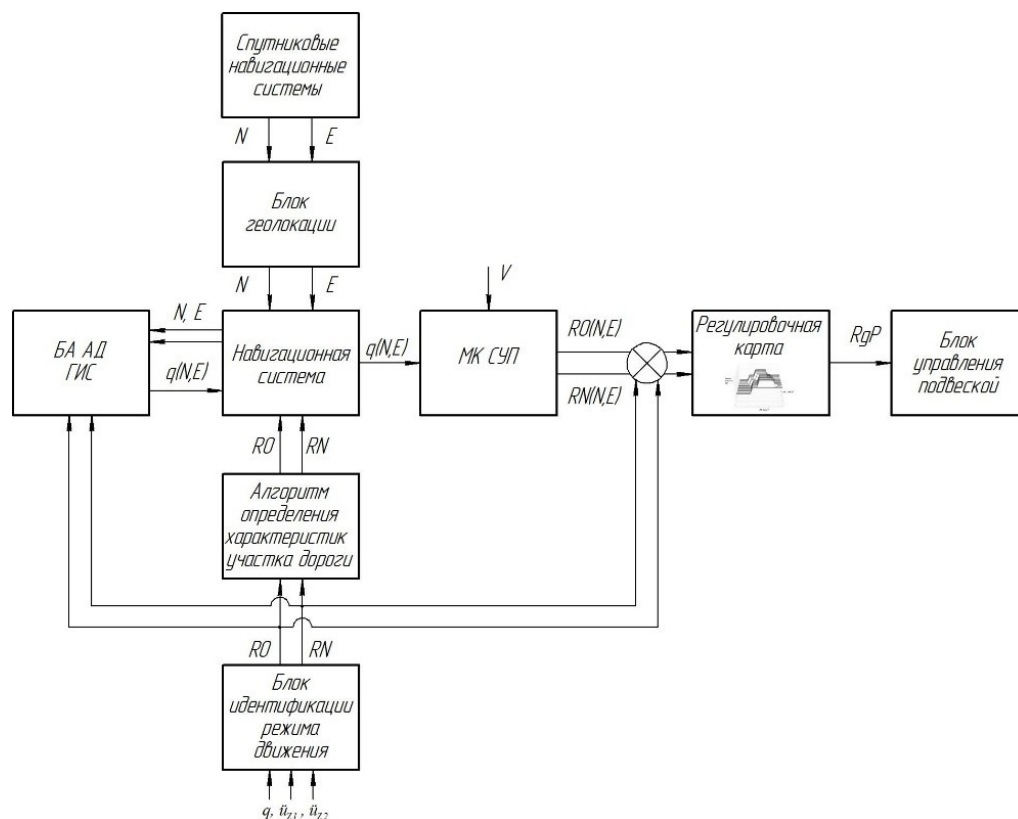


Рис. 2. Схема работы системы управления подвеской с использованием ГИС

При наличии блока идентификации режима движения получаемые значения RO и RN могут передаваться в БД АД ГИС и в МК СУП для управления в случае отсутствия связи со спутниковой системой, записи в навигационную систему автомобиля или корректировки настроек подвески.

Так же информация о характеристиках дороги может использоваться для мониторинга состояния дорожного полотна, в том числе и локальных дефектах.

Выводы. Использование ГИС для управления подвеской автомобиля позволит сократить время на распознавание характеристик дорожного покрытия и перенастройку подвески. Дальнейшие исследования предполагают разработку математической модели работы системы и проведение экспериментальных исследований на различных транспортных средствах.

Список литературы

- ОДМ 218.9.008-2019. Отраслевой дорожный методический документ. Геоинформационные системы автомобильных дорог. Порядок сбора, хранения и обновления данных [Текст]; введ. 29.07.2019. – URL : <https://search.rsl.ru/ru/search#q=ОДМ%20218.9.008-2019> (дата обращения: 08.04.2025).
- IndorRoad : Геоинформационная система автомобильных дорог [Сайт] – URL : <https://indorsoft.ru/products/road/> (дата обращения: 08.04.2025).
- Николаева О.М., Радченко Л.К. Основные аспекты маршрутизации в навигационных системах на примере компании "Here technologies" [Текст]// Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий) [Текст]. – 2022. №1. – С. 97-106.
- Испытание автомобиля на долговечность : Сбор и анализ данных о дорожной нагрузке (RLDA). – [Сайт] – URL : <https://dewesoft.com/ru/applications/road-load-data> (дата обращения: 08.04.2025).
- Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель [Текст] // Под ред. А. А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
- Огрызков С.В., Ветрогон А.А., Крячков А.А. Совместные колебания подвески и кузова автомобиля [Текст] // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. [Текст] – 2011. – №122. – С. 167-172.
- Безопасные и качественные дороги [Сайт] – URL : <https://bkdrf.ru/> (дата обращения: 08.04.2025).

СЕКЦИЯ № 4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК: 004.896:331.45

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ В ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.Э.Шкурин¹, В.Р.Ткаченко², В.А.Лей³

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, nik.nn.2003@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, zxcveronika@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, VALey@sevsu.ru

Аннотация. Рассмотрены возможности использования роботизированных систем для целей обеспечения безопасности в техносфере. Проанализирован опыт использования роботов, для ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Представлены имеющиеся модели и концептуальные прототипы роботизированных систем. Предложен прототип робота-ровера для контроля вредных и опасных условий на промышленных предприятиях. Описана его функциональная и структурная системы. Представлена инженерно-графическая модель робота «Техновизор».

Ключевые слова: робот, чрезвычайная ситуация, условия труда, опасность, техносфера, риск, среда обитания.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT AND USE OF ROBOTIC SYSTEMS IN TECHNOSPHERE SAFETY

N.E.Shkurin¹, V.R.Tkachenko², V.A. Ley³

¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, nik.nn.2003@mail.ru

²Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, zxcveronika@mail.ru

³Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, VALey@sevsu.ru

Abstract. The possibilities of using robotic systems for security purposes in the technosphere are considered. The experience of using robots to eliminate natural and man-made emergencies is analyzed. The available models and conceptual prototypes of robotic systems are presented. A prototype of a robot rover for monitoring harmful and dangerous conditions in industrial enterprises has been proposed. Its functional and structural systems are described. An engineering and graphic model of the robot «Technovisor» is presented.

Keywords: robot, emergency, working conditions, danger, technosphere, risk, habitat.

Введение. Развитие техносферы требует применения новых технологий автоматизации, в том числе и в сфере обеспечения безопасности. Для этих целей представляется перспективным использовать робототехнические системы способные осуществлять мониторинг за неблагоприятными факторам среды обитания и помогать ликвидировать чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера.

Цель – проанализировать особенности применения роботов для нужд безопасности в техносфере, а также обосновать возможность использования робота-ровера «Техновизор».

Развитие современного общества и используемых им технологический процессов требует повышенного внимания к использованию роботизированных систем, позволяющих повышать уровень комфорта и безопасности человека.

Существующие темпы развития научно-технического прогресса обусловлены постоянным повышением степени автоматизации и роботизации процессов производства это связано с объективной необходимостью повышать его эффективность и при этом экономить

труд работников. Уже сейчас мы можем увидеть лавинообразный интерес к промышленным роботам, способных доставлять грузы и ассистировать при проведении сборочных операций. Однако тема использования роботов для нужд обеспечения техносферной безопасности требует повышенного внимания и обоснования основных векторов развития этой сферы.

В процессе возникновения чрезвычайных ситуаций роботы способны выполнять задачи в условиях где нахождение человека не безопасно. Так при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции были задействованы роботы манипуляторы, которые оказали огромную помощь в работе по ликвидации аварии. Так роботизированный комплекс «Клин-1», созданный в 1986 году ВНИИ «Трансмаш» на базе танка Т-72, показал свою эффективность при разборе завалов в условиях критических доз радиации. В комплект вошли две машины: робот на гусеничном ходу и машина оператора, который дистанционно осуществлял управление машиной роботом. Этот робот применялся для целей дезактивации территорий и удалению леса, погибшего от радиационного воздействия в ближней зоне аварии. Легендарным общеизвестным аппаратом в чернобыльской зоне стал специализированный транспортный робот (СТР-1). Робот применялся на крыше для очистки крыши ЧАЭС от завалов высокорadioактивных элементов разрушенного реактора. Робот эксплуатировался при уровнях гамма-фона до 3000 рентген в час и выше [1]. Платформой для движения робота стало самоходное шасси луноходов. В структуре робота использовались моторизированные колёса с индивидуальными приводами. Для подзарядки применялась специальная мобильная тележка. Внешний вид роботов «Клин-1» и «СТР -1» представлен на рис. 1.



а)



б)



в)

Рис. 1. Внешний вид роботов – участников ликвидации аварий на ЧАЭС.
а) машина – робот роботизированного инженерного комплекса «КЛИН-1»
б) машина управления роботизированного инженерного комплекса «КЛИН-1»
в) специализированный транспортный робот «СТР-1»

Стоит обратить внимание на самый распространенный неблагоприятный фактор в техносфере, которым является пожар. Для целей пожаротушения также используются роботизированные системы. Ярким примером является пожарный робот «LUF 60», разработанный австрийскими учёными. Внешний вид робота «LUF 60» представлен на рис. 2. Данный робот применяется в условиях, где тушение пожаров затруднено: на промышленных предприятиях, химически-опасных объектах, туннелях и т.д. Робот разработан на базе гусеничной платформы и весит около 2200 кг. Его размеры 1350 мм в ширину, 2330 мм в длину 2000 мм в высоту. Робот оборудован системой подачи воды с расходом до 2400 литров в минуту и дальностью подачи до 60 метров, что позволяет эффективно тушить большие площади возгорания. Также в роботизированной системе предусмотрена мощная система дымоудаления с производительностью до 90 000 м³/ч, что очень важно в условиях сильного задымления. Роботы-пожарные обладают повышенной точностью, иными словами повышается точность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара, что позволяет снизить материальные потери [2].



Рис.2. Внешний вид робота-пожарного «LUF 60»

Уже сейчас существуют прототипы и концепции роботов, которые способны помогать спасателям извлекать людей из-под завалов. Концептуальной моделью является робот «Rescue F-100». Робот снаряжен мощным гидравлическим манипулятором и внедорожной колёсной базой, управляется дистанционно оператором. Концептуальный вид робота «Rescue F-100» представлен на рис. 3.



Рис. 3. Концептуальный вид робота «Rescue F-100»

Как известно, все виды деятельности человека протекают в различных условиях, которые не всегда могут способствовать сохранению здоровья и повышению работоспособности. А современная среда обитания человека может не соответствовать требуемым оптимальным условиям, что в свою очередь ставит задачу по осуществлению постоянного мониторинга за контролем её качества в том числе и в условиях осуществления трудовых процессов. Согласно с Федеральным законом «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ контролю на производстве подлежат физические факторы, химические факторы, биологические факторы, а также параметры тяжести трудового процесса

и микроклимата [3]. Данное направление также требует создания роботизированных систем с целью автоматизации контроля и осуществления непрерывного мониторинга за состоянием рабочей зоны. Для этих целей на кафедре «Техногенная безопасность и метрология» в сотрудничестве со студенческим конструкторским бюро Политехнического института планируется создание робота «Техновизор», который способен осуществлять мониторинг и производить оценку качества условий труда, а также информировать работников об опасностях и авариях на производственных объектах. «Техновизор» это робот-ровер, способный передвигаться по производственным помещениям и фиксировать воздействие неблагоприятных факторов трудового процесса на работников предприятия.

Структурная система робота состоит из следующих элементов: колёсное шасси, рамная конструкция, электродвигатели, аккумуляторы, схемы и блоки управления, средства телеметрии, видео камера, пульт управления, дисплей, видеопередатчик, видеоприёмник, датчики дальномеры, датчик линии, планшетный компьютер, корпус. Функциональная система робота состоит из: газоанализатора, шумомера, дозиметра, термогигрометра, измерителя параметров электрических и магнитных полей [4]. В роботе предусмотрена возможность расширения функционала измерения, а также создания автономной системы управления. Инженерно-графическая модель робота представлена на рис. 4.

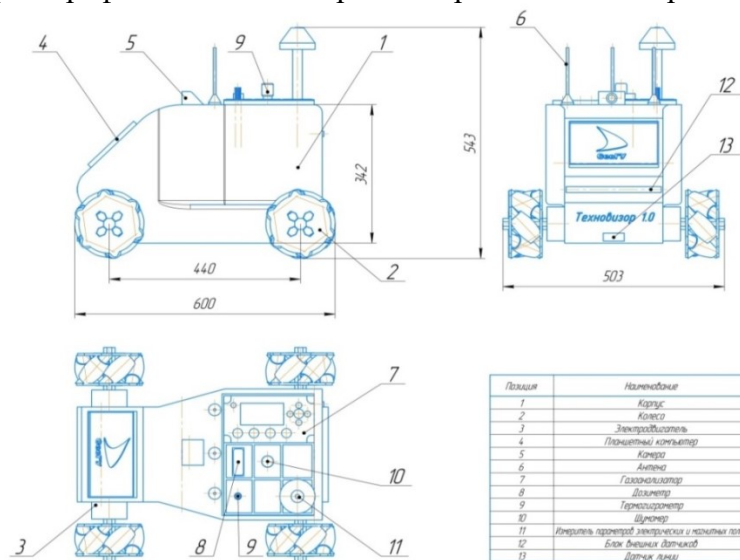


Рис. 4. Чертёж робота «Техновизор»

1 – корпус; 2 – колесо; 3 – электродвигатель; 4 – планшетный компьютер; 5 – камера; 6 – антенна; 7 – газоанализатор; 8 – дозиметр; 9 – термогигрометр; 10 – шумомер; 11 – измеритель параметров электрических и магнитных полей; 12 – блок внешних датчиков; 13 – датчик линии

Вывод. Таким образом использование роботизированных систем для обеспечения безопасности в техносфере является важным и перспективным направлением робототехники, требующего большего внимания со стороны инженерно-конструкторов.

Список литературы

1. Овчинников, В. В. Роботы в Чернобыле / В. В. Овчинников, А. Ф. Батанов, С. Г. Мингалеев // Технологии гражданской безопасности. – 2019. – Т. 16, № 4(62). – С. 70-78. – DOI 10.54234/CST.19968493.2019.16.4.62.12.70. – EDN QNDDFE.
2. Аксенов, С. Г. Пожарный робот. "Кедр", "ЛУФ-60" / С. Г. Аксенов, С. Ю. Франчук // Экология и безопасность жизнедеятельности : Сборник статей XXIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 11–12 декабря 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 14-18. – EDN BTZKUZ.
3. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ
4. Салова, Н. А. Разработка роботизированной системы контроля негативных факторов трудового процесса / Н. А. Салова // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурс НИР) 2024 г. : Молодежная программа 28-ой Международной специализированной выставки - форума, Москва, 13 декабря 2024 года. – Москва: Ассоциация "СИЗ", 2025. – С. 143-145. – EDN YAEVWQ.

УДК 504.4.054

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ СУХАЯ РЕЧКА

Т.А. Иванченко¹, М.А. Токарев², Д.М. Скворцова³, Е.И. Азаренко⁴¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299029, Россия, tanusaivancenko170@gmail.com²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299029, Россия, maxtokarev10@mail.ru³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299029, Россия, krasnaiamakovka@gmail.com⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299029, Россия, e.i.azarenko@yandex.ru

Аннотация: Рассматривается проблема определения классов качества воды пересыхающих малых рек Севастопольского региона. Проанализированы физико-химические характеристики воды реки Сухая Речка, рассчитан показатель антропогенной нагрузки для определения класса качества воды. С учетом базового перечня аналитов-маркеров, дополненного маркерами «фенолы» и «медь», по которым систематически регистрируются превышения нормативов для малых рек Севастополя, оценена кризисность состояния речной системы и воздействие антропогенной нагрузки на реку в период половодья. Качество воды Сухой речки отнесено к III классу – умеренно загрязненная, кризисность экосистемы – пороговое уязвимое состояние.

Ключевые слова: Аналиты-маркеры, антропогенная нагрузка, гидрохимический мониторинг, загрязнение вод, качество речной воды, кризисность экосистемы, пересыхающие реки, Севастопольский регион.

THE RIVER SUKHAYA RECHKA WATER QUALITY ASSESSMENT

T.A. Ivanchenko¹, M.A. Tokarev², D.M. Skvortsova³, E.I. Azarenko⁴¹FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol, 299029, Russia, tanusaivancenko170@gmail.com²FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol, 299029, Russia, maxtokarev10@mail.ru³FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol, 299029, Russia, krasnaiamakovka@gmail.com⁴FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol, 299029, Russia, e.i.azarenko@yandex.ru

Abstract: The problem of determining the water quality classes of drying up small rivers in the Sevastopol region is considered. The physicochemical characteristics of the Sukhaya Rechka river water are analyzed, the anthropogenic load indicator is calculated to determine the water quality class. Taking into account the basic list of marker analytes, supplemented by the "phenols" and "copper" markers, to which systematically record excesses of standards for small rivers in Sevastopol, the level of the river system crisis and the anthropogenic load on the river during the flood period are assessed. The water quality of the Sukhaya Rechka is classified as class III - moderately polluted, the ecosystem crisis level is a threshold vulnerable state.

Keywords: marker analytes anthropogenic load, hydrochemical monitoring, water pollution, river water quality, ecosystem crisis level, drying up rivers, Sevastopol region.

Введение

Пересыхающие малые реки – важный компонент экосистемы р. Черной. Эта речная система основная в формировании ресурсов поверхностных вод Севастопольского региона. Однако малые реки подвержены антропогенной нагрузке, что приводит к ухудшению качества воды и нарушению природного баланса.

Для рационального использования и охраны водных объектов важное значение имеет изучение динамики качества вод. Регулярный мониторинг и оценка состояния водных ресурсов необходимы для разработки эффективных мер по охране и восстановлению экосистемы малых рек Севастопольского региона и реки Черной.

Цель исследования – оценка кризисности состояния речной системы р. Сухая Речка.

Этапы исследования

1. Определение объекта и предмета исследования

Объектом исследования была выбрана река Сухая Речка, типичная для Севастопольского региона. Она пересыхает в летний период, имеет характерные признаки антропогенной нагрузки и представляет собой ценную экосистему.

Предмет исследования – класс качества воды реки.

2. Метод исследования

Регламентирование водохозяйственной деятельности в Севастопольском регионе – актуальная задача, решение которой необходимо для обеспечения водной безопасности. Антропогенное воздействие на реки региона должно быть ограничено исходя из экологической оценки кризисности состояния речных экосистем по данным мониторинга.

Однако, особенности гидрологического режима и региональных программ мониторинга важных для Севастополя малых рек, таких как Арманка, Боса, Бага Нижняя, Узунджа, Уркуста, Ай-Годорка, Сухая Речка (притоков р. Черная – основного источника питьевого водоснабжения), не позволяют рассчитать, рекомендованный Росгидрометом удельный комбинаторный индекс загрязненности [1].

Решить задачу определения классов качества воды пересыхающих малых рек в условиях недостатка данных наблюдений предлагается путем расчета показателя антропогенной нагрузки (ПАН^б [2]) в период половодья. Показатель ПАН^б распространяется на поверхностные воды и устанавливает метод исследования их качества по анализам-маркерам при регламентировании и нормировании антропогенной нагрузки.

3. Расчет и анализ полученных данных

Были собраны данные о химическом составе воды реки Сухая Речка, определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество воды, выполнен расчет ПАН^б, определен класс качества воды и состояние экосистемы реки.

Результаты расчета ПАН^б для реки Сухая Речка по данным весеннего половодья 2020 г. представлены в таблице 1.

Таблица 1. Аналиты-маркеры и результаты оценки качества воды р. Сухая Речка

Аналит-маркер	Фактическое значение в пробе, C_i	Целевой показатель	Расчётная формула ПАН _i	ПАН _i	ПАН ^б = Σ ПАН _i	Класс качества воды
pH, ед.рН	8,2	6,5-8,5	$((0,15...0,12)C_i-1)$	0	11,3	III умеренно загрязненная, кризисность экосистемы: пороговое устойчивое состояние
Взвеш. вещества, мг/усл.дм ³	18	10	$(0,1C_i-1)$	0,8		
Сухой остаток, мг/усл.дм ³	218	1000	$(0,001C_i-1)$	0		
БПК ₅ , мгО ₂ /усл.дм ³	4,8	2	$(0,5C_i-1)$	1,4		
ХПК, мгО ₂ /усл.дм ³	6,1	15	$(0,07C_i-1)$	0		
Азот нитратов, мг/усл.дм ³	0,23*0,226	9,0	$(0,11C_i-1)$	0		
Азот нитритов, мг/усл.дм ³	0,02*0,304	0,02	$(50C_i-1)$	0		
Азот аммония, мг/усл.дм ³	0,05*0,777	0,4	$(2,5C_i-1)$	0		
Фосфор фосфатов, мг/усл.дм ³	0,05*0,326	0,2	$(5C_i-1)$	0		
Железо общее, мг/усл.дм ³	0,11	0,1	$(10C_i-1)$	0,1		
Марганец общий, мг/усл.дм ³	0,0045	0,01	$(100C_i-1)$	0		
Фенолы, мг/усл.дм ³	0,0084	0,001	$(1000C_i-1)$	7,4		
Медь, мг/усл.дм ³	0,0026	0,001	$(1000C_i-1)$	1,6		

Представленные в таблице 1 результаты получены с учетом базового перечня аналитов-

маркеров [2]. Маркеры были дополнены показателями «фенолы» и «медь», по которым систематически регистрируются превышения нормативов для малых рек Севастополя [1, 3]. В качестве целевых показателей применялись рыбохозяйственные и гигиенические ПДК загрязняющих веществ в воде водных объектов [4, 5].

Проведенный анализ показал, что превышения нормативов наблюдаются по взвешенным веществам, железу, фенолам, меди и БПК₅. С учетом данных многолетнего мониторинга малых рек Севастопольского региона [6] повышенное содержание общего железа и меди характерно для рассматриваемых рек и может иметь естественный характер [3]. Колебания их концентраций могут быть обусловлены климатическими факторами. Для подтверждения этих предположений требуется провести дополнительные исследования.

Высокое значение БПК₅ свидетельствует о высокой концентрации легкоокисляющихся органических веществ, которые поступают в реку со сточными водами населенных пунктов и ливнево-дренажными водами с прилегающих территорий; диффузным стоком с водосборных площадей, на которых используются органические удобрения, проводится выпас скота.

Вероятные причины повышенного уровня фенолов в речных водах – это влияние диффузных источников загрязнения (сток с сельскохозяйственных земель и застроенных территорий), а также разложение растительных остатков в русле реки.

Заключение

В ходе выполненного исследования для Сухой речки установлен III класс качества воды – умеренно загрязненная и уровень кризисности экосистемы – пороговое уязвимое состояние. Полученные результаты показывают необходимость регулирования качества воды реки за счет ограничения антропогенной нагрузки. Информационную основу для эффективного управления качеством вод малых рек должна создать оптимально организованная система мониторинга [7]. На решение этой задачи будут направлены дальнейшие исследования, включая:

- организацию мониторинга диффузного загрязнения малых рек Севастопольского региона, влияния населенных пунктов и сельскохозяйственных предприятий на реки;
- разработку рекомендаций по снижению антропогенной нагрузки на экосистемы рек, с интеграцией полученных результатов в местные экологические и хозяйственные программы;
- проведение информационных кампаний среди населения города и отдыхающих для повышения осведомленности о состоянии и методах охраны малых рек города Севастополя.

Список литературы

1. Государственный мониторинг водных объектов города Севастополя. – URL: <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/gosudarstvennyy-monitoring-vodnykh-obektov/?doc=191099> (дата обращения: 02.04.2025). – Текст : электронный.
2. ГОСТ Р 59025-2020. Метод исследования качества поверхностных вод по анализам-маркерам при регламентировании и нормировании антропогенной нагрузки. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200175596> (дата обращения: 02.04.2025). – Текст : электронный.
3. Доклады о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя. – URL: <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/?03042025> (дата обращения: 02.04.2025). – Текст : электронный.
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 02.04.2025). – Текст : электронный.
5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» с изменениями на 13.06.2024). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 02.04.2025). – Текст : электронный.
6. Азаренко Е.И., Осадчая Л.И. Приоритетные загрязнители и нормативы качества воды притоков реки Черной // Системы окружающей среды. 2022 № 4 (50). С. 104–111. DOI: 10.33075/2220-5861-2022-4-104-111
7. Осадчая Л.И., Азаренко Е.И., Ничкова Л.А. Особенности разработки нормативов допустимого воздействия на малые реки Севастопольского региона // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2024 <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.47.437>

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Д.Ю. Панченко¹, Е.В. Буркова²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, dimapanchenko01@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, EVBurkova@sevsu.ru

Аннотация. Рассматривается возможность использования систем солнечного теплоснабжения для отопления объектов индивидуального жилищного строительства. Проанализированы коллекторы по видам.

Ключевые слова: солнце, энергия, коллектор, топливо.

THE POSSIBILITY OF USING SOLAR COLLECTORS TO OPTIMIZE HEATING SYSTEMS

D.Y. Panchenko¹, E.V. Burkova²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, dimapanchenko01@mail.ru

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, EVBurkova@sevsu.ru

Annotation. The possibility of using solar heat supply systems for heating individual housing construction facilities is being considered. The collectors are analyzed by type.

Keywords: sun, energy, collector, fuel.

Введение

Вопросы обеспечения экологической безопасности территорий городов и населённых пунктов при теплоснабжении жилых и общественных зданий являются одним из важнейших направлений экологических исследований. Большинство энергоресурсов, которые используются относятся к невозобновляемым и близки к исчерпанию. В настоящее время активно рассматривается «малая» энергетика, которая потребляет более 60% всего топлива топливно-энергетического комплекса (ТЭК), в котором теплоснабжение объектов ЖКХ, главным образом, обеспечивается котельными малой мощности (до 20 МВт). Обычно, такие объекты работают без учета природоохранных мероприятий, так же наблюдается превышение допустимых уровней выбросов загрязняющих веществ.

Негативное влияние, возникающее в результате эксплуатации теплогенерирующих объектов, является на сегодняшний день проблемой, требующей первоочередного решения. Снижение антропогенного воздействия на атмосферу является важной задачей, так как от качества атмосферного воздуха зависит не только здоровье человека, но и качество жизни населения.

Теплогенерирующие объекты ЖКХ относятся к основным загрязнителям воздушного бассейна. Воздействие их на окружающую среду и на состояние атмосферного воздуха во многом зависит от вида сжигаемого топлива.

Альтернативным видом «топлива» для теплогенерирующих объектов является солнечная энергия, т.к. Солнце является огромным, неиссякаемым и безопасным источником энергии, доступным в любом уголке планеты. Использование солнечной энергии не оказывает негативного влияния на окружающую среду, а также позволяет уменьшить использование ограниченных ресурсов, таких как газ и уголь. Существует мнение, что энергетика будущего должна базироваться на использовании солнечной энергии в различных технических направлениях.

Цель исследования

Солнечная энергия универсальна с точки зрения возможностей ее использования. Солнечное излучение может быть относительно легко преобразовано в тепловую,

механическую и электрическую энергию, а также использовано в химических и биологических процессах. Солнечные энергетические установки работают в системах отопления и охлаждения жилых, общественных и промышленных зданий, в технологических процессах, протекающих при разных температурах. Сами технологические процессы преобразования и использования солнечного излучения по своей технологической сложности могут быть очень разными. Установки могут быть по своим габаритам также различными: от микроминиатюрных источников питания микрокалькуляторов и ручных часов до огромных технических конструкций в башенных солнечных электростанциях высотой 100 м и весом в сотни тонн.

В зависимости от технологических схем установки могут существенно отличаться друг от друга - от простейших нагревательных плоских поверхностей до сложнейших систем управления для слежения за Солнцем с целью получения максимального прихода солнечного излучения на приёмные площадки.

Заключение

Важное значение имеет задача классификации солнечных энергетических установок для поиска путей повышения эффективности систем. К основным категориям типов и видов солнечных энергетических установок можно отнести следующие:

1. По виду преобразования солнечного излучения в другие виды энергии при использовании солнечных установок в электро- и теплоэнергетике они могут делиться на категории:

- установки, предназначенные для работы в большой объединённой энергетической системе;
- установки, работающие на локальную сеть;
- установки, предназначенные для обеспечения автономного потребителя.

2. От категории использования установок - требования об их сочетании с системами аккумуляции энергии или с другими установками на основе возобновляемых источников энергии. В солнечных электростанциях таких требований, как правило нет, но они могут присутствовать при необходимости поддержания рабочего состояния системы в периоды отсутствия солнечного излучения. Для этого помимо систем аккумуляции возможно использование других источников энергии:

1. По стационарности различают установки:

- переносные;
- передвижные;
- стационарные.

2. по виду ориентации на Солнце:

- с неизменной ориентацией;
- с системой слежения за Солнцем.

К первым, как правило, относятся установки бытового назначения. Иногда для них конструктивно предполагается возможность изменения угла наклона панелей для повышения эффективности в разное время года.

По технической сложности:

- простые (нагреватели воды различных конструкций, подогреватели воздуха, теплицы, отопительные системы);
- сложные (башенные солнечные электростанции, солнечные пруды, установки с параболоцилиндрическими концентраторами, солнечные коллекторы, солнечные фотоэлектрические установки).

Таким образом внедряют солнечные коллекторы – устройства, поглощающие световую энергию Солнца и преобразующие её в тепло, которое передаётся теплоносителю и затем используется для хозяйственных нужд. В качестве теплоносителя может быть вода, воздух и другие теплоносители.

Солнечный коллектор включает в себя следующие основные элементы:

1. Адсорбер, представляющий собой металлическую панель, окрашенную в чёрный цвет;

2. Ряд металлических труб, соединённых с адсорбером и содержащих в себе теплоноситель;

3. Прозрачная изоляция из стекла, пропускающая солнечное излучения, и снижающая потери тепла;

Солнечный коллектор подсоединён к резервуару с водой теплообменником. Теплообменник предназначен для перемещения тепла от теплоносителя в коллекторе к воде, находящейся в резервуаре. Теплообменник представляет собой спираль из медной или металлопластиковой трубы, которая помещается внутрь резервуара. Теплоноситель циркулирует по спирали и нагревает воду в резервуаре. По санитарно-гигиеническим нормам вода в резервуаре должна быть надёжно защищена от попадания теплоносителя, который может содержать токсические вещества.

Жидкость между коллектором и резервуаром перемещается благодаря конвекции за счёт того, что горячая жидкость всегда поднимается вверх.

Данные системы работают следующим образом:

1. Солнце нагревает жидкость в коллекторе;
2. Нагретая вода поднимается по коллектору и трубе к резервуару-аккумулятору;
3. Когда горячая жидкость поступает в теплообменник, установленный в резервуаре, тепло передается от теплообменника к воде в резервуаре;
4. Жидкость остывая, перемещается вниз по теплообменнику и обратно в коллектор;
5. Вода, нагретая в резервуаре, перемещается в его верхнюю часть, а холодная – в нижнюю;
6. Нагретая вода отбирается для использования через выходное отверстие в верхней части резервуара.

Пока коллектор освещается Солнцем, жидкость в его трубках постоянно циркулирует между коллектором и резервуаром, обеспечивая постоянный подвод тепла, что дает возможность получать тепло для отпеления.

Список литературы

1. Буркова Е.В., Бурков Д.В. Возможность круглогодичного использования солнечной энергии в Крыму // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2019. – № 5 (337). – С. 151-158.
2. Буркова Е.В., Бурков Д.В., Осадчая Л.И., Буркова С.Д. Эффективность гелиостанций для отопления и горячего водоснабжения на основе отработанных карьеров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2025. – № 1 (338). – С. 151-158.
3. Буркова Е. В., Горбатов О.И., Бурков Д. В. Основные принципы создания каскадных гелиоустановок для сезонного горячего водоснабжения / Е. В. Буркова, О.И. Горбатов, Д. В. Бурков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – 2021. – № 6 (350). – С. 167-171.
4. Авезов Р.Р. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения / Р.Р. Авезов, А. Ю. Орлов. – Ташкент. – 1988г.- 288с

УДК 658.345:621+ 06

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ

Е.Е. Калюжная¹, Л.И. Осадчая²¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, elizavetakaluznaa14@gmail.com²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, liosadchaya@mail.sevsu.ru

Аннотация. Целью исследования является системный анализ проблем оценки профессиональных рисков для разработки рекомендаций по совершенствованию методов управления рисками на предприятиях. Установлено, что процесс анализа профессиональных рисков является системным циклом, включает этапы идентификации, оценки и управления рисками. Каждый из этих этапов состоит из нескольких взаимосвязанных подпроцессов, обеспечивающих точность и полноту анализа. Предложены меры по совершенствованию методов оценки и управления профессиональными рисками: переход на количественные и мультифакторные модели оценки для повышения точности и объективности; использование цифровых технологий, включая датчики мониторинга и аналитические платформы, для своевременного выявления и управления рисками; повышение квалификации персонала, регулярное обучение и внедрение мотивационных программ для повышения ответственности сотрудников за соблюдение норм безопасности; внедрение международных стандартов управления безопасностью труда (ISO 45001) с целью гармонизации различных подходов.

Ключевые слова: опасность, профессиональный риск, оценка, идентификация рисков, мониторинг, управление рисками.

ANALYSIS OF PROBLEMS OF ASSESSING PROFESSIONAL RISKS

E.E. Kalyuzhnaya¹, L.I. Osadchaya²¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, elizavetakaluznaa14@gmail.com²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, liosadchaya@mail.sevsu.ru

Abstract. The aim of the study is a system analysis of the problems of assessing professional risks to develop recommendations for improving risk management methods at enterprises. It has been established that the process of analyzing professional risks is a systemic cycle that includes the stages of risk identification, assessment and management. Each of these stages consists of several interrelated subprocesses that ensure the accuracy and completeness of the analysis. The following measures are proposed to improve the methods of assessing and managing professional risks: transition to quantitative and multifactor assessment models to improve accuracy and objectivity; use of digital technologies, including monitoring sensors and analytical platforms, for timely identification and management of risks; advanced training of personnel, regular training and implementation of motivational programs to increase employee responsibility for compliance with safety standards; implementation of international occupational safety management standards (ISO 45001) to harmonize approaches.

Keywords: danger, professional risk, assessment, risk identification, monitoring, risk management.

Введение

Оценка профессиональных рисков является неотъемлемой частью управления охраной труда на любом предприятии, поскольку она позволяет своевременно выявить опасности, оценить их возможные последствия и разработать меры по снижению рисков. В условиях современного производства, когда технологические процессы становятся все более сложными, а требования к безопасности труда ужесточаются, правильная оценка профессиональных рисков играет ключевую роль в обеспечении безопасности работников и предотвращении производственных травм и несчастных случаев [1-3].

Однако на практике оценка профессиональных рисков часто сопровождается рядом проблем. Эти проблемы могут быть связаны как с методологическими аспектами, так и с организационными трудностями при внедрении систем оценки рисков. Нередко на предприятиях недооценивают значимость системного анализа рисков, что приводит к отсутствию эффективных мер по их управлению. Кроме того, существуют сложности с

применением различных методов оценки рисков, что может обуславливать искажение результатов и недостаточную их релевантность [4, 5].

Цель исследования – проведение системного анализа проблем оценки профессиональных рисков для разработки рекомендаций по совершенствованию методов управления рисками на предприятиях.

Результаты и их обсуждение

Оценка профессиональных рисков является одним из ключевых составляющих системы управления охраной труда¹⁻⁴. Научные исследования в этой области сосредоточены на создании методологических основ для оценки рисков. Однако до сих пор не существует единой нормативной методики. Это даёт работодателям возможность самостоятельно разрабатывать локальные методы оценки профессиональных рисков, основываясь на общих принципах риск-ориентированного подхода и систематизации опасностей.

В целом, процесс анализа профессиональных рисков является системным циклом, включает этапы идентификации, оценки и управления рисками. Каждый из этих этапов состоит из нескольких взаимосвязанных подпроцессов, обеспечивающих точность и полноту анализа, ключевыми из них являются:

1. Идентификация рисков и сбор информации: важнейший начальный этап анализа профессиональных рисков. Анализ рабочего процесса и сбор информации формируют основу для качественного и количественного анализа.

2. Переход к вероятностной оценке и расчёту риска: после сбора данных и анализа рабочего процесса происходит информирование о риске и оценка вероятности его возникновения. Это ключевой момент для количественной оценки рисков и последующего выбора подходов к их преодолению.

3. Оценка и переход к управлению рисками: после анализа и расчёта рисков наступает этап оценки, который включает принятие решений о необходимых мерах безопасности.

4. Мониторинг и корректировка: управление рисками тесно связано с процессами мониторинга и контроля. Полученные данные используются для корректировки, что замыкает цикл и позволяет совершенствовать систему.

5. Оптимизация и прогнозирование: заключительный этап управления рисками связан с разработкой долгосрочной стратегии.

Данная этапность наглядно демонстрирует необходимость системности в анализе профессиональных рисков. Следует подчеркнуть, что анализ – это не разовый процесс, а постоянный и циклический механизм. Каждый этап выполняет свою роль, их интеграция позволяет эффективно выявлять, оценивать и снижать профессиональные риски. Важно отметить, что успех системы зависит от качества данных, правильного выбора методов оценки и регулярного мониторинга.

Для эффективного управления профессиональными рисками необходимо оптимизировать существующую структуру управления, что включает не только пересмотр методологии анализа и оценки рисков, но и внедрение цифровых инструментов и повышение роли управленческих решений.

¹ Приказ Минтруда РФ от 31 января 2022 г. N 36 «Об утверждении рекомендаций по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей» URL: <https://docs.cntd.ru/document/728094911>

² Приказ Минтруда РФ от 28 декабря 2021 г. N 926 «Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков» URL: <https://docs.cntd.ru/document/728029758>

³ Приказ Минтруда РФ от 29 октября 2021 г. N 776н «Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда» URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092790>

⁴ Р 2.2.3969-23. 2.2. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Руководство" (утв. Главным гос. санитарным врачом РФ 07.09.2023) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_489426/

Основными оптимизационными решениями могут стать:

1. Переход на количественные и мультифакторные модели оценки для повышения точности и объективности результатов. Мультифакторный анализ позволит учитывать влияние разнообразных факторов (например, эргономику рабочего места, состояние оборудования, уровень подготовки сотрудников), что даст целостную картину рисков, с которыми сталкиваются работники на каждом этапе рабочего процесса.

2. Использование цифровых технологий, включая датчики мониторинга и аналитические платформы, для своевременного выявления и управления рисками. Цифровые платформы для анализа и хранения данных, в которой информация от датчиков обрабатывается и выявляются закономерности, позволяющие предсказывать и предупреждать аварийные ситуации, крайне актуальны для ОПО, где малейшие отклонения от нормы могут привести к серьёзным последствиям.

Использование моделей, основанных на данных производственного мониторинга, позволит моделировать различные сценарии развития событий при изменении условий труда (например, в условиях экстремальных температур или аварийных ситуаций); прогнозировать поведение рисков и корректировать стратегии управления в реальном времени, что позволит оперативно реагировать на нестандартные ситуации, прогнозировать реакции системы на управляющие воздействия.

3. Повышение квалификации персонала, регулярное обучение и внедрение мотивационных программ для повышения ответственности сотрудников за соблюдение норм безопасности.

4. Внедрение международных стандартов управления безопасностью труда (ISO 45001) для гармонизации подходов и повышения уровня защиты работников.

5. Постоянное обновление методологий оценки рисков с учетом изменений в законодательстве, технологических процессов и условий труда.

Применение современных технологий, в частности, датчиков для мониторинга условий труда и системы автоматизации анализа данных, позволит повысить точность оценки рисков и улучшить общую культуру безопасности на производстве. Это особенно важно для предприятий, использующих сложные технологические процессы, стремящихся к соблюдению международных стандартов.

Выводы

На основе анализа существующих методов оценки профессиональных рисков были выявлены их ключевые преимущества и ограничения.

Одной из ключевых выявленных проблем является недостаточное использование цифровых технологий. Внедрение автоматизированных систем мониторинга, анализа данных и предиктивного моделирования способно не только повысить точность оценки рисков, но и значительно ускорить процесс принятия решений по их управлению. Разработанная структурная модель управления профессиональными рисками демонстрирует системный и циклический подход, включающий последовательные этапы: идентификацию, оценку, управление, мониторинг и корректировку. Такой подход позволяет не только выявлять и минимизировать существующие угрозы, но и прогнозировать потенциальные риски, что делает систему управления более устойчивой и адаптивной.

Список литературы

1. Сподах Г.Г. Систематизация методов идентификации, анализа и оценки рисков // Вестник Астраханского технического университета. №2, 2021. С. 31-37.
2. Воробинская Л.И., Финоченко В.А. Особенности оценки и управления профессиональными рисками // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 11 С. 253-259.
3. Комзолов, А. А., Кириченко, Т. В., Бархатов, В. Д., Манежева, М. В. Анализ методических подходов к количественной оценке профессиональных рисков. Вестник Московского университета. Серия 6 Экономика, (2). 2022. 110—141. <https://doi.org/10.38050/01300105202226>.
4. Воробинская Л.И. Специальная оценка условий труда как информационная база для внедрения риск-ориентированного подхода в сфере охраны труда / Л.И. Воробинская, В.А. Финоченко, Т.А. Финоченко. Труды РГУПС. Ростов н/Д: №2(51), 2020. С. 18-22.
5. Risk Management in Transportation Safety System. Yizkov I, Finochenko T., Dergacheva L. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science" - Chapter 1" 2021. С. 022050. doi:10.1088/1755-1315/666/2/022050

ПРИМЕНЕНИЕ MACHINE LEARNING И ARTIFICIAL INTELLIGENCE В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

А.С. Аветисян¹

¹ ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
г. Иркутск, 664074, Россия, avetisyan_geven@mail.ru

Аннотация. В условиях нарастающего глобального спроса на энергию и неотложной задачи по снижению выбросов парниковых газов, машинное обучение (МО) и искусственный интеллект (ИИ) трансформируются в незаменимые инструменты для создания прорывных энергетических решений. Их возможности активно используются для интеллектуального управления и тонкой настройки энергосистем, позволяя проводить глубокий анализ и прогнозировать модели энергопотребления. Это, в свою очередь, дает возможность оптимизировать распределение энергетических ресурсов и эффективно управлять нагрузками, значительно повышая общую производительность. Не менее важна роль этих передовых технологий в управлении энергоэффективностью зданий и городской среды. Здесь автоматизированные системы, основанные на МО и ИИ, анализируют данные о потреблении энергии в режиме реального времени и адаптируют работу систем отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения, что приводит к существенному снижению операционных издержек. Кроме того, МО и ИИ демонстрируют исключительную эффективность в прогнозировании объемов энергии, генерируемой из возобновляемых источников. Анализируя метеорологические данные и параметры солнечной активности, они обеспечивают точное планирование и рациональное управление энергетическими системами, основанными на возобновляемых источниках энергии.

Ключевые слова: спрос на энергию, выбросы парниковых газов, машинное обучение, искусственный интеллект, энергетические решения.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ENERGY SECTOR TO ACHIEVE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

A.S. Avetisyan¹

¹ FSBEI HE Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russia,
avetisyan_geven@mail.ru

Abstract. In the face of increasing global energy demand and the urgent task of reducing greenhouse gas emissions, machine learning (MO) and artificial intelligence (AI) are being transformed into indispensable tools for creating breakthrough energy solutions. Their capabilities are actively used for intelligent control and fine-tuning of power systems, allowing for in-depth analysis and forecasting of energy consumption patterns. This, in turn, makes it possible to optimize the allocation of energy resources and effectively manage loads, significantly increasing overall productivity. Equally important is the role of these advanced technologies in managing the energy efficiency of buildings and the urban environment. Here, automated systems based on MO and AI analyze data on energy consumption in real time and adapt the operation of heating, ventilation, air conditioning and lighting systems, which leads to a significant reduction in operating costs. In addition, MO and AI demonstrate exceptional efficiency in predicting the amount of energy generated from renewable sources. By analyzing meteorological data and solar activity parameters, they ensure accurate planning and rational management of energy systems based on renewable energy sources.

Keywords: energy demand, greenhouse gas emissions, machine learning, artificial intelligence, energy solutions.

Энергетический сектор играет ключевую роль в социально-экономическом развитии, но в то же время является одним из основных источников выбросов парниковых газов и оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. В контексте глобальных вызовов, связанных с изменением климата и необходимостью обеспечения устойчивого развития, энергетический сектор сталкивается с рядом критических проблем, требующих инновационных решений. Ключевые из них:

- **Повышение энергоэффективности:** Неэффективное использование энергии приводит к существенным потерям ресурсов и увеличению негативного воздействия на окружающую среду. Необходимы новые подходы к оптимизации потребления энергии на всех этапах - от производства до конечного использования.

- **Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ):** Переход к ВИЭ является ключевым фактором для декарбонизации энергетического сектора. Однако, нестабильность и прерывистый характер ВИЭ требует разработки эффективных систем управления и прогнозирования для обеспечения надежного энергоснабжения.

- **Управление энергетическими сетями:** Современные энергетические сети становятся все более сложными и децентрализованными, что требует внедрения интеллектуальных систем управления для обеспечения стабильности, надежности и эффективности их работы.

- **Прогнозирование спроса и предложения энергии:** Точное прогнозирование спроса и предложения энергии необходимо для оптимизации производства, распределения и хранения энергии, а также для планирования развития энергетической инфраструктуры.

- **Снижение выбросов и оптимизация экологической безопасности:** Сокращение выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ является критически важным для смягчения последствий изменения климата и обеспечения экологической безопасности. Необходимы новые технологии и подходы для мониторинга, контроля и снижения выбросов.

Для решения этих проблем и достижения целей устойчивого развития в энергетическом секторе необходимо внедрение передовых технологий, способных анализировать большие объемы данных, выявлять закономерности и принимать оптимальные решения. Machine Learning (ML) и Artificial Intelligence (AI) представляют собой мощные инструменты, обладающие потенциалом для трансформации энергетического сектора.

В настоящее время, несмотря на растущий интерес к применению ML и AI в энергетике, существует ряд барьеров, препятствующих их широкому распространению. К ним относятся:

- **Недостаток качественных данных:** Для эффективного обучения моделей ML требуется наличие больших объемов качественных и структурированных данных, что часто является проблемой в энергетическом секторе.

- **Сложность интеграции с существующей инфраструктурой:** Внедрение ML и AI требует интеграции с существующими системами и оборудованием, что может быть сложным и дорогостоящим процессом.

- **Недостаток квалифицированных специалистов:** Для разработки, внедрения и эксплуатации ML и AI систем требуются специалисты с соответствующими знаниями и навыками.

- **Проблемы кибербезопасности:** Использование ML и AI в энергетическом секторе повышает уязвимость к кибератакам, что требует разработки надежных систем защиты.

Таким образом, исследование возможностей применения ML и AI в энергетическом секторе для достижения целей устойчивого развития является актуальной и значимой задачей. Решение этой задачи требует комплексного подхода, включающего разработку новых алгоритмов и моделей, адаптацию существующих решений к специфике энергетического сектора, а также преодоление технических, организационных и экономических барьеров. Данное исследование направлено на изучение этих вопросов и выявление перспективных направлений применения ML и AI для обеспечения устойчивого развития энергетического сектора.

Традиционные подходы к управлению энергетическими системами уступают место интеллектуальным решениям. Прогнозирование спроса на энергию – краеугольный камень эффективного энергоменеджмента, и здесь на сцену выходят алгоритмы машинного обучения (МО), предлагающие беспрецедентную точность и адаптивность [1].

В отличие от статичных статистических моделей, МО способны учитывать сложную паутину взаимосвязей в энергетической инфраструктуре. Климатические колебания, суточные ритмы, экономические факторы – все это становится пищей для алгоритмов глубокого обучения и искусственного интеллекта (ИИ). Они выявляют неочевидные паттерны в массивах исторических данных, создавая прогностические модели, превосходящие традиционные методы по всем параметрам.

Преимущества использования МО неоспоримы: обработка огромных объемов данных, возможность оперативного прогнозирования в режиме реального времени и исключение субъективности человеческого фактора. Эти точные прогнозы позволяют энергетическим компаниям оптимизировать производство и распределение энергии, минимизируя потери и снижая воздействие на окружающую среду. Фактически, МО становится катализатором для более рационального использования ресурсов и сокращения экологического следа энергетической отрасли.

Искусственный интеллект не просто прогнозирует, он оптимизирует. Анализируя исторические данные о потреблении энергии, ИИ определяет оптимальные режимы работы энергосистем, минимизируя потери и сокращая операционные издержки. Представьте "умный дом", где энергопотребление автоматически адаптируется к потребностям жильцов и погодным условиям, снижая нагрузку на сеть в пиковые часы. Это лишь один пример того, как ИИ принимает решения в режиме реального времени, основываясь на анализе данных.

Внедрение машинного обучения повышает эффективность контроля над энергетическими системами, снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует устойчивому развитию. Точное моделирование и прогнозирование спроса позволяют более эффективно планировать добычу ресурсов, оптимизировать их использование и сокращать выбросы парниковых газов. Оптимизация энергетических процессов с помощью ИИ – это не просто тренд, это ключевой шаг на пути к устойчивой энергетике. Это инвестиция в будущее, где производительность растет, затраты снижаются, а природные ресурсы сохраняются.

В эпоху децентрализации и повышенного внимания к экологической устойчивости, эффективное управление энергосетями становится критически важным. Алгоритмы машинного обучения, способные к самообучению и адаптации, играют ключевую роль в повышении энергоэффективности и оптимизации процессов в энергетике. Анализируя огромные объемы данных о потреблении, производстве и параметрах сети, эти алгоритмы выявляют закономерности, позволяющие оптимизировать работу энергетических систем, прогнозировать нагрузку и эффективно управлять ресурсами.

Внедрение машинного обучения сулит значительные выгоды: снижение энергопотребления, увеличение доли возобновляемых источников энергии и повышение качества энергоуслуг. Однако, наряду с преимуществами, существуют и вызовы: необходимость в больших объемах качественных данных для обучения, сложность интерпретации результатов и значительные затраты на внедрение [2].

Несмотря на это, алгоритмы машинного обучения уже доказали свою эффективность в прогнозировании нагрузки, управлении распределением энергии и снижении выбросов углерода. Они играют ключевую роль в современной энергетике, поддерживая устойчивое развитие и открывая путь к более экологичному и эффективному будущему.

Современная энергетическая инфраструктура переживает период кардинальных изменений, обусловленных внедрением передовых технологий машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ). Эти инновации открывают беспрецедентные возможности для повышения эффективности, обеспечения устойчивого развития и минимизации воздействия на окружающую среду.

Интеллектуальное управление энергосистемами:

- Прогнозирование и оптимизация: Алгоритмы ИИ, анализируя огромные массивы данных о производстве, потреблении и распределении энергии, позволяют с высокой точностью прогнозировать спрос. Это, в свою очередь, оптимизирует производственные процессы, снижает издержки и повышает надежность энергоснабжения.

- Автоматизированное управление: ИИ обеспечивает автоматическое управление сложными энергетическими системами, анализируя данные о состоянии оборудования и режимах работы. Это позволяет оптимизировать работу электростанций и сетей, повышая эффективность и качество обслуживания потребителей.

- **Диагностика и профилактика:** Технологии ИИ используются для предиктивной диагностики оборудования, предсказывая возможные отказы и оптимизируя графики технического обслуживания, что снижает риски аварий и простоев.

ИИ и возобновляемая энергетика:

- **Оптимизация использования:** ИИ играет ключевую роль в оптимизации использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Он помогает эффективно управлять генерацией, хранением и распределением энергии, увеличивая долю ВИЭ в энергобалансе и снижая зависимость от ископаемого топлива.

- **Прогнозирование выработки:** Алгоритмы машинного обучения позволяют прогнозировать выработку энергии ВИЭ, учитывая погодные условия и другие факторы. Это оптимизирует работу энергетической системы и автоматизирует управление энергетическими сетями.

- **Умные города:** В концепции "умных городов" ИИ оптимизирует работу энергетической инфраструктуры, учитывая особенности городской среды и потребительские привычки, обеспечивая эффективное и устойчивое энергоснабжение.

Снижение воздействия на окружающую среду:

- **Эффективное потребление:** ИИ способствует снижению негативного воздействия энергетических процессов на окружающую среду за счет оптимизации потребления ресурсов и снижения выбросов.

- **Автоматизированные системы:** Примеры включают автоматические системы регулировки освещения, реагирующие на присутствие людей и время суток, а также системы мониторинга и предотвращения аварий.

- **Сокращение выбросов:** Оптимизация работы ВИЭ с помощью ИИ позволяет снизить зависимость от ископаемого топлива и сократить выбросы парниковых газов.

Взаимосвязь устойчивого развития и ИИ в энергетике [3]:

Устойчивое развитие требует удовлетворения потребностей настоящего без ущерба для будущих поколений. В этом контексте ИИ и машинное обучение становятся незаменимыми инструментами:

- **Оптимизация производственных процессов:** ИИ оптимизирует производственные процессы и потребление энергии, повышая эффективность использования ресурсов и минимизируя воздействие на окружающую среду.

- **Автоматизация управления:** ИИ создает автоматизированные системы управления потреблением энергии, минимизирующие потери и нагрузку на энергетическую систему.

- **Прогнозирование и предотвращение:** ИИ оптимизирует работу электросетей, прогнозируя нагрузку и управляя распределением электроэнергии, повышая эффективность и уменьшая вероятность аварий.

В заключение, ИИ представляет собой мощный инструмент для трансформации энергетической отрасли, способствуя устойчивому развитию, повышению эффективности и снижению воздействия на окружающую среду. Дальнейшее развитие и внедрение этих технологий позволит создать более экологически чистую, надежную и экономически эффективную энергетическую систему.

В эпоху технологического прогресса искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) становятся ключевыми элементами в переосмыслении энергетической отрасли и обеспечении устойчивого развития. Их потенциал простирается от радикального повышения эффективности энергетических систем до оптимизации использования ресурсов и совершенствования прогнозирования [4].

Интеграция ИИ и МО открывает двери к созданию самообучающихся и адаптивных энергетических систем. Алгоритмы МО, анализируя колоссальные объемы данных, способны выявлять скрытые закономерности и прогнозировать поведение энергетических сетей. Это позволяет оптимизировать графики производства и потребления энергии, снижая издержки и повышая рентабельность. ИИ и МО лежат в основе интеллектуальных систем управления,

которые динамически адаптируются к колебаниям спроса и предложения, обеспечивая стабильность и надежность энергоснабжения. Более того, они способны осуществлять предиктивную диагностику оборудования, выявляя потенциальные неисправности на ранних стадиях и предлагая оптимальные решения для их устранения, что значительно увеличивает срок службы оборудования и снижает риск аварий. Спектр применения простирается от интеллектуального распределения энергии и точного прогнозирования спроса до автоматизированного управления энергетическими сетями. В конечном итоге, это ведет к созданию экологически чистых и экономически эффективных энергетических систем, которые не только удовлетворяют потребности общества, но и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду.

Несмотря на огромный потенциал, внедрение МО и ИИ в энергетический сектор сопряжено с рядом вызовов. Значительные первоначальные инвестиции в оборудование и разработку специализированных алгоритмов могут стать серьезным препятствием для многих компаний. Кроме того, энергетическая отрасль испытывает острую потребность в высококвалифицированных специалистах, обладающих глубокими знаниями в области МО и ИИ. Создание благоприятной среды для привлечения и удержания таких талантов является критически важным. Технологическая сложность разработки и тонкой настройки моделей требует глубокого понимания специфики энергетических систем и обработки больших объемов данных. Обеспечение кибербезопасности и защиты данных от несанкционированного доступа также является первостепенной задачей. Наконец, отсутствие четких стандартов и нормативно-правовой базы в области применения ИИ и МО в энергетике может затруднить широкомасштабное внедрение этих технологий. Однако, несмотря на эти трудности, МО и ИИ представляют собой мощный инструмент для повышения эффективности и устойчивости энергетической отрасли. Преодоление этих препятствий откроет путь к устойчивому развитию и значительному снижению антропогенного воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Кузнецова, И. О. Возникновение искусственного интеллекта, его преимущества и недостатки / И. О. Кузнецова, Ю. В. Шляпина // Цивилизационные перемены в России : Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 15 мая 2023 года. – Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет", 2023. – С. 83-87.
2. Шнейдер, П. А. Искусственный интеллект и современность / П. А. Шнейдер, А. В. Торшина // Наука и производство Урала. – 2023. – Т. 19. – С. 102-105.
3. Хренников, А. Ю. Принципы построения систем искусственного интеллекта и их применение в электроэнергетике / А. Ю. Хренников, А. Ю. Хренников, Ю. Я. Любарский // Энергетик. – 2022. – № 3. – С. 22-30.
4. Горохов, А. В. Искусственный интеллект / А. В. Горохов, В. А. Мартынов, В. А. Гаврин // Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2022. – № 4(68). – С. 159-162.

УДК 681.78

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

К.А. Титов¹, Л.Ю. Давыдова¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, , lydavydova@mail.sevsu.ru

Аннотация. В работе представлена лабораторная установка для исследования горения высокоэнергетических материалов при пониженных температурах. Реализована методика лазерного инициирования с одновременным визуальным контролем. Визуализация осуществлялась с использованием скоростной камеры Evercam F 1000-16-C. Приведены результаты реализации сценария лазерного инициирования горения образцов нанопорошка алюминия и термитной смеси $Al-Fe_2O_3$, помещенных на алюминиевую подложку внутри морозильной камеры. Предложенная методика исследования позволяет исследовать динамику воспламенения и условия зажигания различных высокоэнергетических материалов в условиях пониженных температур.

Ключевые слова: лазерное инициирование, нанопорошок алюминия, термитная смесь, синхронизация, морозильная камера (пониженные температуры).

LABORATORY INSTALLATION FOR THE STUDY OF COMBUSTION OF HIGH- ENERGY MATERIALS AT LOW TEMPERATURES

K.A. Titov¹, L.Y. Davydova¹¹FSAEI HE Sevastopol state university, Sevastopol, 299053, Russia, lydavydova@mail.sevsu.ru

Abstract. The paper presents a laboratory setup for the study of combustion of high-energy materials at reduced temperatures. The technique of laser initiation with simultaneous visual control was realized. Visualization was carried out using Evercam F 1000-16-C high-speed camera. The results of implementation of the scenario of laser initiation of combustion of samples of aluminum nanopowder and $Al-Fe_2O_3$ thermite mixture placed on an aluminum substrate inside a freezing chamber are presented. The proposed research methodology makes it possible to investigate the ignition dynamics and ignition conditions of various high-energy materials at low temperatures.

Keywords: laser initiation, aluminum nanopowder, thermite mixture, synchronization, freezer (low temperatures).

Введение. Высокотемпературное горение является сложным комплексом взаимосвязанных химических и физических процессов [1], поэтому исследовательские и инженерные работы по созданию оборудования и методик проведения экспериментов по инициированию и поддержанию режимов горения не теряют своей актуальности. При этом остаются вопросы относительно влияния низких температур на развитие процесса горения. Следует отметить, что при низких температурах окружающей среды меняются свойства и агрегатные состояния веществ, в частности условия возникновения и скорости горения [2]. Говоря о низких температурах, нельзя не отметить, что наша страна на 65 процентов находится на территории вечной мерзлоты. Наиболее широко вечная мерзлота распространена в Восточной Сибири и Забайкалье. Среднемесячные зимние температуры колеблются от -10 до -20°C на севере европейской части России и от -40 до -50°C в северных районах Восточной Сибири [3].

В связи с этим, актуальной научно-исследовательской задачей является определение параметров процесса горения высокоэнергетических материалов в условиях низких температур. Для решения поставленной задачи в данной работе предложена лабораторная установка лазерного инициирования высокоэнергетических материалов (ВЭМ) в условиях пониженных температур с визуализацией в режиме реального времени. Рассмотрен метод исследования и предложен сценарий реализации лазерного инициирования ВЭМ при отрицательных температурах для последующего применения при исследовании горения ВЭМ и различных видов топлив.

Схема лабораторной установки и условия реализации эксперимента

В работе используется научная лабораторная установка, специально разработанная для исследования процессов горения ВЭМ, протекающих в условиях низких температур, функциональная схема которой представлена на рис. 1. Образец ВЭМ 1 размещен на стойке с подложкой 2, статично закреплённой на полу радиатора морозильной камеры 11 холодильника «Минск-16». Камера холодильника изначально не была теплоизолирована, поэтому была создана изоляция из пеноплекса между внешней стороной стенок радиатора испарителя морозильной камеры и внутренних стенок корпуса холодильника. А для наблюдения за внутренним пространством морозильной камеры была изготовлена съёмная передняя крышка-стенка из того же материала со смотровым окном (кварцевое стекло толщиной 25 мм, диаметром 70 мм). Поджигание образца производилось при помощи иницилирующего лазера 3 (RLS-6-638/5-SMA-TEC с длиной волны 638 нм) и оптоволоконного световода 4. Для статичного сохранения расстояния между выходом оптоволоконна и линзой, а также для их комфортного размещения была спроектирована и напечатана 3D модель стойки-держателя 6 собирающей линзы 5 и выхода оптоволоконна (рис. 2).

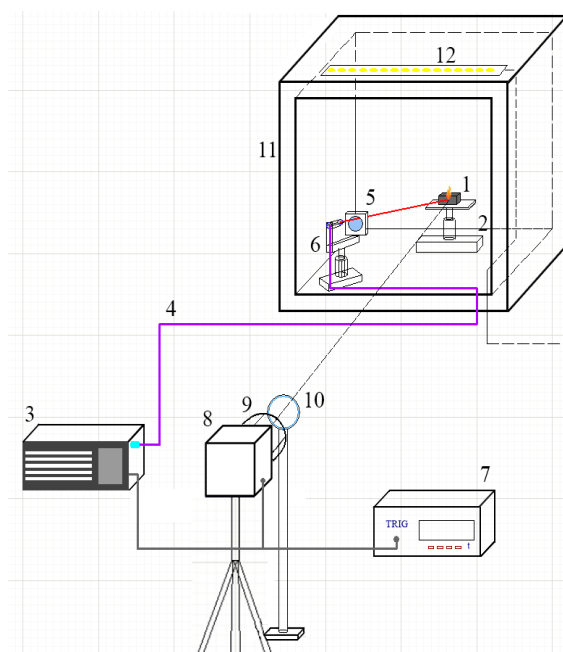


Рис. 1. Схема лабораторной установки

- 1 – образец; 2 – стойка с подложкой; 3 – иницирующий лазер (638 нм); 4 – оптоволоконный световод;
 5 – линза; 6 – стойка для выхода оптоволоконна и линзы; 7 – генератор импульсов;
 8 – скоростная камера (Evercam F 1000-16-C); 9 – объектив; 10 – светофильтр на стойке;
 11 – морозильная камера; 12 – светодиодная подсветка.

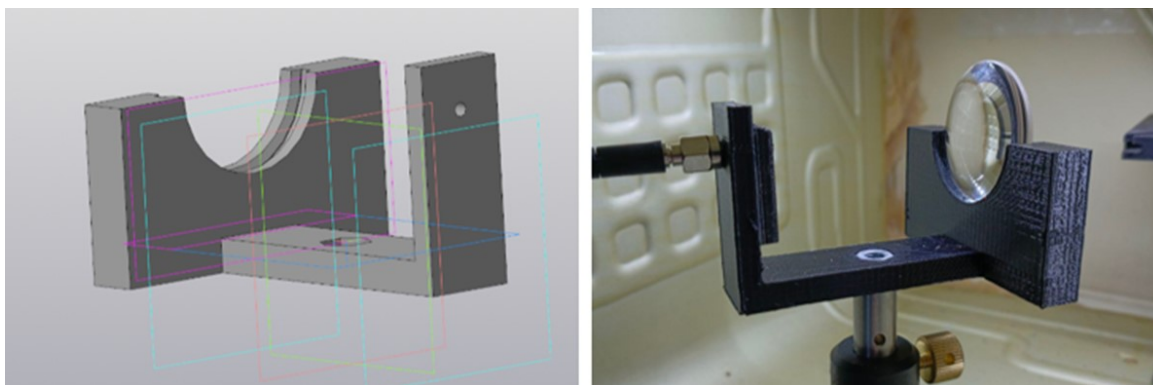


Рис. 2. Стойка-держатель линзы и выхода оптоволоконна

Съемка эксперимента осуществлялась при помощи скоростной камеры 8 Evercam F 1000-16-C [4] с объективом 9 (Canon Macro Lens EF 100 мм), ранее использованной нами в работе [5]. Запись синхронизировалась с лазером при помощи генератора импульсов 7. Перед объективом устанавливался полосовой светофильтр на стойке 10, пропускающий 85 % зелёного излучения с длиной волны 510 ± 5 нм и не пропускающий лазерное излучение 638 нм. Для удобства работы в морозильной камере была проведена светодиодная подсветка 12. Для мониторинга климатических показателей внутри камеры был применён электронный термометр с возможностью измерения влажности.

Одним из наиболее распространенных типов энергетических материалов являются термитные смеси на основе нанопорошка алюминия [6]. В данной работе в качестве горючего вещества использовались образцы, приготовленные из нанопорошка алюминия и термитной смеси $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$. Образцы массой 150 мг формовались в форме параллелепипеда размером $20 \times 5 \times 3$ мм³. В нашем случае быстрота воспламенения зависит от мощности лазера и времени нахождения образцов внутри камеры (низкая температура, промерзание частиц влаги, недостаток температуры для плавления льда). Мощность излучения лазера, измеренная на образце, составляла 1 Вт. Эксперимент проводится при температуре в морозильной камере (-25 ± 2) °С и относительной влажности воздуха ~ 40 %. Во время эксперимента возникала проблема утечки холода, в связи с постоянным открытием передней крышки для помещения внутрь камеры испытуемых образцов. По этой причине, средняя температура в камере сохранялась в области -20 °С.

Результаты экспериментов

В ходе экспериментальной части работы с камеры получены последовательности изображений процесса горения приготовленных образцов ВЭМ внутри морозильной камеры, которые приведены на рис. 3 и 4. Каждая подборка получена путем редукции полной записи (составляла около 13 500 кадров) в соответствии с основными фазами горения образцов и дает представление о динамике протекания процессов в условиях отрицательных температур. На рис. 5 представлены фотографии образцов до инициирования и после сгорания. Всего было проведено по 4 эксперимента с нанопорошком Al и термитной смесью $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$. Каждый эксперимент различался по времени размещения образцов в морозильной камере: 0 минут, 30 минут, 1 час, более 6 часов.

Образец нанопорошка алюминия на рис. 3 поджигался при мощности лазера 1,0 Вт, время инициирования составляло 4 с, съёмка велась со скоростью 500 кадров/сек. Образец при этом пролежал внутри морозильной камеры $t_{\text{хол}} = 30$ минут, и температура его составляла около минус 25 °С. Процесс горения образца алюминия в таких условиях достаточно долгий – более 20 секунд, как и время его воспламенения – начало высокотемпературной стадии горения пришлось на отметку 11 секунд после начала инициирования.

Образец нанотермитной смеси $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ на рис. 4 поджигался также при мощности лазера 1,0 Вт, время инициирования составило в этом эксперименте 2 с, съёмка велась со скоростью 1000 кадров/сек. Образец пролежал внутри морозильной камеры 30 минут при температуре около минус 25 °С. Как видно по кадрам, процесс горения образца термитной смеси имеет взрывной характер и протекает намного быстрее по сравнению с нанопорошком алюминия (весь процесс занимает меньше 2,5 секунд).

Полученные результаты визуализации показывают, что в созданных условиях пониженных температур время воспламенения подобных смесей увеличивается с понижением температуры. Образцы, находившиеся в морозильной камере менее 30 минут, воспламеняются быстрее по сравнению с образцами, находившимися в камере более длительное время. Для термитной смеси время воспламенения сопоставимо с образцами, находящимися при комнатной температуре и соответствует наблюдаемому ранее в работе [7]. Воспламенение и горение нанопорошка алюминия протекает примерно в два раза медленнее, по сравнению с данными в работе [8]. Образцы, находившиеся в камере более часа, или воспламеняются и тухнут, или не загораются совсем. Этот факт свидетельствует об эффективности наиболее доступного способа управления горением – охлаждения [9].

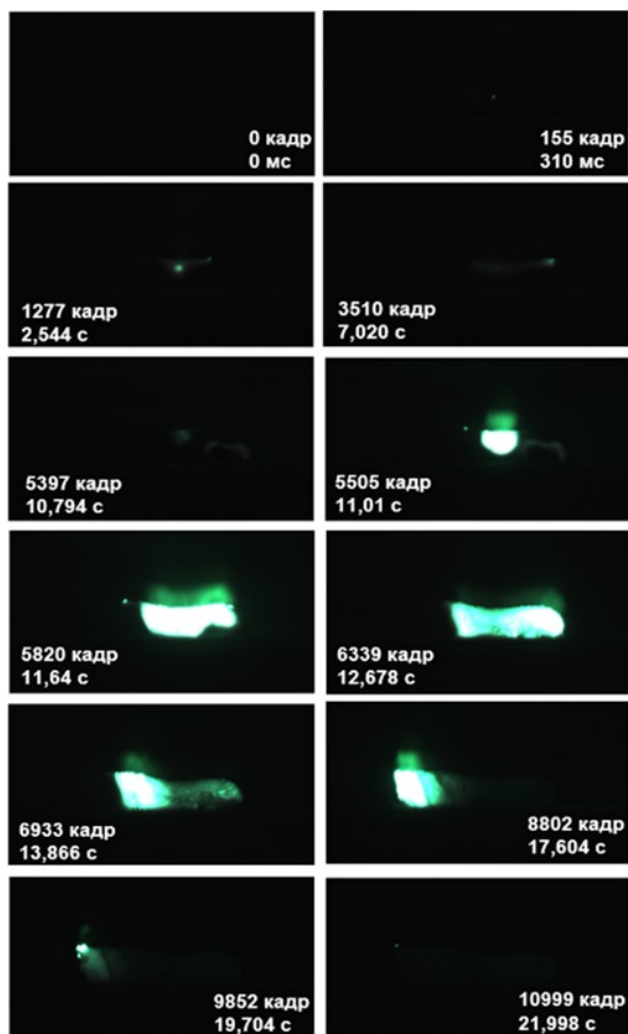
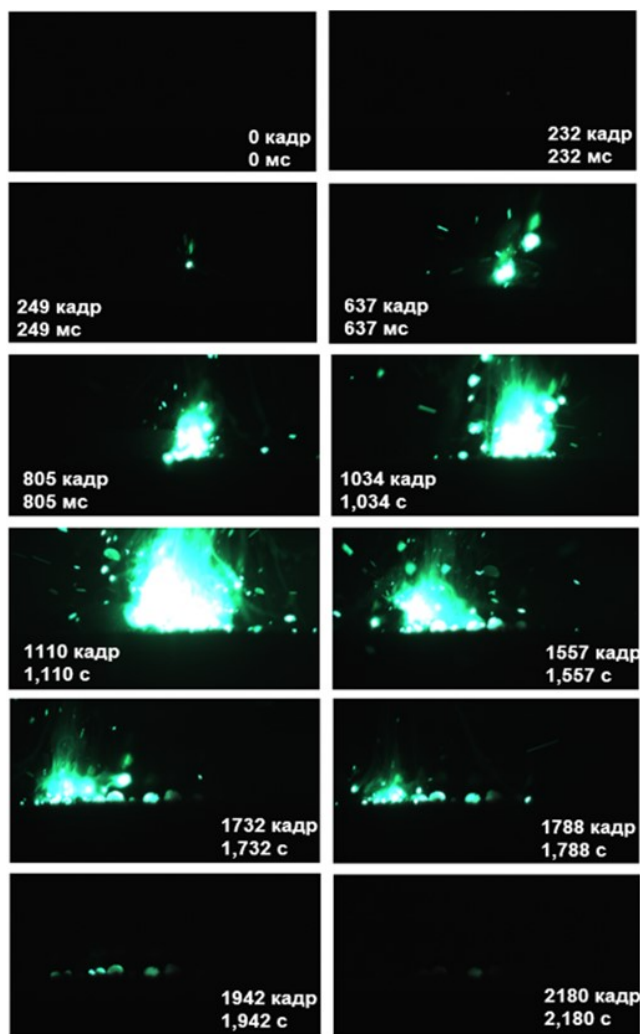
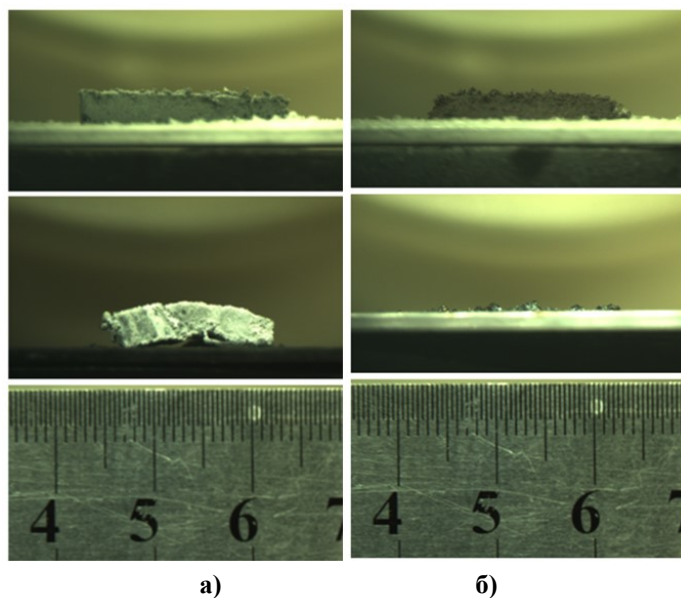


Рис. 3. Процесс горения образца алюминия

Рис. 4. Процесс горения образца $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ Рис. 5. Образец алюминия. а) и $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$, б) до эксперимента и после сгорания

Заключение

Разработана и реализована лабораторная установка для осуществления инициирования ВЭМ лазерным излучением в условиях пониженных температур, со скоростной визуализацией процесса. Использовалась скоростная камера Evercam F 1000-16-С российского производства.

Проведён ряд первичных экспериментов, показывающих возможности практического применения данной установки и определения характера горения и временных параметров различных ВЭМ. Показано, что длительное (более 30 минут) нахождение при пониженной температуре существенно влияет на горение как нанопорошка алюминия, так и термитной смеси $Al-Fe_2O_3$. На основе результатов экспериментов возможно моделировать процессы горения в условиях пониженных температур.

Дальнейшая работа будет посвящена более детальному исследованию горения ВЭМ и анализу режимов горения в различных температурных условиях. Для проведения исследований, максимально близких к реальным, необходимо использование климатической камеры с более низкими температурами (около $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Перспективы развития лабораторной установки и развитие исследований в этой области могут представлять интерес для государственной программы социально-экономического развития Арктики.

Список литературы

1. Адамян В.Л. Теория горения и взрыва / В.Л. Адамян. – М.: Изд-во Лань, 2018. – 116 с.
2. Крехов А. А., Ключков С. В., Минкин А. Н. Исследование параметров взрыва при низких температурах // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 56-63. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.94.13.008.
3. Мустаева, П. А. Современные тенденции изменения температурного режима на территории России / П. А. Мустаева, И. В. Латышева // Вестник Иркутского университета : Сборник статей / Редколлегия: Н.В. Амбросов [и др.]. Том Выпуск 26. – Иркутск : Иркутский государственный университет, 2023. – С. 246.
4. Высокоскоростные камеры EVERCAM, EVERCAM F, EVERCAM HR, EVERCAM HS, EVERCAM L, EVERCAM FL. Руководство пользователя. Версия 5.00. <https://evercam.ru/dokumentatsiya/>
5. Губарев Ф.А., Давыдова Л.Ю., Цирон М.С., Торганов Д.В. Лабораторная установка для исследования контактного инициирования высокоэнергетических материалов // Энергетические установки и технологии. – 2024. – Т.10, № 4. – С. 37-48.
6. Gromov A.A., Teipel U., Deluca L. T. Nanometals: Synthesis and Application in Energetic Systems // Energetic Nanomaterials: Synthesis, Characterization, and Application. – Amsterdam: Elsevier Inc., 2016. – P. 47-63.
7. Li L., Gubarev F., Mostovshchikov A. Synchronized two-camera laser monitor for studying combustng powder systems // Symmetry. – 2022. – Vol. 14. – Art. No 656.
8. Imaging system with brightness amplification for a metal-nanopowder combustion study / L. Li, A.V. Mostovshchikov, A.P. Ilyin, P.A. Antipov, D.V. Shiyarov, F.A. Gubarev // Journal of Applied Physics. – 2020. – Vol. 127, Art. No 194503. – P. 194503-1–194503-11.
9. Карапузиков, А. А. К вопросу о способах прекращения горения / А. А. Карапузиков, Н. П. Мураев // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ (шифр -МКСТР), Москва, 10 октября 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2022. – С. 100-103.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ВИНОГРАДАРСТВЕА.Р. Шароварина¹, Е.Ф. Бариева²¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, Dollmoon.do@mail.ru²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, elena_gens@mail.ru

Аннотация. Дана комплексная оценка экологической эффективности и влияния технологий Интернета вещей (IoT) на качество виноградников, расположенных в уникальных географических условиях Бельбекской долины (плато Кара-Тау) г. Севастополя. Разработана модель оптимальной IoT-системы, адаптированной к местным климатическим и почвенным особенностям, а также проведен анализ влияния IoT на устойчивость виноградарства к негативным последствиям изменения климата. Изучены социальные и организационные аспекты внедрения IoT, включая выявление потенциальных барьеров и разработку практических рекомендаций для эффективного использования данных технологий в виноградарстве.

Ключевые слова: виноградники, датчики, интернет вещей, мониторинг, окружающая среда, экологическая эффективность.

ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE INTERNET OF THINGSA.R. Sharovarina¹, E.F. Barieva²¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, Dollmoon.do@mail.ru²Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, elena_gens@mail.ru

Annotation. A comprehensive assessment of the environmental efficiency and the impact of Internet of Things (IoT) technologies on the quality of vineyards located in the unique geographical conditions of the Belbek Valley (Kara-Tau plateau) in Sevastopol is given. A model of an optimal IoT system adapted to local climatic and soil conditions has been developed, as well as an analysis of the impact of IoT on the sustainability of viticulture to the negative effects of climate change. The social and organizational aspects of the introduction of IoT have been studied, including the identification of potential barriers and the development of practical recommendations for the effective use of these technologies in viticulture.

Keywords: vineyards, sensors, Internet of things, monitoring, environment, environmental efficiency.

Введение

Исследования ООН «Перспективы мирового населения» показали, что к 2050 году население планеты достигнет 9,7 миллиарда человек, а значит перед человечеством встанет сложная задача - обеспечить продовольствием растущее население [1]. Необходимо обеспечить увеличение производства продовольствия на 70%, несмотря на ограниченность пахотных земель, растущий спрос на водные ресурсы (сельское хозяйство потребляет примерно 70% мировых запасов пресной воды) и непредсказуемые факторы, включая климатические изменения.

Один из путей решения данных проблем – это внедрение инновационных методик, которые позволят оптимизировать рабочие процессы и рационально использовать имеющиеся ресурсы в сельском хозяйстве. Данное исследование направлено на комплексную оценку потенциала IoT для определения качества виноградников в специфических условиях Бельбекской долины, расположенной на плато Кара-Тау в окрестностях города Севастополя.

Цель исследования - комплексная оценка экологической эффективности и влияния IoT на качество виноградников, расположенных в Бельбекской долине на плато Кара-Тау города Севастополя. Она включает разработку модели оптимальной конфигурации IoT-системы, учитывающей местные условия, и анализ устойчивости виноградников к климатическим изменениям. Исследование также изучает социальные и организационные аспекты внедрения IoT, выявляя барьеры и разрабатывая рекомендации для эффективного применения этих технологий.

Принципы мониторинга с помощью Интернета вещей (IoT)

Технологии Интернета вещей (IoT) могут способствовать достижению этих целей. Система IoT охватывает множество сфер деятельности, такие как промышленность, энергетика, сельское хозяйство, транспорт, здравоохранение и т.д. Её суть заключается в подключении физических объектов к сети Интернета для сбора, обмена и анализа данных. Эти объекты становятся "умными" и способными взаимодействовать друг с другом и с внешней средой без прямого участия человека [2].

IoT предоставляет мощные инструменты для решения экологических проблем, позволяя собирать, анализировать и использовать данные для принятия обоснованных решений и автоматизации процессов, направленных на защиту окружающей среды.

Примеры использования IoT в экологии:

1. Экологический мониторинг: IoT-датчики в реальном времени отслеживают качество воздуха и воды, выявляют источники загрязнений, прогнозируют риски и предупреждают о наводнениях.

2. Управление отходами: IoT оптимизирует сбор мусора (мониторинг наполненности контейнеров), повышает эффективность переработки (автоматическая сортировка) и контролирует состояние полигонов (предотвращение возгораний и выбросов).

3. Устойчивое сельское хозяйство: IoT точно регулирует полив и внесение удобрений, снижая потребление воды и загрязнение. Мониторинг животных помогает предотвращать болезни.

4. Снижение рисков стихийных бедствий: Сейсмодатчики, датчики на вулканах и в океане прогнозируют землетрясения, извержения и цунами.

Разработка системы с использованием Интернета вещей: IoT на примере виноградников, расположенных в Бельбекской долине на плато Кара-Тау города Севастополя

Виноградники расположены в долине реки Бельбек на плато Кара-Тау с перепадами высот 100-200 м. Рельеф обеспечивает естественную вентиляцию. Используется более 30 комбинаций привоя/подвоя с учетом почвы, экспозиции и сортов. На 109 гектарах выделено 6 типов почв (черноземы, известняки, суглинки, гравий). IoT-датчики помогут оптимизировать полив, помогут распознавать болезни, правильно удобрять, прогнозировать урожай и автоматизировать процессы для получения качественного винограда.

Рассмотрим какие необходимо установить датчики для мониторинга виноградников:

- Датчики почвы: датчики влажности почвы, температуры, pH, электропроводимости.
- Датчики окружающей среды: метеостанция, датчики влажности листьев, их температуры, датчики УФ-излучения.

Точных данных о территориях, занимаемых каждым типом почв, по данным виноградникам нет, поэтому можно произвести лишь примерные расчеты количества датчиков.

Для измерения показателей состояния почвы можно использовать датчик JXBS-3001-SCY-PT. Учитывая то, что виноградные поля имеют умеренную гетерогенность (имеют разные типы почв и небольшие перепады высот), можно использовать 1 датчик на 2-5 гектаров.

Примерный расчет количества датчиков почвы JXBS-3001-SCY-PT для поля площадью 109 гектаров:

Количество датчиков почвы JXBS-3001-SCY-PT рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{п}} = \frac{S_{\text{терр}}}{S_{\text{зоны}}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{терр}}$ – площадь всей территории; $S_{\text{зоны}}$ – площадь выделяемой зоны.

По формуле (1) вычисляем плотность 1 датчика на 2 гектара: $N_{\text{п}} = \frac{109}{2} = 55$ датчиков.

При плотности 1 датчика на 5 гектаров: $N_{\text{п}} = \frac{109}{5} = 22$ датчика.

Для мониторинга окружающей среды рекомендуются метеостанция Davis 6345CSRU и датчик LightScout. Одной метеостанции Davis 6345CSRU достаточно для ровной местности, но для учета микроклимата лучше установить 2-3 в разных точках (высокая, низкая, центральная). Датчиков LightScout нужно на порядок больше, а именно, для измерения освещенности внутри кустов требуется минимум 3-5 датчиков в каждой зоне (верхняя, средняя, зона ягод) с учетом сорта, возраста, формировки и топографии.

Примерный расчет для поля площадью 109 гектаров датчиков УФ-излучения LightScout:

Выделим 10 зон на винограднике. В каждой зоне нужно разместить 3-5 датчиков LightScout. Количество необходимых датчиков LightScout для всей территории рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{л}} = \frac{N_{\text{з}}}{N_{\text{д}}} \quad (2)$$

где $N_{\text{з}}$ – количество зон, $N_{\text{д}}$ – количество датчиков, необходимых для одной зоны.

При расчетах по формуле (2) мы узнаем, что нам потребуется от 30 до 50 датчиков.

Итого на поле площадью 109 гектаров потребуется от 55 до 108 датчиков (зависит от экономической составляющей виноградных полей).

Смета расходов на датчики представлена в таблице 1.

Таблица 1. Смета расходов на датчики

Наименование датчика	Стоимость, руб.	Количество, шт	Сумма, руб.
JXBS-3001-SCY-PT	39 000	22-55	858 000-2 145 000
Davis 6345CSRU	70 990	3	212 970
LightScout	14 000	30-50	420 000-700 000
ИТОГО: 1 490 970 -3057970 руб.			

Чтобы запустить работу этих датчиков необходима платформа для анализа данных с датчиков. Наиболее подходящей является Unidots. Платформа простая, функциональная, масштабируемая, с хорошей поддержкой, безопасностью и автоматическими отчётами. Она не требует глубоких технических знаний, что позволит быстро получить отдачу от инвестиций. Подписка на год с учетом количества датчиков стоит 499 \$ (около 41756 руб.) в год.

Из-за недостаточного количества информации об исследуемых виноградниках точный срок окупаемости определить невозможно, однако можно произвести примерный расчет (таблица 2).

Таблица 2. Исходные данные

Показатель	Значение
Площадь виноградника	109 га
Инвестиции в IoT	2 316 226 руб.
Увеличение урожайности	15%
Снижение затрат	7,5%
Текущая урожайность	8 тонн/га
Цена винограда	90 руб/кг

Сумма, выделенная на Инвестиции в IoT взята средняя с учетом подписки на Unidots (499\$ ≈ 41756 руб.).

1. Дополнительный доход от увеличения урожайности рассчитывается по формулам (3) и (4):

$$D_{\text{ур}} = \text{Степп} \cdot \text{Тур} \cdot Y, \quad (3)$$

где $D_{ур}$ – дополнительный урожай, S_{terr} – площадь всей территории, $T_{у}$ – текущая урожайность, Y – процент увеличения урожайности.

$$D_{дох} = D_{ур} \cdot Q, \quad (4)$$

где $D_{дох}$ – дополнительный доход, Q – цена винограда.

Из формул (3), (4):

$$D_{ур} = 109 \cdot 8 \cdot 15\% = 130,8 \text{ тонн}$$

$$Dd = 130\,800 \cdot 90 \text{ руб} = 11\,770\,200 \text{ руб.}$$

2. Экономия на затратах:

Предположим, текущие затраты на гектар составляют 500000 руб [3].

Чтобы вычислить общие текущие затраты $T_{общ}$ умножаем площадь всей территории S_{terr} и текущие затраты T_z :

$$T_{общ} = S_{terr} \cdot T_z \quad (5)$$

$$T_o = 109 \cdot 500\,000 = 5\,450\,000 \text{ руб.}$$

Для расчета экономии G общие текущие затраты $T_{общ}$ умножаем на процент снижения затрат C :

$$G = T_{общ} \cdot C \quad (6)$$

$$G = 5\,450\,000 \cdot 7.5\% = 4\,087\,500 \text{ руб.}$$

3. Для вычисления суммы общего дополнительного дохода в год $D_{год}$ складываем общие текущие затраты $T_{общ}$ и сэкономленные C :

$$D_{год} = T_{общ} \cdot C \quad (7)$$

$$D_{год} = 11\,770\,200 + 4\,087\,500 = 15\,857\,700 \text{ руб.}$$

4. Для расчета операционных расходов O на IoT умножаем сумму, потраченную на инвестиции в IoT I и процент снижения затрат C :

$$O = I \cdot C \quad (8)$$

$$O = 2\,316\,226 \cdot 7.5\% = 173\,716,95 \text{ руб.}$$

5. Чтобы посчитать чистый дополнительный доход в год Ch вычитаем от общего дополнительного дохода в год $D_{год}$ сумму операционных расходов на IoT O :

$$Ch = 15\,857\,700 - 173\,716,95 = 15\,683\,983,05 \text{ руб}$$

6. Для вычисления срок окупаемости F вычитаем от суммы, потраченной на инвестиции в IoT I чистый дополнительный доход в год Ch :

$$F = \frac{2\,316\,226}{15\,683\,983,05} = 0,15 \text{ лет или } 1,8 \text{ месяца}$$

Таблица 3. Итоговые расчеты

Показатель	Значение
Дополнительный доход от урожайности	11 770 200 руб.
Экономия на затратах	4 087 500 руб.
Общий дополнительный доход в год	15 857 700 руб.
Операционные расходы на IoT	173 716,95 руб.
Чистый дополнительный доход в год	15 683 983,05 руб.
Срок окупаемости	0,15 лет / 1,8 месяца

Из расчётов, указанных выше, можно сделать вывод, что внедрение IoT для мониторинга виноградников является очень выгодным.

Внедрение Интернета вещей (IoT) в виноградарстве позволит улучшить качество винограда в условиях меняющегося климата за счет [4]:

1. Оптимизированного полива: IoT-датчики влажности почвы обеспечат точный полив, предотвращая пересыхание лозы в засушливые периоды и переувлажнение при обильных осадках, что критически важно для правильного созревания ягод.

2. Контроля микроклимата: Датчики температуры и влажности воздуха позволяют отслеживать риски заморозков и экстремальной жары, давая возможность оперативно принимать меры защиты (например, укрывать лозу или включать системы охлаждения), сохраняя качество урожая.

3. Прогнозирования болезней и вредителей: Метеостанции, отслеживающие состояние растений, помогут выявлять факторы, способствующие развитию болезней и появлению вредителей, позволяя применять превентивные меры (например, обработку биопрепаратами) и минимизировать потери урожая.

Внедрение IoT в виноградарство сопряжено с технологическими (отказы оборудования, проблемы с сетью, несовместимость, устаревание), рисками безопасности (кибератаки, утечка данных), экономическими (высокая стоимость, отсутствие прибыли, дефицит кадров), организационными (сопротивление, неэффективное управление данными) и экологическими (утилизация оборудования). Для успешного внедрения необходимы тщательное планирование, стабильная связь, подходящая платформа, надежный поставщик, кибербезопасность, обучение персонала, постепенное внедрение и экологичность.

Заключение

В заключение стоит отметить, что проведенное исследование ярко демонстрирует огромные возможности, которые открывает использование Интернета вещей (IoT) для совершенствования процессов в виноградарстве. Этот технологический подход позволяет не только добиться повышения качества производимой продукции, но и внести вклад в устойчивое развитие отрасли. Практическое применение IoT-датчиков на выбранной виноградной плантации наглядно показывает, как можно улучшить качество урожая, одновременно сокращая финансовые затраты на производство. Кроме того, данное решение значительно снижает негативное воздействие на окружающую среду за счет более рационального распределения ресурсов и уменьшения объемов применяемых химических препаратов. Быстрая окупаемость вложенных средств служит убедительным аргументом в пользу активного внедрения IoT в виноградарство, тем самым способствуя формированию более экологичных и ответственных сельскохозяйственных предприятий.

Список литературы:

1. ООН. Население [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций: сайт. – URL: <https://web.archive.org/web/20210214181837/https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/population/index.html> (дата обращения: 20.03.2025).
2. Иванов, И.И. Современные методы управления хвостовым хозяйством [Электронный ресурс] / И.И. Иванов, П.П. Петров // Наука и инновации: электрон. журн. – 2023. – № 6. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2023/06/100402> (дата обращения: 21.03.2025)
3. Сидоров, А.А. Господдержка виноградарства и виноделия [Электронный ресурс] / А.А. Сидоров // Zakon.ru: сайт. – 2024. – 27 апр. – URL: https://zakon.ru/blog/2024/04/27/gospodderzhka_vinogradarstva_i_vinodeliya (дата обращения: 31.03.2025).
4. Маммадов, И. Р. Уязвимости и риски устройств Интернета вещей / И. Р. Маммадов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 46 (545). — С. 15-17. — URL: <https://moluch.ru/archive/545/119019/> (дата обращения: 30.03.2025).

УДК 658.345:621+ 06

АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

Е.В. Федосова¹, Л.И. Осадчая²¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, elizavetakaluznaa14@gmail.com²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, liosadchaya@mail.sevsu.ru

Аннотация. Одной из основных проблем муниципального уровня является создание комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Организационно-координационный подход к обеспечению согласованности федерального целеполагания и его исполнения на местах является залогом успешной реализации федеральных проектов в отрасли. Полной мерой это касается ГФЗ Севастополь. Анализ схемы обращения с отходами проведен в отношении следующих видов деятельности – обработка, утилизация, обезвреживание и размещение ТКО, установлен ряд значимых экологических и инфраструктурных проблем. Установлено, что источники образования ТКО по территории города распределены неравномерно, большая их часть расположена в Гагаринском, Ленинском, Нахимовском и Качинском муниципальных округах, объекты депонирования ТКО, занесенные в ГРОРО отсутствуют. Подтверждена необходимость актуализации Территориальной схемы обращения с отходами города Севастополя с учетом новых требований.

Ключевые слова: отходы, ТКО, региональный оператор, утилизация, депонирование, захоронение, сортировка.

ANALYSIS OF THE TERRITORIAL WASTE MANAGEMENT SCHEME OF THE CITY OF SEVASTOPOL

E.V. Fedosova¹, L.I. Osadchaya²¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia,
elizavetakaluznaa14@gmail.com²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, liosadchaya@mail.sevsu.ru

Abstract. One of the main problems at the municipal level is the creation of a comprehensive system for handling municipal solid waste (MSW). An organizational and coordination approach to ensuring the consistency of federal goal-setting and its implementation at the local level is the key to the successful implementation of federal projects in the industry. This fully applies to the Sevastopol State Federal District. The waste management scheme was analyzed for the following activities - processing, recycling, neutralization and placement of MSW, a number of significant environmental and infrastructural problems were identified. It was found that the sources of MSW formation are unevenly distributed across the city, most of them are located in the Gagarinsky, Leninsky, Nakhimovsky and Kachinsky municipal districts, there are no MSW deposit facilities listed in the State Regional Waste Management Districts. The need to update the Territorial Scheme for Waste Management of the City of Sevastopol taking into account the new requirements was confirmed.

Keywords: waste, MSW, regional operator, disposal, deposition, burial, sorting.

Введение

Одной из основных проблем муниципального уровня является создание комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО)¹. Организационно-координационный подход к обеспечению согласованности федерального целеполагания и его исполнения на местах является залогом успешной реализации федеральных проектов в отрасли.

Однако, часто на региональном уровне отсутствует комплексный подход к планированию инфраструктуры по обращению с ТКО, отмечается нехватка компетенций для реализации качественных проектов, низкая инвестиционная привлекательность проектов, публичной стороной которых выступают муниципальные образования (в случае предоставления им соответствующих полномочий региональным законодательством) [1-6].

Цель исследования – анализ системы управления и обращения с ТКО в Севастопольском регионе для оценки возможностей оптимизации Территориальной схемы обращения с отходами.

Результаты и их обсуждение

Город Севастополь является городом федерального значения, что предъявляет повышенные требования к реализации инфраструктурных проектов в сфере обращения с ТКО. Перечень действующих и перспективных объектов обращения с отходами производства и потребления, а также схема их потоков в г. Севастополе от источника образования до конечного объекта обращения приведены в Территориальной схеме обращения с отходами (разработана в рамках Госконтракта от 14 июня 2019 г. N 16-06/19 ООО "Большая Тройка")². Реализация Территориальной схемы и государственной программы в части обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) осуществляется региональным оператором, в результате конкурсного отбора таковым определено ООО «Благоустройство города Севастополя»³.

Анализ территориальной схемы обращения с отходами проведен в отношении следующих видов деятельности – обработка, утилизация, обезвреживание и размещение ТКО, установлен ряд значимых экологических и инфраструктурных проблем.

На первом этапе выявлены социально-экономические, организационные и технико-технологические условия г. Севастополя как объекта санитарной очистки. Установлено, что большая часть жителей города (более 93,1 %) проживает в многоквартирных (высотных и малоэтажных) благоустроенных жилых домах и незначительная часть (6,9) в секторе индивидуальной жилой застройки; в регионе наблюдается высокая плотность и стабильный рост численности населения, обусловленный миграционным процессом маятникового характера. Источники образования ТКО по территории города распределены неравномерно, большая их часть расположена в Гагаринском, Ленинском, Нахимовском и Качинском муниципальных округах.

Стоит отметить, что централизованной системой сбора и вывоза ТКО охвачены не все отходообразователи региона. Сбор ТКО осуществляется по двум схемам: без использования контейнеров и с применением несменяемых контейнеров, действует система одноэтапного вывоза отходов с предварительным сбором (позвонковый, по графику, тарный, бестарный, помешочный).

В городе не действует система заготовки вторичного сырья населением, часть его отбирается на стадиях образования ТКО, отдельные площадки для накопления КГО на территории региона, как правило, не оборудуются, население размещает КГО на тех же площадках, где размещается ТКО (специализированные «утилизационные дворы» для приёма КГО от населения не организованы). Выявлено, что город имеет недостаточную для качественного сбора всех городских отходов номенклатуру и количество контейнеров, значительная часть их являются нестандартными по размерам и вместительности, в преобладающем большинстве это контейнеры объёмом 0,24 м³, 1,1 м³ и контейнеры неоднородного типа. На территории города отсутствуют контейнеры для сбора компактных и линейных люминесцентных ламп, ртутьсодержащих бытовых термометров и химических источников питания.

¹ Закон города Севастополя от 25 ноября 2021 года N 669-ЗС «Об отходах производства и потребления в городе Севастополе» (с изменениями на 5 октября 2022 года). URL: <https://base.garant.ru/406194637/>

² Постановление Правительства города Севастополя от 27.12.2019 № 698-ПП «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами города Севастополя». URL: <https://docs.cntd.ru/document/561701726>

³ Постановление Правительства города Севастополя от 26 мая 2022 года N 205-ПП «Об утверждении Правил осуществления деятельности регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории города Севастополя». URL: <https://docs.cntd.ru/document/406095866>

⁴ Постановление Правительства РФ от 6 июня 2024 года № 775 «О территориальных схемах обращения с отходами производства и потребления» <https://docs.cntd.ru/document/13062939205>

В регионе функционирует единственный нелицензированный, не внесенный в ГРОРО полигон депонирования ТКО по адресу г. Севастополь, г. Инкерман, Первомайская балка².

Ввиду исчерпания проектной мощности первых двух очередей в апреле 2017 года в эксплуатацию введена первая карта 3-й очереди полигона, предназначенная для складирования отходов россыпью. Во второй карте планировалось депонирование спрессованного мусора, прошедшего этап брикетирования на технологической стадии утилизации ТКО, однако на сегодняшний день на территории г. Севастополя отсутствуют современные объекты для сортировки, переработки и утилизации отходов. Более того, реализация регионального проекта «Комплексная система обращения с ТКО» (2018-2024 гг.) не дала значимых результатов, система раздельного сбора ТКО не внедрена.

Стоит отметить, что система обращения с ТКО в Севастопольском регионе недостаточно ориентирована на долгосрочную перспективу. Рассматриваемая схема не учитывает динамику роста отходов и необходимость масштабирования инфраструктуры, недостаточное внимание уделяется переработке органических отходов, которые составляют значительную долю ТКО, отсутствуют конкретные цели и индикаторы для снижения объемов захоронения отходов.

Изложенное выше подтверждает необходимость актуализации Территориальной схемы обращения с отходами города Севастополя с учетом новых требований, вступивших в силу с 1 января 2025 года⁴.

Выводы

Система управления и обращения ТКО, действующая в ГФЗ Севастополь, имеет ряд проблем, которые усугубляются невысоким уровнем экологической ответственности отходообразователей, отсутствием надлежащей сортировки ТКО, наличием недостаточно развитой инфраструктуры по утилизации отходов.

Одной из ключевых выявленных проблем является несоответствие федерального целеполагания и регионального исполнения в части сроков реализации федеральных проектов.

На региональном уровне требуется переход к управлению портфелем типовых проектов с постепенным выстраиванием комплексной системы развития инфраструктуры обращения с ТКО. Для г. Севастополя в состав портфеля могут войти следующие проекты: участок полуавтоматической сортировки смешанных ТКО с производительностью 500 тыс. т/год с приемным отделением под отходы и накопительными площадками для вторсырья, комплекс компостирования органической фракции отходов и отходов КОС, полигон для захоронения непригодных для сортировки хвостов.

Список литературы

1. Формирование новой системы обращения с твердыми коммунальными отходами. Проблемы и направления развития. Режим доступа: <https://pppcenter.ru/upload/iblock/37b/37be91149b694122cfed0c24c3b28b2e.pdf> (дата обращения 24.03.2025).
2. Маслова С.В. Региональные проекты ГЧП в сфере обращения с отходами: переход к экономике замкнутого цикла и обеспечению устойчивого развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент № 22 (4). 2023. 556–579. <http://doi.org/10.21638/11701/spbu08.2023.405>
3. Рублева И.С., Лопин И.Л., Горелов А.С., Канунников А.О. Анализ территориальных схем обращения с отходами наиболее населенных субъектов Российской Федерации // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2021. №2. <https://resources.today/PDF/01ECOR221.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI:10.15862/01ECOR221
4. Джикия А.А. Теоретические основы формирования региональной системы обращения с отходами // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. Экология. 2018. Т. 20. № 4. С. 167–172. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2018.4.15>
5. Шилкина, С. В. Управление пластиковыми отходами: российский и зарубежный опыт // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9. № 1. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/10ECOR122.pdf> DOI: 10.15862/10ECOR122
6. Zaman A.U., Swapan M.S. H. Performance evaluation and benchmarking of global waste management systems //Resources, Conservation and Recycling. 2016. Vol. 114. P. 32–41.

СЕКЦИЯ № 5

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

УДК 629.78:005.93:004.414.2

ОПИСАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ТРАНСФОРМИРУЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Е. А. Рожкова, А.В. Кустов

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева*

*Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
e_rozhok@vk.com*

Аннотация. В статье исследован бизнес-процесс разработки крупногабаритной трансформируемой механической системы для космического аппарата радиолокационного наблюдения, с акцентом на формализацию и оптимизацию посредством нотации BPMN 2.0. Актуальность работы обусловлена растущей потребностью в оптимизации процессов создания КТМС, используемых в аэрокосмической и других отраслях, требующих высокой гибкости и эффективности. Целью исследования является выявление и структурирование ключевых этапов жизненного цикла КТМС, от формирования научно-технического задания до этапов конструирования, испытаний и эксплуатации, с применением BPMN 2.0 для моделирования бизнес-процессов. В работе рассмотрена роль требований на каждом этапе жизненного цикла, подчеркнута необходимость эффективного управления ими для обеспечения соответствия конечной системы заданным целям и спецификациям. Представлена разработанная модель бизнес-процесса, визуализирующая последовательность задач, выявляющая потенциальные слабые места и способствующая улучшению взаимодействия между отделами. Результаты исследования демонстрируют, что применение BPMN 2.0 позволяет повысить эффективность разработки КТМС, сократить сроки выполнения, снизить затраты и улучшить качество управления проектами, что делает данную работу актуальной и полезной для специалистов в области разработки сложных технических систем.

Ключевые слова: космический аппарат, бизнес-процесс, жизненный цикл, управление требованиями, оптимизация, разработка, конструирование, испытания.

DESCRIPTION OF THE BUSINESS PROCESS FOR DEVELOPING A LARGE-SIZED TRANSFORMABLE MECHANICAL SYSTEM

E. A. Rozhkova, A.V. Kustov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31,

Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e_rozhok@vk.com

Abstract. The article studies the business process of developing a large-scale transformable mechanical system for a radar surveillance spacecraft, with an emphasis on formalization and optimization using the BPMN 2.0 notation. The relevance of the work is due to the growing need to optimize the processes of creating a large-scale transformable mechanical system used in aerospace and other industries that require high flexibility and efficiency. The purpose of the study is to identify and structure the key stages of the LSM life cycle, from the formation of a scientific and technical task to the stages of design, testing and operation, using BPMN 2.0 for modeling business processes. The paper considers the role of requirements at each stage of the life cycle, emphasizing the need for their effective management to ensure that the final system meets the specified goals and specifications. The developed business process model is presented, visualizing the sequence of tasks, identifying potential weaknesses and contributing to the improvement of interaction between departments. The results of the study demonstrate that the use of BPMN 2.0 allows to increase the efficiency of development of complex technical systems, reduce the time frame, reduce costs and improve the quality of project management, which makes this work relevant and useful for specialists in the field of development of complex technical systems.

Keywords: spacecraft, business process, life cycle, requirements management, optimization, development, design, testing.

Введение. Крупногабаритные трансформируемые механические системы (КТМС) широко применяются в различных отраслях, требуя гибкости и эффективности. Их разработка

— сложный процесс, требующий эффективного управления бизнес-процессами. Цель данной курсовой работы — описать бизнес-процессы разработки КТМС, выявить и структурировать основные этапы, от формирования требований до планирования наземных испытаний. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации разработки для сокращения сроков, затрат и повышения качества.

Бизнес-процессы разработки КТМС будут формализованы и визуализированы с помощью нотации BPMN 2.0. Это позволит наглядно представить процессы, упростить их анализ, оптимизацию и автоматизацию. В частности, BPMN 2.0 будет использоваться для моделирования взаимодействия между отделами, участвующими в разработке изделий, для выявления узких мест, оптимизации ресурсов и повышения эффективности коммуникации.

Обзор этапов жизненного цикла. Жизненный цикл КТМС представляет собой этапы от возникновения потребности до вывода из эксплуатации. Эффективное управление требованиями на каждом этапе имеет значение. Выбор модели жизненного цикла определяется спецификой проекта, сложностью и сроками.

На этапе формирования НТЗ (научно-технологического задела) формулируются требования к антенне, включая характеристики, габариты, массу, надёжность и условия эксплуатации. Определяются критерии приемки и методы испытаний. Требования НТЗ являются основой для разработки. НТЗ учитывает особенности космического аппарата (КА), такие как точность позиционирования и устойчивость к воздействию космической среды.

На этапе аванпроекта прорабатывается концепция КА, разрабатываются варианты решений, оцениваются их характеристики, стоимость и риски. Проводится анализ патентной чистоты. Требования из НТЗ детализируются, разрабатываются технические требования к подсистемам. Выбирается тип конструкции, механизм раскрытия и материалы.

На этапе эскизного проектирования разрабатывается эскизный проект изделия.



Рис.1. Жизненный цикл КТМС.

Разработка КТМС, особенно в сфере безопасности, регламентируется нормативными документами. Основой является техническое задание (ТЗ), определяющее цели, параметры и условия эксплуатации системы.

Этапы: формирование требований, построение модели, разработка облика, расчёт нагрузок и динамики, оценка стойкости к воздействиям, расчёт надёжности и планирование отработки.

Жизненный цикл КТМС охватывает этапы от возникновения потребности до вывода из эксплуатации. Эффективное управление требованиями критически важно. Выбор модели жизненного цикла зависит от специфики проекта.

На этапе НТЗ формулируются требования к КА (назначение, характеристики, габариты, масса, надёжность). Определяются критерии приемки. Требования НТЗ определяют задачи разработки. Ошибки на этом этапе критичны. НТЗ учитывает особенности изделия, включая

точность, устойчивость к воздействию окружающей среды и минимальные размеры в сложенном виде.

На этапе аванпроекта прорабатывается концепция КА, оцениваются варианты решений, стоимость и риски. Проводится анализ патентной чистоты. Требования НТЗ конкретизируются, разрабатываются требования к подсистемам. Выбирается конструкция, механизм и материалы. Оценивается возможность обеспечения характеристик при ограничениях.

На этапе эскизного проектирования разрабатывается эскизный проект КА, определяющий компоновку, схемы и чертежи. Проводятся предварительные расчеты прочности и жесткости. Требования реализуются в конструкторской документации, разрабатываются чертежи узлов, включая механизм раскрытия. Проводятся расчеты с использованием метода конечных элементов.

На этапе испытаний проводятся различные испытания (наземные и, при необходимости, лётные) для подтверждения соответствия требованиям НТЗ и ТУ. Оценивается соответствие, при необходимости конструкция дорабатывается. Проводятся испытания в условиях, имитирующих космическую среду, оценивается точность, надёжность и устойчивость.

На этапе приемки проверяется соответствие антенны требованиям НТЗ и ТУ, подписывается акт приемки-сдачи. Проверяется документация, результаты испытаний и соответствие конструкции. Разрабатывается технология утилизации.

Эффективное управление требованиями на каждом этапе жизненного цикла КТМС обеспечивает успешную разработку и эксплуатацию системы.

Задачами системной инженерии [1,3] являются:

- технические усилия, направленные на проектирование, изготовление, проверку соответствия, ввод в эксплуатацию, использование, сопровождение, утилизацию системных продуктов и процессов, а также на обучение персонала работе с ними;
- определение конфигурации и управление конфигурацией системы;
- преобразование описания системы в иерархическую структуру работ по ее созданию;
- обеспечение заявленных проектных затрат и графиков работ;
- подготовка информации для принятия управленческих решений.

Современная системная инженерия [1,3] сосредоточивает первоочередные усилия в двух направлениях: системный взгляд на продукцию и услуги; методы разработки с использованием базовых моделей и типовых процессов.

Моделирование бизнес-процесса. Для эффективной реализации процесса разработки КТМС важно обеспечить своевременное выполнение задач каждым исполнителем на всех этапах жизненного цикла.

Для формализации и визуализации бизнес-процессов используется нотация BPMN (Business Process Model and Notation), включающая стандартизированный набор символов для описания различных аспектов деятельности. BPMN позволяет отображать начальные, промежуточные и конечные события, действия исполнителей, потоки данных и сообщений, а также внутренние и внешние коммуникации. [2]

BPMN предполагает создание как простых, так и сложных многокомпонентных диаграмм бизнес-процессов и включает пять категорий элементов, облегчающих распознавание основных обозначений: элементы потока, соединительные элементы, зоны ответственности, данные и артефакты (предназначены для указания дополнительной информации о процессах).

В нотации BPMN «Действия» обозначаются прямоугольником со скруглёнными углами и включают информацию об исполнителе и времени выполнения. Для КТМС изделия выделены следующие ключевые действия:

1. Формирование требований к конструкции: определение требований к прочности, жесткости, массе, габаритам, надежности, точности раскрытия и другим параметрам на основе технического задания.
2. Построение функциональной модели: создание модели, описывающей функции и взаимосвязи между ними.
3. Определение проектного облика и конструирование: разработка эскизов и определение компоновки, размеров, формы и основных элементов конструкции.

4. Расчет нагрузок при выведении: расчет нагрузок, действующих на конструкцию во время запуска ракеты (вибрация, ускорение, перегрузки).

5. Расчет динамики раскрытия: моделирование процесса раскрытия антенны в космосе с учетом гравитации, вакуума и перепадов температур.

6. Оценка устойчивости к механическим нагрузкам: анализ прочности и жесткости конструкции при различных механических нагрузках.

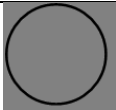
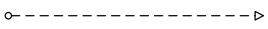
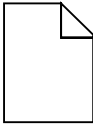
7. Оценка устойчивости к тепловым нагрузкам: анализ температурных режимов КА в космосе и оценка влияния тепловых нагрузок.

8. Расчет надежности: оценка вероятности безотказной работы КА и разработка мер по повышению надежности.

9. Планирование наземной отработки: разработка программы испытаний КА на Земле.

Элемент «Шлюз» (ромб) в BPMN обозначает точку принятия решения, в которой процесс может разветвляться по различным направлениям в зависимости от принятого решения.

Таблица 1. Описание элементов

Элементы потока	События	
	Действия	
	Шлюзы	
Соединяющие элементы	Поток операций	
	Поток сообщений	
Зоны ответственности	Пул	
Данные	Объект данных	
Артефакты	Текстовые аннотации	

Выводы. В данной работе исследован процесс разработки крупногабаритной трансформируемой системы с целью формализации и оптимизации с помощью нотации BPMN 2.0. Выбор данной методологии обусловлен ее широким применением в управлении бизнес-процессами, гибкостью и наглядностью, позволяющими эффективно моделировать сложные процессы, характерные для разработки КТМС.

Рассмотрены ключевые этапы жизненного цикла, от формирования технического задания до проектирования, испытаний, эксплуатации и утилизации. Для каждого этапа определены основные задачи, ответственные роли и подчеркнута роль требований в обеспечении соответствия системы заданным целям. Обоснована необходимость управления требованиями на каждом этапе, поскольку ошибки на ранних стадиях могут привести к проблемам в дальнейшем.

Основной задачей было моделирование бизнес-процесса разработки с использованием элементов BPMN 2.0. Описаны задачи, события, шлюзы, потоки операций и сообщений,

позволяющие визуализировать и структурировать процесс. Особое внимание уделено применению этих элементов с учетом специфики разработки КТМС, принимая во внимание ее сложность, многофункциональность и требования к надежности и точности. Разработанная модель позволяет визуализировать последовательность задач, выявлять потенциальные слабые места и точки принятия решений, а также улучшать взаимодействие между отделами.

Таким образом, разработанная блок-схема бизнес-процесса в BPMN 2.0 может служить основой для повышения эффективности разработки антенны, сокращения сроков, снижения затрат и улучшения качества управления проектами.

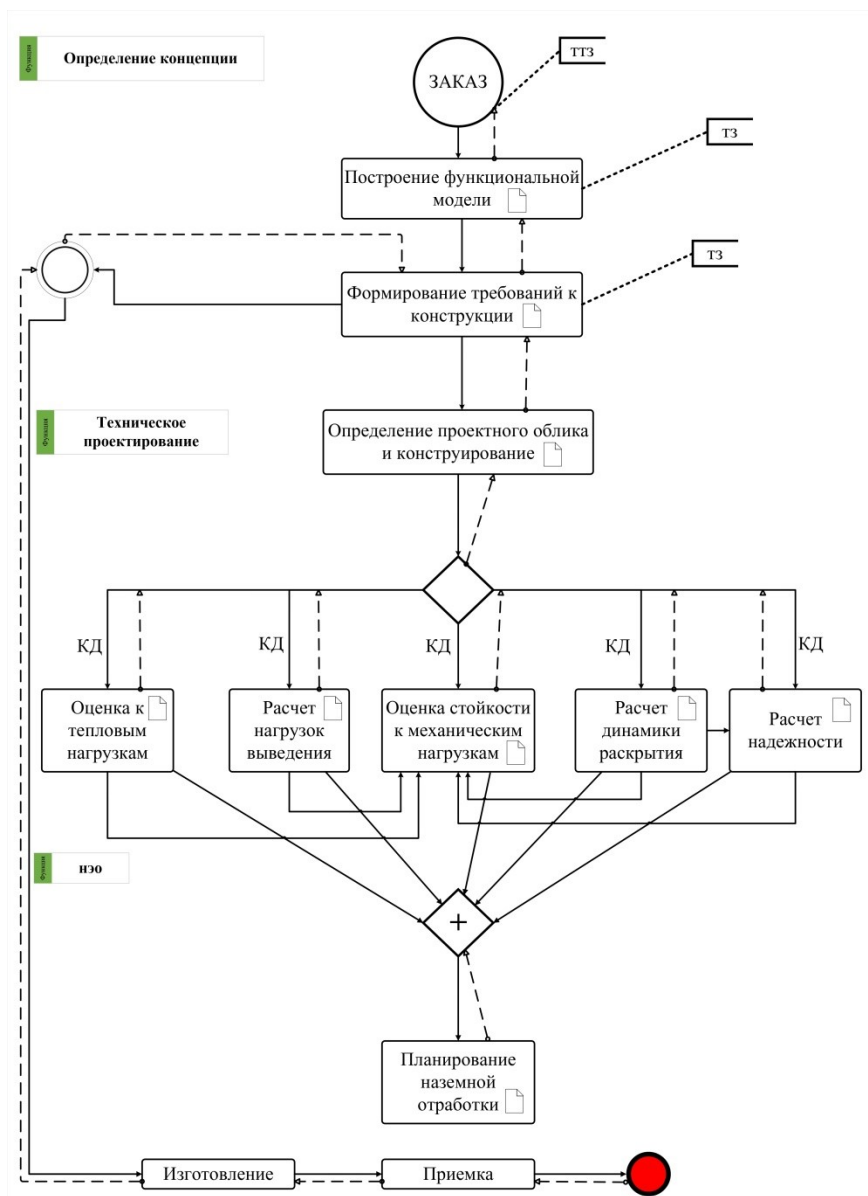


Рис. 2. Организация бизнес-процесса изделия КТМС.

Список литературы

1. Левенчук А.И. Введение в системную инженерию [Электронный ресурс] / А.И. Левенчук. Режим доступа: <http://ailev.livejournal.com/757223.html> (дата обращения: 14.03.2025).
2. Нотация BPMN 2.0 в системе ELMA365 [Электронный ресурс]. URL: <https://elma365.com/ru/articles/bpmn/> (дата обращения: 16.03.2025).
3. Дудкин Д. В. Обзор методов автоматизации малых и средних машиностроительных предприятий на основе CALS-технологий и подхода системной инженерии // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2010. №7.

УДК 621.311.23: 629.12

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА В БОЛЬШИХ ДАННЫХ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ АСПЕКТОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Л. А. Саяркин¹, И. Б. Парашук¹, Е. С. Владимирова², А. В. Селезнев¹

¹ ФГКВООУ ВО «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны

Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, 194064, Россия, shchuk@rambler.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
г. Севастополь, 299053, Россия, lena_vladimir@mail.ru

Аннотация. Проанализированы современные особенности Больших Данных, взаимосвязь этого явления в технической сфере с принципами, аспектами и этапами цифровой трансформации общества и государства. На основе результатов этого анализа предложено разработать новый научно-методический аппарат, включающий взаимоувязанную совокупность методов, алгоритмов, программных поисковых приложений и технологий, предназначенных для построения автоматизированных интеллектуальных систем управления процессами информационного поиска в Больших Данных с учетом современных аспектов цифровой трансформации. Рассмотрены и обоснованы этапы построения подобных систем и конкретные перспективные подходы к совершенствованию механизмов автоматизации и алгоритмов управления процессами реализации поисковых запросов с использованием современных платформ параллельных вычислений, методов искусственного интеллекта (в том числе, методов машинного обучения), интеллектуальных средств обработки Больших Данных и методов их онтологического представления в рамках поиска, а также современных методов визуализации результатов поиска.

Ключевые слова: автоматизация и управление, процесс, информационный поиск, Большие Данные, цифровая трансформация, интеллектуальная система, поисковый запрос, алгоритм, реализация.

AUTOMATION AND MANAGEMENT OF INFORMATION SEARCH PROCESSES IN BIG DATA TAKING INTO ACCOUNT MODERN ASPECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION

L. A. Sayarkin¹, I. B. Parashchuk¹, E. S. Vladimirova², A. V. Seleznev¹

¹ FSTMI HE "Military Orders of Zhukov and Lenin Red Banner Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny" of the Ministry of Defense of Russian Federation, St. Petersburg, 194064, Russia, shchuk@rambler.ru

² FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol, 299053, Russia, lena_vladimir@mail.ru

Abstract. The article analyzes modern features of Big Data, the relationship of this phenomenon in the technical sphere with the principles, aspects and stages of digital transformation of society and the state. Based on the results of this analysis, it is proposed to develop a new scientific and methodological apparatus that includes an interconnected set of methods, algorithms, software search applications and technologies designed to build automated intelligent systems for managing information search processes in Big Data, taking into account modern aspects of digital transformation. The stages of building such systems and specific promising approaches to improving the automation mechanisms and algorithms for managing the processes of implementing search queries using modern parallel computing platforms, artificial intelligence methods (including machine learning methods), intelligent tools for processing Big Data and methods of their ontological representation within the search, as well as modern methods of visualizing search results are considered and substantiated.

Keywords: automation and management, process, information retrieval, Big Data, digital transformation, intelligent system, search query, algorithm, implementation.

Введение.

Цифровая трансформация в области муниципального управления, здравоохранения, промышленности, энергетики и транспорта, осуществляемая в нашей стране, нацелена на безусловное выполнение требований Президента Российской Федерации к облику информационного общества и новым очертаниям системы государственного регулирования.

При этом подразумевается, что данные требования могут и должны быть выполнены на основе цифровой трансформации ключевых отраслей экономики и повышения качества жизни населения нашей страны [1, 2].

Очевидно, что современные крупные дата-центры (ДЦ) и облачные хранилища (ОХ), являющиеся неотъемлемой частью ИТ-инфраструктуры государства и предназначенные для хранения и обработки данных в интересах различных сфер цифровой трансформации государства – управления, здравоохранения, промышленности, образования, охраны правопорядка, энергетики и транспорта, представляют собой яркий пример технологических и программно-аппаратных решений, которые идут в авангарде цифровой трансформации страны.

Вместе с тем, аспекты цифровой трансформации, обуславливающие огромное количество необходимых для этой «метаморфозы» данных, накладывают отпечаток на объем и номенклатуру хранимой и обрабатываемой информации, делая эти данные, воистину, Большими Данными. Это, в свою очередь, определяет объективную необходимость поиска новых высокопроизводительных механизмов автоматизации (даже интеллектуализации) процедур реализации поисковых запросов на Больших Данных, необходимость отыскания и внедрения инновационных алгоритмов управления процессами информационного поиска в таких Больших Данных [3, 4].

Таким образом, аспекты цифровой трансформации, обуславливающие необходимость хранения и обработки на ДЦ и в ОХ колоссальных массивов гетерогенной информации, порождают целесообразность решения задачи совершенствования процедур и механизмов автоматизации информационного поиска, а также алгоритмов управления процессами реализации поисковых запросов в Больших Данных, делают эту задачу, безусловно, актуальной.

Формулировка задачи.

Особую значимость и практическую ценность полученных при решении данной задачи результатов трудно переоценить именно сейчас, в эпоху цифровой трансформации, когда многообразие и громадные объемы информации, необходимость осуществлять поиск в Больших Данных в современных условиях, остро ставит проблему построения эффективных поисковых систем и алгоритмов, способных в управляемом автоматизированном режиме осуществлять аналитическую обработку больших массивов гетерогенных данных, хранящихся на ДЦ и в ОХ, в интересах реализации оперативного и релевантного информационного поиска данных, необходимых должностным лицам, осуществляющим управление объектами в критически важных инфраструктурах.

Не секрет, что известные средства автоматизации и системы управления информационным поиском в Больших Данных не отвечают предъявляемым требованиям по оперативности, полноте, точности и адекватности (релевантности) поиска. Во многом это объясняется, во-первых, взрывным ростом объемов данных, которые необходимо хранить на ДЦ и в ОХ сейчас, в эпоху цифровой трансформации, а, во-вторых, разнородностью, слабой структуризацией и формализованностью этих данных [5].

В результате, в интересах отыскания новых высокопроизводительных механизмов автоматизации процедур реализации поисковых запросов на Больших Данных, отыскания и внедрения инновационных алгоритмов управления процессами информационного поиска, возникает необходимость эффективного применения современных методов моделирования запросов пользователей, методов оперативного выявления и маркировки поисковых признаков в Больших Данных, методов оперативной оценки релевантности результатов информационного поиска, оперативного анализа и управления выбором и переключением поисковых массивов (локальных массивов элементов информации в Больших Данных, в которых производится информационный поиск), оперативного принятия решений о результатах поиска, а также оперативной визуализации и предоставления этих результатов пользователю.

В этой связи, на наш взгляд, необходимо разработать новый научно-методический аппарат, включающий взаимоувязанную совокупность методов и алгоритмов, а также реализующих их программных поисковых приложений и технологий, предназначенных для построения и функционирования автоматизированных интеллектуальных систем управления

процессами информационного поиска в Больших Данных с учетом современных аспектов цифровой трансформации. Эти автоматизированные интеллектуальные системы управления процессами информационного поиска призваны обеспечить оперативную обработку большого количества поисковых запросов, поисковую обработку громадных массивов хранящихся на ДЦ и в ОХ гетерогенных данных, а также анализ оперативности и релевантности поиска, используя при этом современные платформы параллельных вычислений, методы искусственного интеллекта, в том числе, методы машинного обучения, инновационные интеллектуальные методы и средства обработки Больших Данных и методы их онтологического представления в интересах оперативного принятия решений о результатах поиска, а также в интересах оперативной визуализации результатов поиска.

Базовые понятия, функциональное наполнение и конкретные перспективные подходы к совершенствованию механизмов автоматизации и алгоритмов управления процессами информационного поиска в Больших Данных с учетом современных аспектов цифровой трансформации.

По мере увеличения объемов информации, необходимой для эффективного осуществления процессов цифровой трансформации, становится все более очевидным, что существенная доля этой информации, хранимой и обрабатываемой на ДЦ и в ОХ, представляет собой неструктурированные данные, вопросы корректного поиска которых становились все более актуальными и сложными. Особенно это характерно для Больших Данных – наборов данных, размеры которых выходят за пределы типичных, стандартных и общепринятых возможностей по сбору, хранению, управлению и анализу [3-5].

Особенности Больших Данных в вопросах поиска информации «накладываются» на особенности процессов цифровой трансформации, под которой понимается комплексный подход по внедрению новейших цифровых технологий во все процессы жизнедеятельности общества и государства. При этом подразумевается формулировка новых требований к аппаратным и программным решениям, связанных с масштабными преобразованиями в различных сферах деятельности общества и государства, причем на основе внедрения цифровых продуктов, а не просто использования в их работе новых технологических решений.

Одними из основных требований, предъявляемых к современным и перспективным механизмам автоматизации информационного поиска и алгоритмам управления процессами реализации поисковых запросов в Больших Данных, является: обеспечение адаптивной, широко и глубоко масштабируемой предварительной аналитической обработки больших массивов хранимых и обрабатываемых гетерогенных данных для повышения эффективности поиска необходимой информации в реальном или близком к реальному масштабе времени; организация оперативного выявления и маркировки поисковых признаков в Больших Данных; осуществление оперативной оценки релевантности результатов поиска; организация оперативного анализа и управления выбором и переключением поисковых массивов, своевременного принятия решений о результатах поиска, а также визуализации результатов поиска [6].

Для того чтобы реализовать эти требования, рассмотрим функциональное наполнение и конкретные перспективные подходы к совершенствованию, а по сути, к интеллектуализации, механизмов автоматизации и алгоритмов управления процессами информационного поиска в Больших Данных с учетом современных аспектов цифровой трансформации. Иными словами, чтобы реализовать эти требования, разрабатываемые методы и механизмы автоматизации информационного поиска, а также алгоритмы управления процессами реализации поисковых запросов в Больших Данных будут ориентированы на следующие подходы:

одновременный параллельный анализ большого количества источников данных (локальных массивов информации в Больших Данных) с точки зрения поиска необходимой пользователю информации;

построение и использование масштабируемой многоуровневой архитектуры автоматизированной интеллектуальной системы управления процессами информационного поиска в Больших Данных с учетом аспектов цифровой трансформации;

использование технологии обработки Больших Данных (аналитика Больших Данных);

применение эффективных алгоритмов переобучения существующих моделей реализации поисковых запросов и добавление новых моделей и алгоритмов без прерывания работы автоматизированной интеллектуальной системы управления процессами информационного поиска в Больших Данных;

различные способы поддержания требуемого уровня оперативности и релевантности поиска, использующие платформы параллельных вычислений, методы искусственного интеллекта (включая машинное обучение), онтологическое представление данных для принятия решений о результатах поиска, а также современные методы визуализации.

Исходя из рассмотренных требований, возможных направлений совершенствования, с учетом особенностей Больших Данных и аспектов цифровой трансформации, а также исходя из масштабности решаемой конкретной научной задачи, целесообразно осуществить ее декомпозицию на ряд подзадач. Декомпозиция должна быть осуществлена в соответствии с новыми, планируемыми к применению, функциональными модулями (содержащими модели, методы и алгоритмы, включая алгоритмы обработки нечетких данных), которые должны входить в состав перспективной автоматизированной интеллектуальной системы управления процессами информационного поиска в Больших Данных [7].

К числу новых функциональных модулей, реализующих модели, методы и алгоритмы, которые, по нашему мнению, должны входить в состав перспективной автоматизированной интеллектуальной системы управления процессами информационного поиска в Больших Данных, но которые отсутствуют у известных управляемых автоматизированных поисковых систем такого типа, можно, например, отнести:

- распределенные интеллектуальные сканеры хранимых на ДЦ и в ОХ гетерогенных данных, обеспечивающие оперативный, надежный и устойчивый к внешним воздействиям сбор и предварительную маркировку больших массивов информации;

- функциональные модули обнаружения в реальном времени классификационных (признаковых поисковых) меток данных, содержащие модели, методы и средства для оперативного выявления типа, времени и места хранения информации и построенные, например, на основе использования приемов и методов параллельной обработки данных, адаптированных к обработке Больших Данных методов моделирования сложных поисковых запросов, основанных на графах, сетях Петри и имитационных (многоагентных) моделях;

- функциональные модули оперативного выявления и маркировки поисковых признаков в Больших Данных, содержащие модели, методы и средства для оперативного выявления типа, времени и места проявления этих поисковых признаков и построенные на основе использования методов распределенного машинного обучения на Больших Данных, методов эволюционных вычислений, приемов и методов параллельной обработки данных;

- функциональные модули оперативной оценки релевантности результатов информационного поиска, содержащие модели, методы и средства для обеспечения расчета метрик

- релевантности (с заранее заданной точностью и полнотой), и построенные на основе использования многоуровневой системы метрик релевантности, связанных с результатами моделирования сложных поисковых запросов пользователей;

- функциональные модули оперативного анализа и управления выбором, сортировкой и переключением поисковых массивов (локальных массивов информации в Больших Данных, в которых производится информационный поиск), содержащие модели, методы и средства для вычисления в реальном масштабе времени комплекса взаимосвязанных показателей (метрик), характеризующих синхронизацию и «бэкап» (backup) этих массивов, и построенные на основе использования моделей и методов нечеткой классификации и кластеризации данных в информационных массивах, нечеткой оптимизации и нечеткого логического вывода, а также приемов и методов параллельной обработки больших массивов данных;

- функциональные модули оперативного принятия решений о результатах поиска, ориентированные на вычисление коэффициента пертинентности реализации поисковых запросов с учетом предпочтений пользователя;

- функциональные модули визуализации и предоставления результатов поиска пользователю, содержащие модели, методы и средства для реализации сценариев

визуализации, обеспечивающих последовательное визуальное (графическое) представление искомых данных и комбинированное представление результатов поиска с использованием диаграммных, древовидных и графовых структур, и построенные на основе использования как стандартных, так и специально разработанных для этой цели нестандартных моделей и методов визуализации данных, в том числе, с использованием виртуальной и дополненной реальности.

Заключение.

Таким образом, проанализированы современные особенности смыслового понятия и физической сущности Больших Данных, взаимосвязь появления, объективного и активного расширения этого явления в технической сфере с принципами, аспектами и этапами цифровой трансформации общества и государства. Результаты этого анализа позволили говорить об актуальности и целесообразности совершенствования механизмов автоматизации информационного поиска и алгоритмов управления процессами реализации поисковых запросов в Больших Данных. Более того, они позволили подчеркнуть важность и своевременность разработки нового научно-методического аппарата, включающего совокупность методов, алгоритмов, поисковых приложений и технологий, предназначенных для построения автоматизированных интеллектуальных систем управления процессами информационного поиска в Больших Данных с учетом современных аспектов цифровой трансформации.

С учетом этого предложены функциональное наполнение этапов построения подобных систем и конкретные перспективные подходы к совершенствованию механизмов автоматизации и алгоритмов управления процессами реализации поисковых запросов с использованием современных платформ параллельных вычислений, методов искусственного интеллекта, в том числе, методов машинного обучения, интеллектуальных методов и средств обработки Больших Данных и методов их онтологического представления в рамках поиска, а также современных методов визуализации результатов поиска.

Проведенные исследования позволили конкретизировать примерный состав и функционал новых модулей, которые, по нашему мнению, должны входить в состав перспективной автоматизированной интеллектуальной системы управления процессами информационного поиска в Больших Данных. Направлением дальнейших исследований в этом направлении может стать более детальный анализ и построение интеллектуальных механизмов управления поиском в условиях различного рода неопределенности (нечеткости, неполноты, противоречивости) поисковых запросов пользователей.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». – М.: Система Гарант. – 2024. – 67 с.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 16 марта 2024 г. № 637-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации государственного управления». – М.: Система Гарант. – 2024. – 48 с.
3. Макшаков А. В., Журавлев А. Е., Тындыкарь Л. Н. Большие данные. Big Data. Учебник для вузов. – Санкт-Петербург: Лань, – 2023. – 188 с.
4. Паращук И. Б. Проблемы Больших Данных. Особенности и пути решения // IX-ая Санкт-Петербургская Межрегиональная конференция «Информационная безопасность регионов России 2015 (ИБРР-2015)». Материалы конференции, – СПб.: СПОИСУ, – 2015. С. 175-176.
5. Галабурдин А. В. Курс лекций по дисциплине «Анализ и поиск в больших базах данных». – Ростов-на-Дону: Изд-во Донского ГТУ, – 2024. – 88 с.
6. Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В. Обоснование требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных // Техника средств связи. – 2024. – № 1 (165). С. 76-89.
7. Паращук И. Б., Михайличенко А. В., Саяркин Л. А. Реализация поисковых информационных запросов в крупных дата-центрах с использованием математических методов теории нечетких множеств // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов («СинхроИнфо»). – Т.15, – № 3, – 2024. С. 20-27.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОТДЕЛКИ ДРЕВЕСИНЫ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

В.А. Соколова¹

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург, 191186, Россия, sokolova_vika@inbox.ru

Аннотация. В статье описана методика, которая позволяет эффективно изменять режимы отделки древесины с минимальными затратами и с использованием автоматизированного расчета, основываясь на предпочтениях в отношении различных целевых показателей. Разработана математическая модель, в которой применены специфические методы (метод Лассо, гребневая регрессия, алгоритм Бахадура) для оптимального выбора факторов, направленного на совершенствование технологии отделки древесины. Продemonстрировано преимущество метода Лассо, который одновременно выполняет отбор переменных и построение регрессионной модели. Комплексная оценка позволяет определить оптимальный режим технологии отделки древесины с учетом всех целевых показателей.

Ключевые слова: технология отделки, режимы, метод Лассо, гребневая регрессия.

WOOD FINISHING PROCESS MANAGEMENT: INTELLIGENT OPTIMIZATION USING REGULARIZATION METHODS

V.A. Sokolova¹

¹FSBE IHE «Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design», 191186, Russia, sokolova_vika@inbox.ru

Abstract. The article describes a technique that allows for efficient change of wood finishing modes with minimal costs and using automated calculation based on preferences for various target indicators. A mathematical model has been developed that uses specific methods (Lasso method, ridge regression, Bahadur algorithm) for optimal selection of factors aimed at improving wood finishing technology. The advantage of the Lasso method, which simultaneously selects variables and builds a regression model, has been demonstrated. A comprehensive assessment allows for determining the optimal mode of wood finishing technology taking into account all target indicators.

Keywords: finishing technology, modes, Lasso method, ridge regression.

Введение

Для определения рациональных условий отделки древесины необходимо подойти к этой задаче методично и системно. Разработка статистических моделей требует выполнения нескольких ключевых этапов:

Сбор данных: На первом этапе необходимо собрать данные о различных покрытиях, их адгезии, термостойкости, биостойкости и огнеупорности. Кроме того, нужно зафиксировать технологические параметры обработки, такие как вязкость состава, расход лакокрасочных материалов, температура сушки и скорость нанесения.

Анализ существующих условий: Важно проанализировать существующие методы отделки древесины, провести сравнение различных комбинаций материалов и технологических параметров. Это позволит понять, какие из них уже зарекомендовали себя, а какие требуют доработки.

Построение статистических моделей: На основе собранных данных можно начинать разработку статистических моделей. Для этого подойдут методы регрессионного анализа, многомерного анализа и методы машинного обучения. Модели помогут установить зависимости между качественными характеристиками покрытия и технологическими параметрами.

Выявление факторов, влияющих на качество покрытия: В процессе анализа и моделирования необходимо определить, какие именно факторы оказывают наибольшее влияние на качество лакокрасочного слоя. Это могут быть как физические, так и химические характеристики материалов, а также условия их применения.

Проверка и валидация моделей: Созданные модели должны пройти валидацию на новых данных (тестовой выборке), чтобы подтвердить их точность и применимость. Это можно сделать с помощью статистических тестов и анализа ошибок.

Оптимизация технологических параметров: На основе полученных моделей можно будет провести оптимизацию технологических параметров обработки, что позволит добиться наилучшего качества отделки. Это может включать подбор оптимальной вязкости, определение идеального расхода материалов и настройку параметров сушки.

С помощью такого подхода можно обеспечить высокое качество отделки древесины, учитывая все важные аспекты, которые влияют на финишный продукт [1, 2].

Цель исследования – разработать модель, позволяющую с наименьшими затратами и с использованием автоматизированного расчета менять режимы технологий отделки древесины на основе предпочтений целевых показателей.

1. Применение методов регуляризации

Для исследования воздействия различных факторов (вязкость, расход лакокрасочного материала, температура сушки, скорость нанесения) на характеристики покрытий (адгезия, термостойкость) применялись методы регуляризации [3, 4]. Методы Лассо и гребневая регрессия сосредоточены на уменьшении функции потерь с учетом дополнительных условий. Главное отличие между ними заключается в типе ограничений, применяемых к компонентам вектора:

$$\|\beta\|^1 = \sum_{j=1}^p |\beta_j| \leq s, s \geq 0. \quad (1)$$

Для учета корреляций между факторами и их вклада в минимальные значения целевых показателей предложен модифицированный метод Лассо с весовыми коэффициентами.

Для вычисления штрафных коэффициентов в методе Лассо используется подход, который включает расчет средневзвешенного влияния каждого значимого фактора на предсказанные значения целевых переменных. При определении весов в адаптивной версии Лассо следует учитывать вероятностные свойства факторов и их корреляцию с экспериментальными данными.

Главная цель методики заключается в создании точного алгоритма для вычисления средневзвешенных вкладов. Для достижения этой цели требуется:

1. Оценить влияние каждого фактора в отдельности;
2. Учитывать взаимосвязи между различными параметрами;
3. Разработать математическую модель, которая даст возможность количественно отобразить эти зависимости.

Для оценки взаимного влияния пар факторов (X_i и X_j) на результаты исследования применяется метод расчета их совместной вероятности $P(X_i, X_j)$ с применением формулировки Бахадура [5, 6, 7].

Если взять две бинарные переменные с обозначениями k и i , то их совместное вероятностное распределение может быть записано в такой форме:

$$\pi(x_k, x_i) = \pi_k^{x_k} (1 - \pi_k)^{1-x_k} \cdot \pi_i^{x_i} (1 - \pi_i)^{1-x_i} \cdot (1 + \rho_{ki} u_k u_i). \quad (2)$$

где π_k – вероятность k -го значимого фактора, т.е. $\pi_k = \Pr\{x_k = 1\}$; ρ_{ki} – коэффициент корреляции между k -ым и i -ым значимыми факторами, который определяется как $\rho_{ki} = E[U_k U_i]$, где случайная стандартизованная величина U_k принимает значения u_k таким образом, что:

$$U_k = \frac{X_k - \pi_k}{\sqrt{\pi_k(1 - \pi_k)}}, u_k = \frac{x_k - \pi_k}{\sqrt{\pi_k(1 - \pi_k)}}. \quad (3)$$

Метод Бахадура допускает расширение для описания совместных вероятностных характеристик трёх, четырёх и произвольного количества случайных переменных:

$$\pi(x_1, x_2, \dots, x_t) = \left(\prod_{i=1}^t \pi_i^{x_i} (1 - \pi_i)^{1-x_i} \right) \left(1 + \sum_{Q \subset \{1, \dots, t\}, |Q| \geq 2} \rho_Q \prod_{k \in Q} u_k \right). \quad (4)$$

Проведенные расчеты демонстрируют корреляцию между основными параметрами, вероятностные характеристики данных, а также важность учета минимальных значений при анализе физико-механических показателей лакокрасочных покрытий. Это соответствует основной задаче исследования - определению ключевых факторов влияния.

Математические модели, связывающие показатели адгезии с влияющими параметрами представлены в таблице 1.

Таблица 1. Математические модели, связывающие показатели адгезии с влияющими параметрами

Показатель - АДГЕЗИЯ	
Метод Лассо	Метод гребневой регрессии
$y_1 = 0,849 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4$	$y_1 = 0,635 \cdot x_1 + 0,251 \cdot x_2 + 0,024 \cdot x_3 + 0,002 \cdot x_4$

В таблице 2 приведены модели, описывающие зависимость адгезионных характеристик от двух взаимосвязанных параметров.

Таблица 2. Модели, описывающие зависимость адгезионных характеристик от двух взаимосвязанных параметров

Метод Лассо	Алгоритм Бахадура
$\alpha_{13} = 0,681$	$\alpha_{13} = 0,325$
$\alpha_{12} = 0,294$	$\alpha_{12} = 0,288$
все остальные $\alpha_{ij} = 0$	все остальные $\alpha_{ij} = 0$

Модели корреляций пар факторов для исследования факторов, оказывающих влияние на адгезию:

$$y_1 = \alpha_{12} \cdot x_1 x_2 + \alpha_{13} \cdot x_1 x_3 + \dots + \alpha_{34} \cdot x_3 x_4, \quad (5)$$

Наибольшее влияние на адгезию оказывают вязкость и расход ЛКМ. Комбинация вязкость + температура сушки даёт синергетический эффект. Метод Лассо выделяет 1–2 ключевых фактора, гребневая регрессия сохраняет все, но с малыми коэффициентами.

2. Интеграция методов

Для комплексной оптимизации предложена комбинация Лассо и гребневой регрессии, дополненная методом парных сравнений Саати для ранжирования критериев. Реализация выполнена в R с автоматизацией расчетов.

3. Возможности

Методика позволяет:

- Выявлять значимые факторы с минимальными вычислительными затратами.
- Гибко настраивать технологические режимы под конкретные производственные задачи.
- Учитывать нелинейные эффекты взаимодействия параметров.

Таблицы 1, 2 подтверждают эффективность подхода:

- Вязкость — доминирующий фактор.
- Парные взаимодействия (например, вязкость $\times$ температура) усиливают влияние на адгезию.
- Автоматизированный расчет на основе матриц парных сравнений упрощает выбор оптимальных условий.

Заключение

1. Результаты исследования подтверждают преимущество комбинации регрессионных методов (Лассо и гребневой регрессии) для анализа данных. Этот подход обеспечивает более точную оценку влияния факторов на свойства покрытий (адгезию, термо- и водостойкость) как по отдельности, так и во взаимодействии, с учётом производственных требований.

2. В основу предложенного метода положены линейные регрессионные модели, выбранные благодаря их способности четко выделять наиболее важные технологические параметры. Значения коэффициентов в этих уравнениях непосредственно показывают величину и направление влияния каждого фактора.

3. Анализ с использованием методов Лассо и гребневой регрессии показал, что вязкость и расход лакокрасочного материала являются ключевыми факторами.

4. Метод позволяет эффективно корректировать технологические параметры при незначительных ресурсных затратах благодаря применению автоматизированных расчетных алгоритмов. Интеграция метода Саати с его парными сравнениями минимизирует сложность анализа, переводя многокритериальную задачу в серию простых бинарных оценок.

5. Таким образом, предложенная методика обеспечивает научно-обоснованный выбор режимов технологий отделки древесины, сочетая статистический анализ с практическими требованиями производства.

Список литературы

1. Nina Zhou and Lipo Wang Effective selection of informative SNPs and classification on the hapmap genotype data. BMC Bioinformatics. 2007. №8(1). P. 484–492.
2. Kohavi R., John G.H. Wrappers for feature subset selection. Artificial Intelligence. 1997. № 97. P. 273–324.
3. Уткин Л.В., Жук Ю.А., Коолен Ф. Робастная модификация метода Лассо для полногеномного поиска ассоциаций с учетом целевых значений фенотипа // Научно-технический вестник. 2016. Том 16, №1. С. 150-160
4. Lander E.S., Botstein D. Mapping mendelian factors underlying quantitative traits using RFLP linkage maps. Genetics. 1989. №121(1). P. 185–199.
5. Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the Lasso // Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). 1996. № 58(1). P. 267–288.
6. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, New York, 2009.
7. Уткин Л.В., Жук Ю.А., Гуров С.В. Определение значимых ДНК-маркеров на основе модификации метода Лассо для популяций удвоенных гаплоидных линий ячменя // Материалы Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. 2015. Т. 2. С. 13-16.

СЕКЦИЯ № 6

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.032.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ И ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА МАММОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Р. М. Акбиров¹, К. Н. Осипов²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, kirienko.regina@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, knosipov@mail.sevsu.ru

Аннотация. Предлагается подход к разработке автоматизированной системы распознавания злокачественных и доброкачественных образований на маммографических снимках, основанный на использовании технологий компьютерного зрения, построенных на базе сверточных нейронных сетей. Проанализированы наиболее рациональные, с точки зрения принятых критериев, архитектуры сверточных нейронных сетей, а также их гиперпараметры. Показано преимущество предлагаемого подхода.

Ключевые слова: автоматизированная система, злокачественные и доброкачественные образования, компьютерное зрение, маммограмма, сверточные нейронные сети.

AUTOMATED SYSTEM FOR RECOGNITION OF MALIGNANT AND BENIGN LESIONS ON MAMMOGRAPHIC IMAGES

R.M. Akbirova¹, K.N. Osipov²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, kirienko.regina@yandex.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, knosipov@mail.sevsu.ru

Abstract. An approach to the development of an automated system for recognizing malignant and benign tumors in mammographic images is proposed, based on the use of computer vision technologies built on the basis of convolutional neural networks. The most rational, from the point of view of the accepted criteria, architectures of convolutional neural networks, as well as their hyperparameters, are analyzed. The advantage of the proposed approach is shown.

Keywords: automated system, malignant and benign tumors, computer vision, mammogram, convolutional neural networks.

Введение

По данным документа «Заболеваемость населения по основным классам болезней» на сайте Федеральной службы государственной статистики «Росстат», рак молочной железы по состоянию на 2021 год остается одной из наиболее распространенных онкологических патологий, являющихся причиной смерти у женщин [1]. При этом пик заболеваемости раком молочной железы отмечается в возрасте 45 до 65 лет [2]. Очевидно, что своевременная диагностика и лечение играют ключевую роль в повышении выживаемости и улучшении качества жизни пациенток. Маммография, неинвазивное рентгенологическое исследование молочной железы, является одним из наиболее используемых и чувствительных инструментальных методов обследования при диагностике и скрининге молочных желез [2, 3]. Однако вариабельность визуализации и необходимость анализа большого количества снимков приводят к риску возникновения ошибок в диагностике и увеличению времени интерпретации диагностических данных [3]. Другими словами, интерпретация маммографических снимков – сложная и трудоемкая задача, требующая высокой квалификации и большого опыта от врача-рентгенолога. Авторами работы [3] показано, что решению указанных трудностей может быть достигнуто использованием автоматизированных систем распознавания злокачественных и доброкачественных образований на маммографических снимках, построенных на базе современных технологий искусственного интеллекта. Такие системы позволят повысить

точность и скорость диагностики, снизить нагрузку на врачей-рентгенологов и, в конечном итоге, улучшить результаты лечения рака молочной железы [3].

Анализ современного состояния вопроса.

Обзор современных способов решения задачи показал, что на рынке представлено несколько коммерческих платформ, которые могут быть использованы для автоматизированного анализа маммограмм. Например, Ai-платформа для анализа маммограмм «ТриОДМ-МТ» и Ai-платформа для анализа медицинских изображений «Цельс» [4-8]. Важно отметить, что их доступность и конкретные характеристики весьма различны. К особенностям предлагаемых систем можно отнести их стоимость и требования к конкретному оборудованию [6, 9]. Использование подобных систем безотносительно к аппаратной части требует дополнительных исследований и затрат. Поэтому возникает задача разработки универсальных автоматизированных систем распознавания рака молочной железы по результатам анализа маммограмм не привязанных к конкретным аппаратным решениям, используя опыт, накопленный отечественными и зарубежными исследователями в этой области.

Целью работы является формирование подхода к построению универсальных автоматизированных систем распознавания рака молочной железы по результатам анализа маммограмм не привязанных к конкретным аппаратным решениям.

Нейронные сети в автоматизированных системах

Нейронные сети играют ключевую роль в современных автоматизированных системах, благодаря своей способности к обучению, адаптации и обобщению. В литературе искусственные нейронные сети описаны как вычислительные структуры, строящиеся по принципам организации и функционирования их биологических аналогов, структурно-функциональной единицей которых является нейрон. Нейрон и математическая модель нейрона представлены на рис. 1.

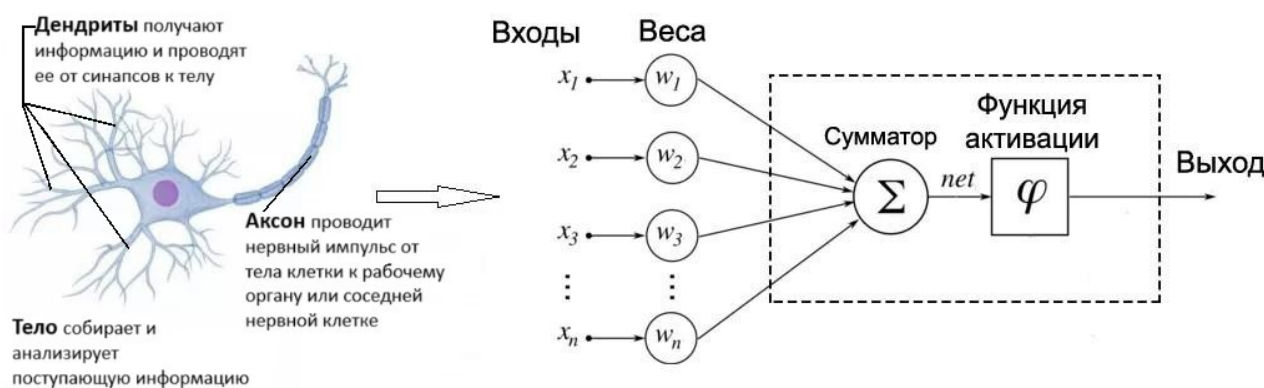


Рис. 1. Нейрон и математическая модель нейрона

Нейрон состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматора и нелинейного преобразователя. Синапсы осуществляют связь между нейронами, умножают входной сигнал на число, характеризующее силу связи, (вес синапса). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов, и внешних входных сигналов. Нелинейный преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента - выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации или передаточной функцией нейрона. На входной сигнал нелинейный преобразователь отвечает выходным сигналом, который представляет собой выход нейрона [10].

Нейроподобные элементы, составляющие искусственную нейронную сеть, соединены друг с другом и с внешней средой (входными данными) связями, определяемыми весовыми коэффициентами. Входная информация подвергается преобразованию, результат которого зависит не только от характеристик «нейронов», но и от их расположения, т.е. от архитектуры нейронной сети.

Этапы разработки автоматизированных систем

Рассмотрим основные этапы разработки автоматизированных систем распознавания рака молочной железы по результатам анализа маммограмм.

1. Разработка автоматизированной системы начинается с определения целей и требований к системе. В литературе все ошибки в рентгенологии разделяют на три категории:

а) ошибки поиска; б) ошибки обнаружения; в) ошибки интерпретации. Ошибки поиска и обнаружения (или ошибки восприятия) определяются как ошибки, возникающие в случаях, когда патология находится в поле съемки и является заметной, но не распознается рентгенологом. Ошибки интерпретации — это ошибки, возникающие в случаях, когда патология описана, но неправильно классифицирована, например, изображение с подозрительными характеристиками интерпретируется как доброкачественное [10]. Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что основными целями системы является повышение точности диагностики, за счет обеспечения более объективной и стандартизированной оценки маммографических снимков, снижение количества ложноотрицательных и ложноположительных результатов. Система так же должна способствовать сокращению времени, необходимого врачу-рентгенологу для анализа, снижению нагрузки на врачей-рентгенологов, поддерживать анализ маммограмм, полученных на различных аппаратах, и повысить доступность современных технологий диагностики.

2. Создание или поиск датасета (англ. dataset). Датасет – это обработанный и структурированный массив данных, который необходим для обучения и тестирования системы. Для автоматизированной системы распознавания злокачественных и доброкачественных образований на маммографических снимках датасет представляет собой набор маммограмм, размеченных экспертами (например, маммологами, рентгенологами). Датасет маммограмм представлен на рис. 2. Снимки на маммографических датасетах размечаются по типу образования: злокачественное, доброкачественное, норма. Может быть также выделена локализация образований, определен размер образований, определен тип аномалий (например, кисты или кальцинаты).

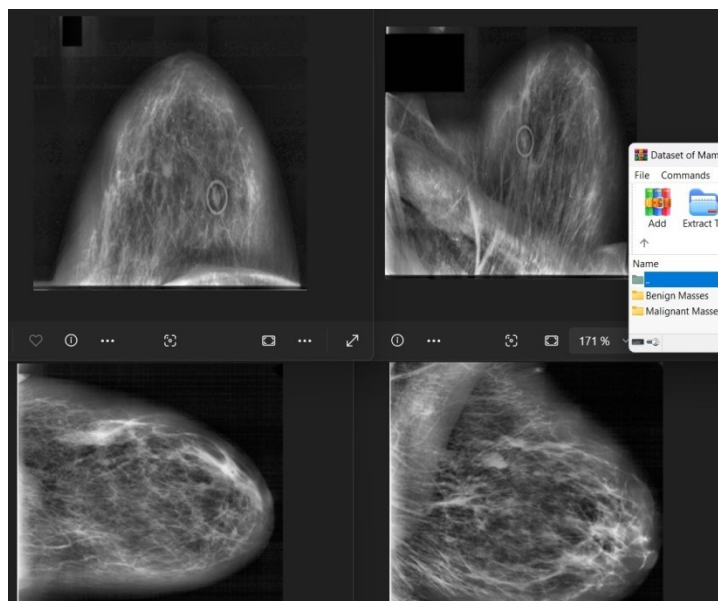


Рис. 2. Размеченные маммограммы

3. Предобработка данных. Этот этап заключается в удалении артефактов, нормализации яркости и контраста, приведении значений к определённому диапазону, масштабировании и стандартизации данных для улучшения обучаемости моделей.

4. Разработка модели. Выбор архитектуры нейронной сети, которая хорошо подходит для анализа маммографических снимков и потенциально устойчива к вариациям в данных, и оптимизация модели.

5. Обучение модели на размеченных данных и валидация. На этапе обучения модель анализирует данные, выявляет закономерности и строит связи между входными данными и целевыми результатами, что достигается путём настройки параметров модели, таких как веса нейронов в нейронной сети. Валидация – это промежуточный этап проверки, на котором оценивается качество работы модели на данных, которые она не видела ранее, но взятых из той же выборки.

6. Тестирование модели на независимых выборках данных и оценка точности, надёжности и универсальности системы.

Распознавание объектов на изображениях при помощи нейронного оператора

Нейронный оператор (Neural Operator) в контексте обработки изображений часто можно рассматривать как каскадную вычислительную процедуру, где данные (изображения) проходят через последовательность слоев, каждый из которых выполняет определенные преобразования, что позволяет постепенно поэтапно извлекать все более значимые признаки и выделять глобальные зависимости в изображениях. Конкретные операции, выполняемые в каждом слое, зависят от архитектуры нейронного оператора и задачи обработки изображений.

Так как нейронные операторы предназначены для работы с функциями, изображения необходимо рассматривать как функцию, которая отображает координаты пикселей в значениях цвета или оттенках серого. Данные изображения (функция) поступают на вход нейронного оператора. После чего проходят каскадную вычислительную процедуру и на выходе формируется функция, которая отражает результат решения системы уравнений в частных производных. Аналитически задача для нейронного оператора формализуется как задача поиска параметров матрицы W , которые дают наилучшее приближение для оператора решения системы уравнений в частных производных.

Выводы

Разработка универсальных автоматизированных систем распознавания рака молочной железы по результатам анализа маммограмм имеет огромное значение для современной медицины. Такие системы способны значительно повысить точность и объективность диагностики, уменьшить количество ошибок, сократить время на анализ маммограмм и снизить нагрузку на врачей-рентгенологов. В этой связи, предлагаемый подход к построению универсальных системы анализа маммограмм на основе технологий искусственного интеллекта, не привязанных к конкретным аппаратным решениям, позволит в значительной степени повысить достоверность диагностических операций и скорость принятия решений без существенных финансовых затрат.

Список литературы

1. Здравоохранение. Заболеваемость населения по основным классам болезней (29.11.2024) / [Электронный ресурс] // Росстат: [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 25.03.2025).
2. Иванов О.А. Основы клинической маммологии. Учебно-методическое пособие / О.А. Иванов, В.Г. Акишкин, Ю.В. Оганесян, Н.Г. Богомоллов и др. – Астрахань: Астраханская государственная медицинская академия, 2008. – 99 с.
3. Садыков С.С. Автоматизированная обработка и анализ маммографических снимков. Монография / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 208 с.
4. ТриодМ-МТ. AI-платформа для анализа маммограмм / [Электронный ресурс] // АО «МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ Лтд»: [сайт]. – URL: <https://www.mtl.ru/products/informatsionnye-tehnologii/avtomatizirovannye-rabochie-mesta-diarm-mt/triodm-mt-ai-platforma-dlya-analiza-mammogramm/> (дата обращения 25.03.2025).
5. Маммография / [Электронный ресурс] // ООО "Медицинские скрининг системы": [сайт]. – URL: <https://celsus.ai/products-mammography/> (дата обращения 25.03.2025).
6. Продукция. Каталог продукции АО «МТЛ» / [Электронный ресурс] // АО «МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ Лтд»: [сайт]. – URL: <https://www.mtl.ru/products/> (дата обращения 28.03.2025).
7. AI-платформа для анализа медицинских изображений. Презентация / [Электронный ресурс] // ООО "Медицинские скрининг системы": [сайт]. – URL: <https://celsus.ai> (дата обращения 28.03.2025).
8. Карпов О.Э. Компаративное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «ЦЕЛЬС» и врачей-рентгенологов / Карпов О.Э., Броннов О.Ю., Капнинский А.А. и др. // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2021 г. – Т. 16, № 2. – С.86-92. DOI: 10.25881/20728255_2021_16_2_86.
9. Калужская компания «Медицинские скрининг системы» разработала программу искусственного интеллекта «Цельс» на основе нейросети для анализа медицинских изображений по направлению флюорография и маммография / [Электронный ресурс] // ООО «Вадемекум Медиа» новости: [сайт]. – URL: <https://vademec.ru/news/2020/07/16/kaluzhskaya-kompaniya-za-45-mln-rublei-vnedrila-ii-dlya-analiza-flyuorogramm-v-moskovskikh-otdeleniya/> (дата обращения 28.03.2025).
10. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов – М: Горячая линия-Телеком, 2002. – 2-е изд. – 382 с.
11. Пасынков Д.В. Системы компьютерного анализа маммограмм при скрининге рака молочной железы: как они работают и каково их место в клинической практике? (Обзор иностранной литературы) / Д.В. Пасынков, Р.Ш. Хасанов, М.Г. Тухбатуллин, С.Н. Меринов // Поволжский онкологический вестник, 2021. – Т. 12. № 2. – С.65-77. DOI: 10.32000/2078-1466-2021-2.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ СОЛЯНОГО ТУМАНА В ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ

А.Ю. Ильченко¹, А.И. Балакин²

¹ФГБОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, AUIlchenko@sevsu.ru

²ФГБОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, AlBalakin@mail.sevsu.ru

Аннотация. В работе подтверждена актуальность проблемы определения размеров капель соляного тумана при проведении испытаний в климатических камерах. Рассмотрены основные процессы, протекающие при создании и использовании соляного тумана. Приведены основные методы и средства контроля размеров частиц тумана, указаны их достоинства и недостатки. Приведены схемы контроля размеров капель тумана. Рассмотрены основные элементы систем автоматического управления размером капель тумана. Обоснован выбор метода лазерной дифракции для построения автоматической системы определения размеров капель соляного тумана в испытательной камере.

Ключевые слова: соляной туман, климатическая камера, испытание, образец, размер капель, лазерная дифракция.

ANALYSIS OF METHODS FOR CONTROLLING AND REGULATING THE SIZE OF SALT MIST DROPLETS IN THE TEST CHAMBER

A.Y. Ilchenko¹, A.I. Balakin²

¹FSBEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, AUIlchenko@sevsu.ru

²FSBEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, AlBalakin@mail.sevsu.ru

Abstract. The paper confirms the relevance of the problem of determining the size of salt mist droplets during testing in climate chambers. The main processes occurring during the creation and use of salt mist are considered. The main methods and means of controlling the size of fog particles are given, their advantages and disadvantages are indicated. Schemes for controlling the size of fog droplets are given. The main elements of automatic mist droplet size control systems are considered. The choice of the laser diffraction method for constructing an automatic system for determining the size of salt mist droplets in a test chamber is justified.

Keywords: salt mist, climate chamber, test, sample, droplet size, laser diffraction.

Введение

Соляной туман, представляющий собой аэрозоль, состоящий из капель соляного раствора, широко используется в различных отраслях, включая испытания материалов на коррозионную стойкость. В случае, когда коррозия является одной из основных причин разрушения материалов, особенно в таких сферах, как строительство, судостроение, сельское хозяйство, медицина, электроэнергетика, машиностроение и другая промышленность, испытания на коррозионную стойкость и как следствие определение параметров соляного тумана в испытательной камере становятся критически важными. Эффективное использование соляного тумана требует разработки систем контроля и регулирования его однородности, что является ключевым фактором для достижения желаемых результатов.

Климатические испытания проводятся для различных технических устройств, которые позволяют оценить коррозионную стойкость этого оборудования при работе на открытом воздухе. Одним из таких устройств является реклоузер. Оценка параметров при климатических испытаниях для этих приборов определяется стандартом ИЕС 62217:2012 [1]. Согласно стандарту, необходимо измерять: размер капель воды, концентрацию NaCl, расход потока раствора и другие параметры, влияющие на результаты исследований. Любые несоответствия при проведении исследования могут исказить результаты испытаний, что подтверждает необходимость соблюдения стандартов и методик при их проведении [2,3]. Таким образом решение проблемы разработки и внедрения более эффективных систем

контроля и регулирования однородности соляного тумана в коррозионной испытательной камере на исследуемых образцах является актуальным.

Цель работы

Произвести анализ существующих методов контроля и регулирования однородности капель соляного тумана в испытательной камере.

Основная часть

Основные процессы, протекающие при создании и использовании соляного тумана следующие: собственно, создание тумана, коагуляция и осаждение, испарение, диффузия, конвекция. Указанные процессы оказывают влияние на физические параметры и характеристики тумана.

Для создания тумана используют различные методы, такие как ультразвуковая атомизация, механическая (форсуночная) атомизация, электронные распылители, тепловая атомизация.

На стадии коагуляции происходит объединение мелких капель в более крупные, в этот момент капли тумана сталкиваются и могут объединяться за счет молекулярных сил. Следом за коагуляцией следует осаждение, при котором капли тумана теряют свою энергию и начинают оседать на поверхности, превращаясь в жидкость за счет сил тяжести и испарения. На этапе испарения капли жидкости, образованные в результате атомизации, теряют свою массу и превращаются в пар. Этот процесс может быть важен для управления размером капель и общей видимостью тумана. При влиянии температуры, влажности и размера капель происходит процесс, при котором молекулы или частицы перемещаются от областей с высокой концентрацией к областям с низкой концентрацией под воздействием теплового движения, называемый диффузией. За этим процессом следует конвекция, которая представляет собой перемещение воздуха, вызванное разностью температур. Постоянное наблюдение и управление процессами, влияющими на физические параметры и характеристики генерации соляного тумана, позволяют достичь однородного и стабильного тумана, который используется в испытательной камере при контроле проведения климатических испытаниях реклоузеров.

Рассмотрим основные методы и средства контроля размеров частиц тумана. В настоящее время часто используются следующие методы и средства:

1) Лазерные дифракционные датчики. Принцип работы измерительных устройств на их основе заключается в следующем, лазерный луч проходит через соляной туман частицы тумана рассеивают лазерный свет, и это рассеянное излучение регистрируется детектором. Схема прибора для определения размера частиц методом лазерной дифракции приведена на рис.1.

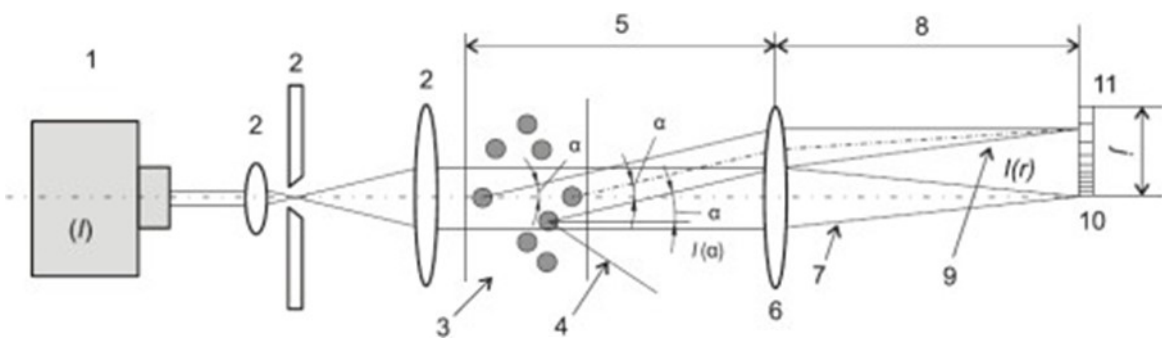


Рис. 1. Схема прибора для определения размера частиц методом лазерной дифракции. [4]

1 – источник лазерного излучения, 2 – модуль обработки лазерного излучения, 3 – частицы, 4 – рассеянный свет, не собранный линзой (6), 5 – рабочее расстояние линзы (6), 6 – линза Фурье, 7 – прямой луч, 8 – фокусное расстояние линзы (6), 9 – рассеянный луч, 10 – детектор затемнения, 11 – многоэлементный детектор

Полученные данные об уровне рассеяния используются для определения распределения размеров частиц. Путем анализа можно получить информацию о размере, форме и концентрации частиц [5]. Лазерные датчики обеспечивают высокую степень точности в измерениях, что является важным фактором при контроле. Также к преимуществам данного метода можно отнести обеспечение непрерывного мониторинга, что позволяет оперативно реагировать на изменения характеристик соляного тумана, кроме того высокая скорость измерений обеспечивает получение данных в реальном времени. Лазерная дифракция не требует специальной обработки образцов, что упрощает процесс измерения. Автоматизация процесса является главным преимуществом использования таких систем. В качестве недостатка данного метода следует отметить высокую стоимость оборудования (например, анализаторы Malvern Mastersizer, Sympatec HELOS), а также необходимость калибровки по эталонным образцам.

2) Метод микрофотографирования заключается в следующем: пробы тумана берут путем естественного осаждения капель на предметное стекло, помещенное в середине камеры. На поверхность стекла наносят смесь трансформаторного масла с вазелином. Стекло выдерживают в камере около 0,5 мин при работающем устройстве для распыления раствора. Стекло с осевшими на нем каплями тумана фотографируют через микроскоп, выполняя 3 - 5 снимков в разных местах пробы. Пример фотографии капель тумана под микроскопом приведен на рис. 2 [6].

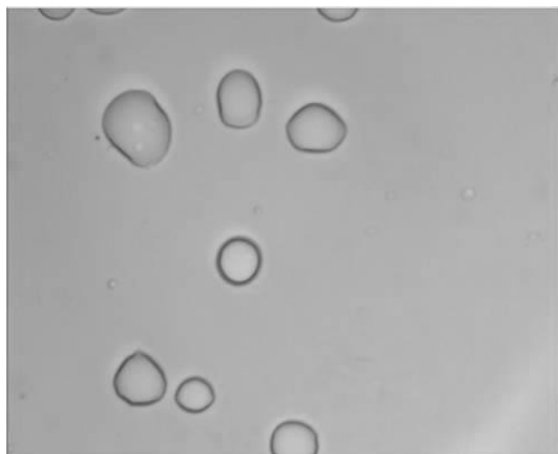


Рис. 2. фотография капель тумана под микроскопом [6];

Далее проводят подсчет общего числа заснятых капель данной пробы, измерение размеров капель и подсчет числа капель каждого размера. Для этого с помощью диапроектора или фотоувеличителя проектируют увеличенное изображение сфотографированных капель на экран с миллиметровой сеткой и по числу делений сетки экрана, укладывающихся в диаметре изображения, капли, находят размер данной капли в микронах. Цену деления сетки экрана определяют согласно шкале делений объект микрометр, заснятой при том же увеличении, что и капли. Этот метод имеет множество преимуществ, включая высокую точность, возможность обработки больших объемов данных [7].

К преимуществам данного метода можно отнести высокую точность при измерении размеров капель, возможность исследования растворов с малыми концентрациями. Также этот метод подходит для предварительной калибровки перед началом испытаний, но он тоже имеет ряд недостатков. Он не подходит для оперативного контроля за изменением размеров капель в ходе испытания, которое длится 1000 – 2000 часов и нет возможности открывать / закрывать камеру для установки стекла [6]. Также недостатком является ограниченная статистика – анализ небольшой области по сравнению с лазерной дифракцией, где охватываются миллионы частиц.

Поддержание заданного размера капель в испытательной камере, является критически важным для обеспечения достоверности результатов. Методы регулирования позволяют

активно влиять на процесс распыления, корректируя параметры генерации тумана в реальном времени. К ним относят:

- изменение давления и скорости потока. Данные с датчиков потока позволяют настраивать параметры генераторов тумана, включая давление, объем подачи раствора и скорость потока воздуха, что гарантирует постоянное качество тумана и сокращает его потери. Также в процессе генерации тумана важно поддерживать необходимое давление. Обычно более высокое давление в генераторах тумана приводит к созданию более мелких капель. При увеличении давления распыляющие сопла могут создавать более тонкие аэрозоли. Использование разных видов сопел также может влиять на размер частиц. Чем меньше сечение сопла, тем выше скорость потока и, соответственно, вероятность образования меньших капель. Увеличение скорости потока приводит к большему разрушению капель на более мелкие частицы. При этом высокоскоростной поток воздуха или жидкости может также разгонять капли, что способствует их изменению и уменьшению. Таким образом для достижения оптимального распределения частиц необходима правильная настройка скорости потока воздуха [6].

- концентрация солей и других веществ в растворе. Концентрация солей определяет физико-химические свойства раствора, включая его вязкость, поверхностное натяжение, а также плотность. Все эти параметры напрямую влияют на процесс распыления и, соответственно, на характеристики образуемых капель. При низкой концентрации солей в растворе, как правило, образуются более мелкие капли. Это связано с тем, что раствор более свободно распыляется, и капли легче разбиваются на меньшие фракции. При умеренной концентрации солей происходит оптимизация образуемых капель. Частицы могут иметь более однородный размер, так как вязкость раствора начинает оказывать влияние на процесс распыления. При высокой концентрации солей вязкость раствора может увеличиваться, что затрудняет распыление и приводит к образованию более крупных капель. Кроме того, высокая концентрация может увеличить поверхностное натяжение, что также негативно сказывается на процессе генерации тумана. Концентрация солей для генерации соляного тумана в испытательной камере определяются стандартом IEC 62217:2012 [1].

В настоящее время при реализации рассмотренных ранее методов используются автоматические системы регулирования и контроля размеров частиц соляного тумана, которые состоят из следующих основных элементов: датчики и сенсоры, микроконтроллеры, актуаторы. В качестве датчиков и сенсоров наиболее часто используются оптические дифракционные датчики. Микроконтроллеры используются для обработки данных, принятия решений, определение действий, которые необходимо предпринять для достижения оптимальных условий, регулировки процессов в испытательной камере, обеспечение автоматической корректировки параметров в ответ на изменения в системе, мониторинг исследования и генерация отчетов для анализа и дальнейшего принятия решений. Актуаторы предназначены для регулирования потока; изменение давления и температуры, контроля распыления, а также дозирования веществ. Они бывают электромеханические, пневматические, гидравлические, электропневматические.

Также важным фактором при проектировании систем автоматического управления является создание математических моделей и алгоритмов, которые применяются для обработки данных и помогают интерпретировать результаты и оптимизировать параметры системы.

Заключение

В работе выполнен анализ существующих методов и средств контроля однородности и размеров капель тумана, методы регулирования размеров капель при его генерации, также рассмотрены элементы автоматических систем управления, используемых при определении и регулировании размеров капель тумана. На основе проведенного анализа, с учетом достоинств и недостатков методов, в дальнейшем предполагается использование лазерной дифракции для построения автоматической системы определения размеров капель соляного тумана в испытательной камере.

Список литературы

1. IEC 62217:2012 Polymeric HV insulators for indoor and outdoor use - General definitions, test methods and acceptance criteria.
2. Испытания на воздействие соляного тумана или циклические коррозионные испытания? // Время электроники URL: <https://russianelectronics.ru/ispytaniya-na-vozdeystvie-solyanogo-tumana-ili-cziklicheskie-korrozionnye-ispytaniya/> (дата обращения: 01.04.2025).
3. ГОСТ 30630.2 .5— 2013 "Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие соляного тумана" от 14.11.2013 № №44-2013 // Стандартиформ. - 2014 г. - с изм. и допол. в ред. от 05.11.2014.
4. Определение распределения частиц по размеру методом лазерной дифракции света // Фармакопей.рф URL:<https://pharmacopeia.ru/ofs-1-2-1-0008-15-opredelenie-raspredeleniya-%20chastits-po-razmeru-metodom-lazernoj-difraksii-sveta/> (дата обращения: 03.04.2025).
5. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. - М.: Техносфера, 2005. - 592 с.- ISBN 5-94836-050-4.
6. Басанец В.Ю. Аналитический обзор современного состояния и перспективы развития локальной и полевой диагностики двухфазных потоков / В.Ю. Басанец // Научно-практический журнал ЭНИГМА. 2020. №21 часть 1 (Май 2020) С. 98-109.
7. Методы определения дисперсности и водности соляного тумана // Гарант URL: <https://base.garant.ru/71619676/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 07.04.2025).

УДК 004.032.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

И. В. Лавриков¹, С. И. Рощупкин²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, yokirval@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, Siroshchupkin@sevsu.ru

Аннотация. В рамках данной работы предлагается решение задачи разработки цифровой модели бесколлекторного электрического двигателя путем использования средств ППО MatLab – Simulink. Исследована скорость сходимости результатов моделирования скоростных и нагрузочных характеристик к их истинным значениям, проведена проверка управляемости и наблюдаемости двигателя в процессе его эксплуатации с использованием методики пространства состояний. Показано преимущество полученной модели.

Ключевые слова: моделирование, бесколлекторный электрический двигатель, Simulink, нагрузочные характеристики.

MODELING OF A BRUSHLESS ELECTRIC MOTOR IN MATLAB SIMULINK

I.V. Lavrikov¹, S.I. Roshchupkin²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, yokirval@mail.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, Siroshchupkin@sevsu.ru

Abstract. Within the framework of this work, a solution to the problem of developing a digital model of a brushless electric motor is proposed using the MatLab software tools – Simulink. The rate of convergence of the results of modeling the speed and load characteristics to their true values is investigated, the controllability and observability of the motor during its operation are checked using the state space technique. The advantage of the obtained model is shown

Keywords: simulation, brushless electric motor, Simulink, load characteristics.

Введение

Задачи дальнейшего совершенствования современных конструктивно сложных электрических машин, в том числе бесколлекторных (бесщеточных или вентильных) двигателей по-прежнему остаются актуальными, особенно в условиях острой необходимости импортозамещения продукции иностранного производства [1, 2, 3]. Очевидно, что решение данной задачи неразрывно связано с разработкой математических моделей, описывающих взаимосвязи между параметрами таких двигателей, имеющими разную физическую природу, и обеспечивающих оценку механических, скоростных и регулировочных характеристик на стадии эскизного проектирования. Определение вида и структуры таких моделей в значительной степени позволит сократить затраты на проектирование и доводочные, и, как следствие, контрольные испытания путем замены объекта оригинала некоторой математической или цифровой моделью, так называемой цифровой копией.

Анализ современного состояния вопроса.

Обзор современной научной и технической литературы, например, [1, 3] показал, что несмотря на актуальность задачи в открытых и общедоступных источниках отсутствуют сведения о разработке универсальных цифровых моделей бесколлекторных электрических двигателей, обеспечивающих требуемую точность результатов моделирования при одновременном сокращении вычислительных и иных затрат. Предлагаемые модели очень специализированы и, как правило, представляют системы из пяти – шести нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, что значительно повышает трудоемкость их использования в производственных условиях и вызывает увеличение стоимости процессов проектирования двигателей, не снижая при этом их трудоемкость. В этой связи задача разработки универсальных упрощенных моделей бесколлекторных электрических двигателей представляет значительный интерес

Целью работы является создание универсальной цифровой модели бесколлекторного электрического двигателя с применением ППО MatLab – Simulink, которая обеспечивает точное моделирование скоростных и нагрузочных характеристик при снижении вычислительных затрат, а также в проведении анализа управляемости и наблюдаемости двигателя с использованием метода пространства состояний.

Бесколлекторные электрические двигатели (в англоязычной аббревиатуре BLDC) широко применяются в современных технических системах благодаря их высокой эффективности, надежности и отсутствию механического износа коллектора. Создание универсальной цифровой модели BLDC в программно-прикладном обеспечении Matlab – Simulink позволит с большой точностью воспроизводить скоростные и нагрузочные характеристики, что необходимо для проектирования, тестирования и оптимизации систем управления, как это было отмечено выше.

Универсальная модель бесколлекторного мотора в Simulink предполагает разработку нескольких подмоделей.

Первая подмодель – это модель электрической части мотора. Эта задача может быть достигнута, использованием следующего уравнения

$$V = R \cdot I + L \cdot \frac{di}{dt} + E \quad (1)$$

где V — это напряжение, В, R — сопротивление, Ом, I — ток, А, L — индуктивность, Гн, E — противодействующая ЭДС.

Вторая подмодель – это модель, описывающая механическую часть мотора. Для решения этой задачи может быть использовано известное дифференциальное уравнение вращательного движения:

$$J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = M - f\omega(t) \quad (2)$$

В уравнении (2) приняты следующие обозначения: $M = C_M \cdot \Phi \cdot i(t)$ – крутящий момент, развиваемый двигателем, C_M – конструктивный коэффициент, J – момент инерции, приведенный к валу двигателя, f – коэффициент сопротивления вращению вала двигателя. При этом, если допустить постоянство магнитного потока, то можно принять, что $C_M \cdot \Phi = C_e \cdot \Phi = k$.

Реализация модели, описываемая уравнениями (1) и (2) в Simulink достигается использованием блоков из библиотеки Simscape Electrical для электрической части и Simulink для динамики и управления. Параметры двигателя (сопротивление, индуктивность, число пар полюсов) задаются как переменные, что обеспечивает универсальность модели. Общий вид модели представлен на рис. 1. Результаты моделирования на рис.2.

При этом отметим, что в процессе моделирования выдерживалась рабочая гипотеза, что параметры моделируемого двигателя инвариантны ко времени, т.е. остаются постоянными в течении всего процесса моделирования.

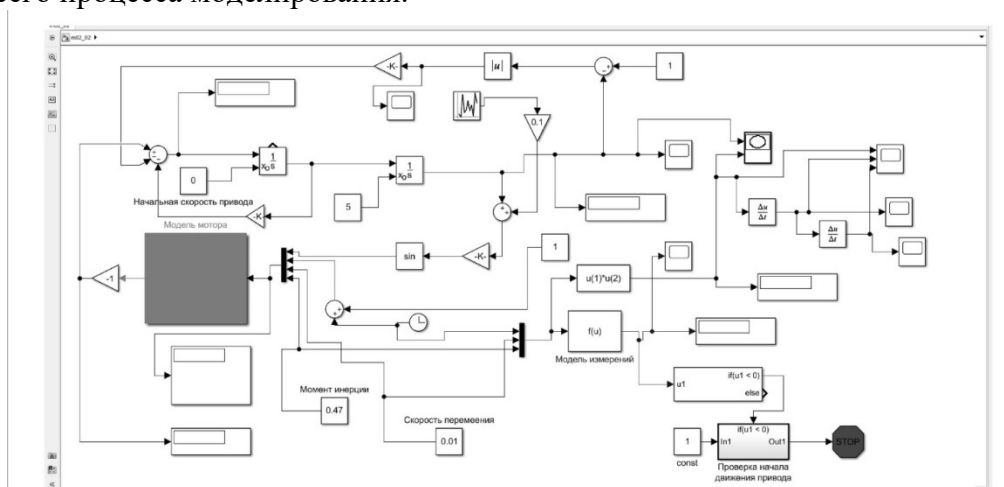


Рис. 1. Визуализация математической модели

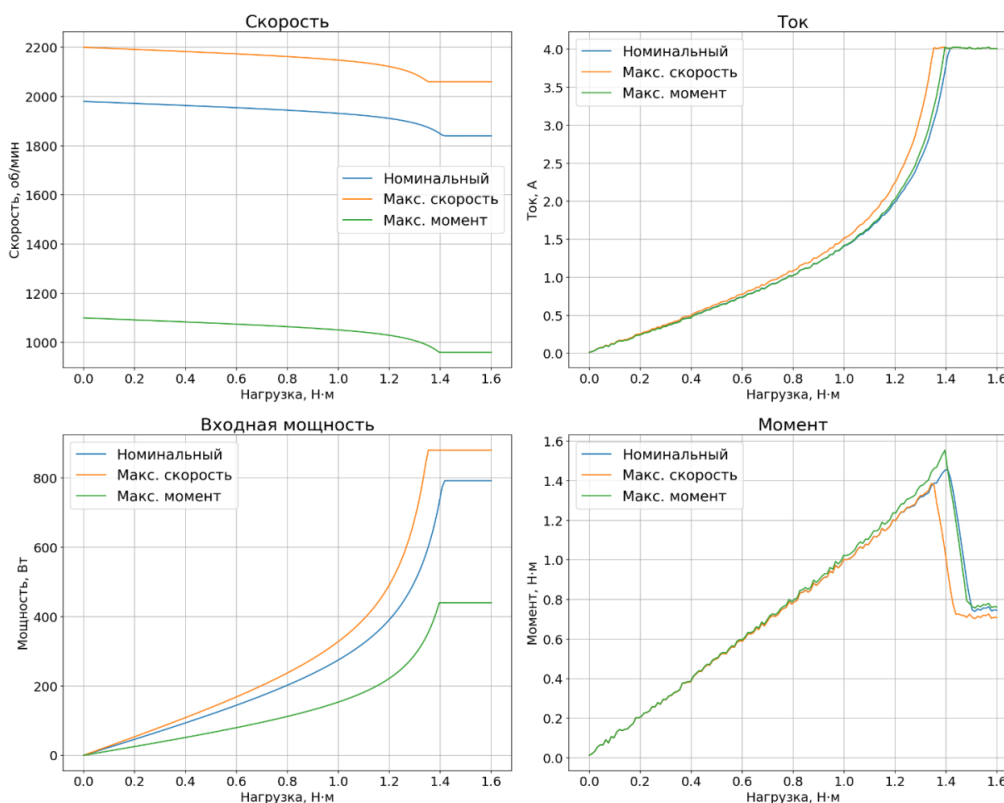


Рис. 2. Результаты моделирования

Выводы

Анализ результатов моделирования, которые представлены на рисунке 2, позволяет сделать следующие выводы. Разработанная модель адекватна реальным измерительным последовательностям и позволяет анализировать переходные процессы бесколлекторного мотора при пуске и изменении нагрузки, прогнозировать поведение двигателя в широком диапазоне скоростей (от 0 до номинальных оборотов), а также оптимизировать алгоритмы управления, например, векторное управление скоростью.

Список литературы

1. Карлов, А. Г. Особенности эволюции и применения компьютерных технологий, поддерживающих процессы генерации изобретательских идей / А. Г. Карлов // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. 2019. № 2 (6). С. 75-80.
2. Осипов, К. Н. Методика прогнозирования технических состояний машиностроительных изделий в процессе эксплуатации / К. Н. Осипов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2024. № 4 (366). С. 123-131.
4. Абузьяров Т.Х. Разработка модели систем высококачественного бесколлекторного электропривода постоянного тока / Т.Х. Абузьяров, А. С. Плехов, А. Б. Дарьенков, А. И. Ермолаев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2020. № 1. С. 31-45.
5. Mohinder S. Kalman Filtering: theory and practice using Matlab / S.Mohinder, P.Angus. – A Wiley Interscience Publication John Wiley & Sons. Inc. – 2001 y. – 401 p.
6. Pervukhina, E. Stochastic Models in Acceptance Testing for Complex Machines / E. Pervukhina, K. Osipov, V. Golikova // 2016 Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO) 15-18 Feb. 2016 © 2016 IEEE, DOI 10.1109/SMRLO.2016.25, p.87 – 94.
7. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, Estimation with Applications to Tracking and Navigation, 2001, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.
8. Brown R.G. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, / R. G. Brown, P. Y. C. Hwang //3rd ed. New York: Wiley, 1997.

УДК 621.01

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НУЛЯ СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМ ВЫХОДОМ НА ОПТРОНЕ

Ж.Б. Мусаев¹, Д.К. Минаева²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299024, Россия, ixdis33@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299006, Россия, funnymikaku@mail.ru

Аннотация. Разработана схема детектора нуля сетевого напряжения 230 В, выполняющая три ключевые функции: преобразование высокого напряжения в безопасное низковольтное питание (20 В), детектирование моментов перехода напряжения через ноль и формирование синхронизирующих импульсов для микроконтроллера. Заряд основного элемента питания системы – накопительного конденсатора – происходит за счёт двухполупериодного выпрямления сетевого напряжения диодным мостом с последующей стабилизацией через гасящий резистор и стабилитрон. В моменты нулевого напряжения сети, накопительный конденсатор обеспечивает непрерывное питание схемы, которая, по средством компаратора, формирует чёткие импульсы синхронизации через оптопару.

Ключевые слова: гальваническая развязка, детектирование нуля, импульсное питание, переход через ноль, стабилизация напряжения, фазовая синхронизация, двухполупериодное выпрямление, формирование импульсов.

ZERO-CROSSING DETECTION OF SINUSOIDAL VOLTAGE WITH OPTOISOLATED PULSE OUTPUT

J.B. Musaev¹, D.K. Minaeva²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299024, Russia, ixdis33@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299006, Russia, funnymikaku@mail.ru

Abstract. A zero-crossing detector circuit for 230 V AC mains voltage has been developed, designed to step down high voltage to a safe 20 V supply, detect zero-voltage crossings, and generate microcontroller synchronization pulses. The system utilizes a buffer capacitor charged through full-wave rectification via a diode bridge, with voltage stabilization achieved by a dropping resistor and Zener diode. During mains voltage zero crossings, the capacitor maintains continuous power delivery, while the circuit—using a comparator and optocoupler—produces clean sync pulses. The design ensures reliable phase synchronization with galvanic isolation.

Keywords: galvanic isolation, zero-crossing detection, switched-mode power supply, voltage stabilization, phase synchronization, full-wave rectification, pulse shaping.

Введение

Определение момента перехода сетевого напряжения через ноль является критически важной задачей в силовой электронике, системах управления электроприводами и устройствах фазового регулирования мощности. Рассмотренный в этой статье детектор нуля, питающийся непосредственно от сети 230 В, обеспечивают не только синхронизацию коммутационных процессов для снижения электромагнитных помех [1], но и служат ключевым элементом систем фазоимпульсного управления тиристорами, симисторами и другими полупроводниковыми ключами [2]. Точность детектирования нуля напрямую влияет на стабильность регулирования мощности в активных и реактивных нагрузках, что особенно важно в системах плавного пуска, диммерах и промышленных нагревательных установках [3].

Разработка эффективных схем детектирования нуля сопряжена с рядом технических проблем: необходимость обеспечения гальванической развязки, минимизация фазовых ошибок и поддержание стабильного питания схемы в условиях не идеальности сетевого напряжения [4]. В данной работе предлагается гибридное решение, сочетающее прямое питание от сети 230В и оптронную развязку выходного сигнала. Такой подход позволяет отказаться от отдельного источника питания, сохраняя при этом гальваническую изоляцию микроконтроллера [5, 6]. По сравнению с классическими оптронными детекторами, данная схема уменьшает фазовую ошибку за счёт использования компаратора для точного определения нуля, а не порога срабатывания оптопары [7, 8].

Цель работы – исследование принципов работы комбинированного детектора нуля с питанием от сети 230 В и оптронной развязкой, анализ его преимуществ в системах фазового регулирования мощности, а также расчёт ключевых параметров схемы (гасящего резистора, стабилитрона, накопительного конденсатора и компаратора) для обеспечения точного формирования синхроимпульсов при переходе напряжения через ноль.

Далее в статье будет рассматриваться схема электрическая принципиальная детектора нуля, с питанием от сети 230 В, которая изображена на рис. 1.

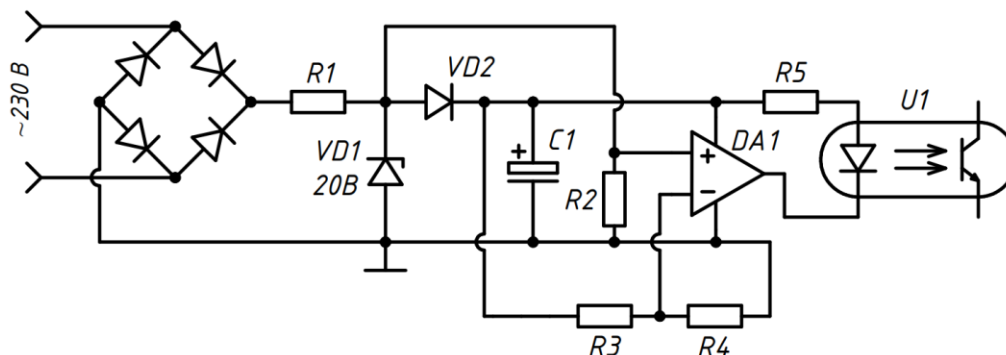


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная детектора нуля

Диодный мост преобразует переменное сетевое напряжение 230 В в пульсирующее постоянное. Это двухполупериодное выпрямление обеспечивает на выходе последовательность синусоидальных положительных полувольт, что значительно упрощает процесс детектирования нуля, поскольку компаратор DA1 получает только положительное питание и отпадает необходимость в анализе отрицательной части сигнала.

Но самым главным преимуществом такого выпрямления в данной схеме является возможность эффективного использования полярного электролитического конденсатора C1 большой ёмкости. В отличие от неполярных конденсаторов, которые потребовали бы перезаряда при каждой смене полярности, электролитический конденсатор заряжается только в одном направлении, что значительно повышает КПД системы. После выпрямления, напряжение на конденсаторе всегда остается положительным, что исключает бесполезные циклы перезаряда и позволяет оптимально накапливать энергию. Конденсатор C1 должен эффективно, т.е. с минимальным падением напряжения, поддерживать питание схемы детектора в "мёртвых зонах", когда сетевое напряжение проходит через ноль и не может полноценно питать схему. Это время является активной фазой, так как происходит активация компаратора и осуществляется питание светодиода. Пассивная составляющая подразумевает под собой работу базовых электрических компонентов, которые потребляют ток во всём промежутке времени.

Для расчёта этой схемы питания и точного восполнения потерь энергии, следует узнать характеристики электрических компонентов, их питание и потребление тока.

Номинал резистора R1 подбирается исходя из потребностей всей схемы, так что его расчёты проводятся в последнюю очередь. Стабилитрон VD1 применяется для стабилизации напряжения тока в рабочей сети. Его эффективное потребление тока составляет 12,5 мА. Выдерживает стабилитрон на много больше, вплоть до 85 мА. Он обеспечивает схему питанием с нуля до 20 В, в то время как сетевое напряжение возрастает до 325 В.

Резистор R2 является резистором высокого сопротивления и имеет номинал порядка мегаома. Он обеспечивает стягивание заряда с неинвертирующего входа компаратора во время высокоимпедансного состояния (в моменты нуля), при этом оказывая незначительное влияние на питание схемы за счет своего высокого сопротивления. Ток, потребляемый этим резистором равен:

$$I_{R2} = \frac{20\text{В}}{1\text{ МОм}} = \frac{20\text{В}}{1\,000\,000\text{ Ом}} \approx 0,02\text{ мА}$$

Резисторы R3 и R4 образуют делитель напряжения, задающий порог электрического потенциала, при котором происходит срабатывание компаратора. Это напряжение, которое будет определять момент перехода через ноль. И чем это напряжение ниже, тем приближение к нулю будет точнее. Так же важно учесть, что делитель напряжения подключен к конденсатору, питающему схему в мертвой зоне, а значит делитель напряжения должен потреблять минимальный ток. От более точного приближения порога к нулю, окно, при котором компаратор сработает будет меньше, что позволит сократить время работы светодиода оптопары U1, который потребляет достаточно большой ток в контексте данной схемы (10мА). Следовательно, номиналы резисторов делителя напряжения должны быть достаточно велики в своей личной характеристики, а также в сравнении друг с другом.

Резисторами примем R3 – 510кОм и R4 – 51кОм, пороговое напряжение будет равно:

$$U_{\text{делителя}} = 20\text{ В} \cdot \frac{51\text{ кОм}}{510\text{ кОм} + 51\text{ кОм}} \approx 1.818\text{ В}$$

Ток при этом будет:

$$I_{\text{делителя}} = \frac{20\text{В}}{510\text{кОм} + 51\text{ кОм}} \approx 0,036\text{ мА}$$

Следовательно, светодиод оптопары будет включен на время перехода синусоиды порогового напряжения от 1,818 В текущей полувольты до 1,818 В следующей.

Для подбора ёмкости накопительного конденсатора следует знать суммарное потребление схемы.

Так как активная и пассивная фазы схемы имеют разную длительность и различное потребление тока, корректно оценить и суммировать их мы можем через количество электрического заряда:

$$Q = I \cdot t,$$

где: Q – количество электричества, Кл; I – сила тока, А; t – время прохождения тока, с;

Ток, потребляемый схемой в пассивную фазу, равен сумме токов, потребляемых делителем напряжения, мегаомным транзистором, стягивающим лишнее напряжение с компаратора на землю, а также тока, потребляемого самим компаратором.

$$I_{\text{пасс}} = I_{\text{дел}} + I_{R2} + I_{\text{ком}} = 0,036 + 0,02 + 0,5 = 0,556 \text{ мА}$$

Время пассивной части приравняем к длительности одного периода, в нашем случае это 10 мс. Исходя из расчётных данных, количество электрического заряда в пассивную фазу составляет:

$$Q_{\text{пасс}} = 0,556 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 = 5,56 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

Рассчитаем длительность активной фазы, т.е. время от нуля до 1,8 В синусоидального электрического сигнала. Для этого воспользуемся уравнением синусоидального напряжения:

$$V(t) = V_m \cdot \sin(2\pi ft)$$

где: V_m — амплитудное напряжение, в нашем случае $V_m = 325 \text{ В}$; F — частота, $f = 50 \text{ Гц}$.

Решим уравнение относительно времени:

$$t = \frac{\arcsin(\frac{V(t)}{V_m})}{2\pi f}$$

$$t = \frac{\arcsin(\frac{1,8}{325})}{2\pi \cdot 50} = \frac{0,00553848}{100\pi} \approx 0,00001763 \text{ с} \approx 17,6 \text{ мкс}$$

Так как интервалов от нуля до 1,8 В в одном периоде встречается два раза, считаем, что длительность активной фазы, т.е. фазы, во время которой накопительный конденсатор питает систему формирования импульса детектирования нуля, длится $2t$, т.е. 35,3 мкс. За этот незначительный по длительности период происходит замыкание цепи светодиода через компаратор на землю и отпояра передаёт информацию о детектировании нуля далее по схеме.

Суммарный потребляемый ток за активную фазу равен току, потребляемому светодиодом, т.е. 10 мА. Следовательно, количество электрического заряда в активную фазу составляет:

$$Q_{\text{акт}} = 0,01 \cdot 35,3 \cdot 10^{-6} = 0,176 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

Общее количество электричества за один период, т.е. за одну полуволну, равно:

$$Q_{\text{общ}} = (5,56 + 0,353) \cdot 10^{-6} = 5,913 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

Формула расчёта необходимой ёмкости конденсатора с учётом допустимого падения напряжения (ΔV):

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{5,913 \cdot 10^{-6}}{0,2} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 30 \text{ мкФ}$$

Возьмем стандартный конденсатор на 33 мкФ.

Рассчитаем резистор R1. Средний ток, при котором стабилитрон наиболее эффективно стабилизирует напряжение, равняется 12,5 мА. Учитывая то, что в начальный момент времени весь ток пойдёт на заряд конденсатора, и напряжение на нём упадёт, расчёт номинала резистора R1 будем проводить с учётом потребления тока стабилитроном и пассивной части схемы. Среднеквадратическое значение сетевого напряжения – 230 В.

$$R1 = \frac{U}{I_{VD1} + I_{\text{пасс}}} = \frac{230}{(12,5 + 0,556) \cdot 10^{-3}} \approx \frac{230}{13 \cdot 10^{-3}} \approx 17,7 \text{ кОм}$$

Проверим мощность, рассеиваемую на резисторе R1:

$$P = I^2 R = (13 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 17\,700 \approx 3 \text{ Вт}$$

Резистором примем R1 с номиналом 18 кОм из стандартного ряда. Вычисленная мощность находится в пределах допустимых значений.

Рассчитаем время заряда конденсатора C1, допуская, что начальный ток, поступивший на него, будет равен 12,5 мА:

$$t = \frac{5VC}{I_{VD1}} = \frac{5 \cdot 20 \cdot 33 \cdot 10^{-6}}{12,5 \cdot 10^{-3}} = 0,264 \text{ с}$$

Зачастую, в условиях использования детектора, задержка срабатывания менее 0,5 секунды не оказывает значительного влияния на работу оборудования. Исходя из этого, делаем вывод о том, что расчёт резистора R1 и остальных компонентов схемы был выполнен корректно.

Таким образом, расчётно было доказано, что разработанная схема детектирования нуля полностью независима от внешних источников питания, т.е. использует для работы исключительно сетевое напряжение, при этом имеет отличительную точность детектирования и способность интегрирования в различные условия дальнейшего использования.

Список литературы

1. Иванов А.В. Методы точного детектирования нуля в сетевых напряжениях / А.В. Иванов, С.К. Петров // Электротехника. – 2018. – № 5. – С. 34–41.
2. Сидоров Д.Е. Современные схемы фазового управления в силовой электронике / Д.Е. Сидоров. – М.: Энергоатомиздат, 2019. – 256 с.
3. Zhou L. Precision Zero-Crossing Detection for Phase-Angle Control in AC Power Regulators / L. Zhou, Y. Wang // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2017. – Vol. 64, № 8. – P. 6432–6441.
4. Zhang Y. Design and Analysis of a Low-Latency Mains-Powered Zero-Crossing Detector / Y. Zhang, P.C. Sen // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2016. – Vol. 31, № 9. – P. 6585–6596.
5. Zhang Y. Mains-Powered Zero-Crossing Detectors with Optocoupler Isolation / Y. Zhang // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2020. – Vol. 67, № 4. – P. 3025–3034.
6. Lee S. Low-Cost AC Phase Control Using Hybrid Zero-Crossing Circuits / S. Lee // Journal of Power Electronics. – 2018. – Vol. 18, № 3. – P. 789–797.
7. Козлов В.П. Анализ точности детекторов перехода через ноль в системах управления / В.П. Козлов, А.А. Михайлов // Автоматика и телемеханика. – 2020. – № 3. – С. 78–89.
8. Liu J. High-Accuracy Zero-Crossing Detector with Adaptive Threshold for Noisy Mains Environments / J. Liu, Y. Yang // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2019. – Vol. 7, № 2. – P. 1324–1335.

УДК 621.01

ПОРТАТИВНЫЙ НЕЙРОСТИМУЛЯТОР ДЛЯ ТЕРАПИИ ТРЕМОРА РУК ПРИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

Ж. В. Богданова¹, Г.В. Невар², С.И. Рощупкин³

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, popovazanna480@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, gvnevar@sevsu.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, siroshupkin@sevsu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке портативного нейростимулятора в виде браслета для контроля тремора у пациентов с болезнью Паркинсона. Рассмотрены медико-технические требования к устройству, проведены расчеты параметров импульсов, конденсаторов и времени автономной работы. Предложенная конструкция включает микроконтроллер ESP32, сенсорный дисплей и гидрогелевые электроды. Результаты демонстрируют эффективность решения в снижении амплитуды тремора на $\geq 50\%$ при безопасности и удобстве использования.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, тремор, нейростимуляция, портативное устройство, медико-технические требования..

PORTABLE NEUROSTIMULATOR FOR THERAPY OF HAND TREMOR IN PARKINSON'S DISEASE

J. V. Bogdanova¹, G.V.Nevar², S.I.Roschupkin³

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, popovazanna480@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, gvnevar@sevsu.ru

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, siroshupkin@sevsu.ru

Abstract. The article presents the development of a portable neurostimulator in the form of a bracelet for tremor control in patients with Parkinson's disease. Medical and technical requirements for the device are outlined, including calculations of pulse parameters, capacitors, and battery life. The proposed design integrates an ESP32 microcontroller, a touch display, and hydrogel electrodes. The results demonstrate the solution's effectiveness in reducing tremor amplitude by $\geq 50\%$ while ensuring safety and user comfort.

Keywords: Parkinson's disease, tremor, neurostimulation, portable device, medical-technical requirements.

Введение

Болезнь Паркинсона (БП) — нейродегенеративное заболевание, сопровождающееся тремором, ригидностью и брадикинезией. Традиционные методы лечения, такие как фармакотерапия и глубокая стимуляция мозга (DBS), имеют ограничения: побочные эффекты, инвазивность, высокая стоимость. Альтернативой является периферическая нейростимуляция, позволяющая снизить тремор через воздействие на локтевой и срединный нервы. Современные устройства для контроля тремора, такие как ортезы и мехатронные системы, часто громоздки, требуют индивидуальной настройки и не обеспечивают длительного эффекта. Неинвазивная нейростимуляция периферических нервов, напротив, позволяет минимизировать риски и адаптировать параметры стимуляции под конкретного пациента. Однако существующие решения (например, Cala Trio) имеют высокую стоимость и ограниченную доступность.

Цель исследования — разработка портативного устройства, способного эффективно контролировать (уменьшать) тремор при болезни Паркинсона путем нейростимуляции локтевого и срединного нерва.

1. Медико-технические требования к разрабатываемому устройству.

Основным требованием к разрабатываемому устройству является его способность снижать тремор, таким образом устройство должно:

- Снижать амплитуду тремора на $\geq 50\%$ за 40 минут;
- Работать автономно ≥ 8 часов;
- Иметь регулируемые параметры стимуляции (частота: 30–150 Гц, ток: 15–30 мА).
- Габариты: не более 73х54х26 мм.

2. Разработка и расчет основных характеристик устройства.

На рис.1 представлена структурная схема периферического нейростимулятора.

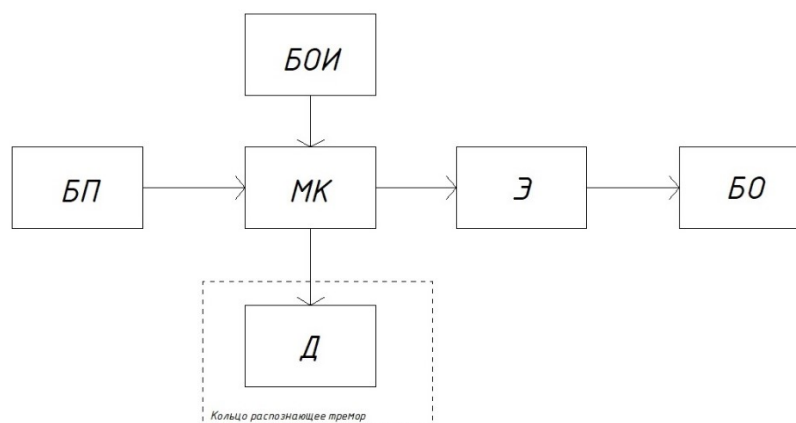


Рис. 7. Структурная схема портативного нейростимулятора

БП – блок питания; МК – микроконтроллер; БОИ – блок отображения информации; Д – датчик, считывающий тремор; Э – электрод; БО – биологический объект.

Принцип работы портативного нейростимулятора построен на получении информации с датчика, которая говорит о начале и характеристиках тремора. Микроконтроллер анализирует полученную информацию и подаёт через электроды импульсы с необходимыми характеристиками на биологический объект.

При длительном нажатии на кнопку на схему подается питание и запускается инициализация периферии микропроцессора, раздаётся звук включения. Теперь браслет готов к подаче импульсов. Необходимо проконтролировать, чтобы электроды находились на нужном месте биологического объекта и краткосрочно нажать на кнопку для запуска процесса терапии.

Расчёт импульсов

Для подавления тремора через стимуляцию срединного и локтевого нервов требуется точный расчет параметров импульсов, учитывающий их анатомические особенности и физиологические механизмы. Ниже приведены ключевые расчёты и рекомендации.

Основные параметры импульсов:

а) Частота стимуляции (f), блокирующая патологическую активность, срединного нерва колеблется от 100 до 130 Гц, локтевого нерва от 130 до 150 Гц, частота выше из-за большей глубины залегания нерва. Высокие частоты, более 100 Гц вызывают деполяризационный блок, прерывая передачу сигналов тремора.

б) Длительность импульса (t) для срединного нерва варьируется в пределах 200–300 мкс, а для локтевого нерва в пределах 150–250 мкс. Так как миелинизированные волокна активируются при длительности импульса 50–300 мкс. Более короткие импульсы для локтевого нерва компенсируют его глубину, увеличивая пиковое напряжение.

в) Амплитуда тока (I) находится в диапазоне 5–20 мА, ограниченного для безопасности.

Для нахождения точных значений для каждого из нерва проведём расчёт по формуле Вейса-Лапика, которая используется для расчёта порогового тока при электрической стимуляции нервов:

$$I = \frac{k}{t + c}, \quad (1)$$

где c – хронаксия, это время, за которое ток, активирует нерв, хронаксия для миелинизированных волокон примерно равна 0,2 мс; k – константа, зависящая от типа нерва, для срединного нерва она будет равна 1 мА·мс, а для локтевого нерва 0,8 мА·мс.

Пороговый ток для срединного нерва:

$$I = \frac{1}{0,25 + 0,2} = 2,22 \text{ мА}$$

На практике используется ток в 3-5 раз выше порогового, чтобы компенсировать импеданс кожи и индивидуальные различия в анатомии.

Таким образом, рабочий ток:

$$I_p = I \cdot 4 = 8,88 \text{ мА}$$

Расчёт для локтевого нерва:

$$I = \frac{0,8}{0,2 + 0,2} = 2, \text{ мА}$$

$$I_p = I \cdot 4 = 8 \text{ мА}$$

Импульсы должны быть биполярными и прямоугольными, так как именно такие импульсы снижают поляризацию электродов и минимизируют риск ожогов.

Также произведём расчёт энергопотребления. Мощность на один импульс:

$$E = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (2)$$

где $I = 0,0085 \text{ А}$ – амплитуда тока; $R \approx 500 \text{ Ом}$ – импеданс кожи; $t = 0,0002 \text{ с}$ – время одного импульса.

$$E = 0,0085^2 \cdot 500 \cdot 0,0002 = 0,00000722 \text{ Вт}$$

Средняя мощность при частоте 120 Гц:

$$P = E \cdot F = 0,0000722 \cdot 120 = 0,00087 \text{ Вт}$$

Расчёт конденсатора для генерации импульсов.

Для расчета ёмкости конденсатора, генерирующего импульсы, необходимо использовать следующие шаги:

1. Определение параметров импульсов из предыдущего расчёта:

Ток импульса $I = 0,0085 \text{ А}$; Длительность импульса $t = 250 \text{ мкс}$; Рабочее напряжение $V = 3,3 \text{ В}$; Допустимое падение напряжения $\Delta V = 0,33 \text{ В}$ (10%).

2. Расчёт заряда на один импульс:

$$Q_{\text{и}} = I \cdot t = 0,0085 \cdot 0,00025 = 0,00000212 \text{ Кл}, \quad (3)$$

3. Для корректной работы браслета, необходимо, чтобы конденсатор обеспечивал 50 импульсов между зарядами:

$$Q = Q_{\text{и}} \cdot N = 0,00000212 \cdot 50 = 0,000106 \text{ Кл} \quad (4)$$

4. Необходимо рассчитать ёмкость:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{0,000106}{0,33} = 514 \text{ мкФ}, \quad (5)$$

5. Произведём проверку:

Для этого необходимо рассчитать энергию импульса:

$$E_{\text{и}} = V \cdot I \cdot t \cdot N = 3,3 \cdot 0,0085 \cdot 0,00025 \cdot 50 = 0,000351 \text{ Дж}, \quad (6)$$

Энергия конденсатора:

$$E_{\text{и}} = 0,33 \cdot C \cdot (V_{\text{max}}^2 - V_{\text{min}}^2), \quad (7)$$

$$C = \frac{0,000351}{0,33 \cdot (3,3^2 - 2,97^2)} = 514 \text{ мкФ}, \quad (8)$$

Таким образом, для генерации импульсов необходим конденсатор 550 мкФ, 3,3В.

Расчет времени автономной работы от аккумуляторной батареи.

Расчет произведём по формуле:

$$t = \frac{C}{I}, \quad (9)$$

где t – время, ч; C – ёмкость, мАч; I – ток потребления (нагрузки), мА.

Ёмкость батарейки Li-ion 523450 1000мАч, 3,7В равна 1000 мАч

$$C = 1000 \text{ мАч}$$

Ток потребления будем рассчитывать исходя из средней арифметической всех потребителей.

Ток потребления различными элементами прибора:

Стабилизатор напряжения MCP1700 - 5мкА

ESP32 - 240мА

Дисплей 1.69-inch IPS touch LCD– 100 мА

$$I = 0,005 + 240 + 100 = 340,005 \text{ мА}$$

Время непрерывной работы батарейки равно:

$$t = \frac{C}{I} = \frac{1000}{340,005} = 2,94$$

Этого времени хватит для трёх терапий по 40 минут и режима сна между ними.

Конструктивные решения:

Общий вид разрабатываемого устройства указан на рис.2.

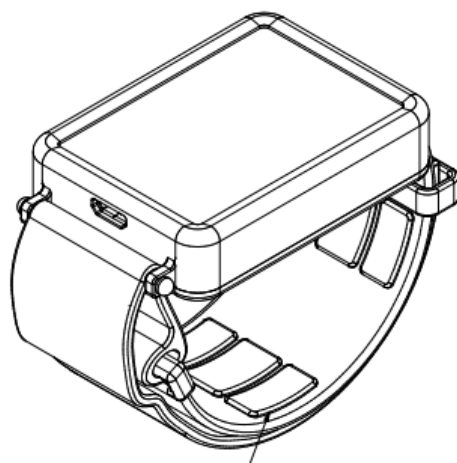


Рис. 2. Общий вид портативного нейростимулятора

В качестве основных элементов, входящих в конструкцию, которые позволят нейростимулятору отвечать заданным медико-техническим требованиям, а также расчетам были выбраны:

Микроконтроллер ESP32, обеспечивающий управление импульсами и связь по Bluetooth. Сенсорный дисплей Waveshare 1.69, отображающий параметры стимуляции. Гидрогелиевые электроды Ag/AgCl, обеспечивающий низкий импеданс и комфорт. Стабилизатор MCP1700 поддерживает напряжение 3.3 В для компонентов.

Заключение

Разработанный нейростимулятор обладает следующими преимуществами:

Неинвазивность — исключает хирургическое вмешательство.

Персонализация — регулировка параметров под индивидуальные особенности.

Доступность — стоимость компонентов ниже зарубежных аналогов.

Перспективы работы включают клинические испытания и интеграцию алгоритмов машинного обучения для адаптивной стимуляции.

Список литературы

1. Васильев Ю.Н. Болезнь Паркинсона и паркинсоновский синдром. — Иркутск: ИГМУ, 2013.
2. ГОСТ Р 50444-92. Приборы, аппараты и оборудование медицинские. — М.: Стандартинформ, 1992.
3. Cala Health, Inc. Wearable neurostimulation device. Патент США № US20190329063A1, 2019.
4. ESP32 Technical Reference Manual. URL: <https://www.espressif.com> (дата обращения: 01.04.2025).

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОТОПЛЕНИЕ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНОГО ИЛИ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.Н. Иванов¹, О.Ю.Нестеров²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, ANivanov-mail.sevsu.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, olegnesterov-1972@mail.ru

***Аннотация.** Предложен способ получения электроэнергии в условиях отсутствия основных стационарных энергетических источников. Рассмотрено применение эффекта Пельтье, разработана экспериментальная установка, включающая блоки термоэлементов, настроенных на работу от поглощения солнечной энергии. Полученные результаты, могут свидетельствовать о применении данного способа получения энергии в экстремальных условиях.*

***Ключевые слова:** Явление Пельтье, полупроводник, термоэлемент, теплоноситель*

THERMOELECTRIC HEATING, AIR CONDITIONING AND GENERATION OF ELECTRICITY FROM THERMAL RADIATION OF NATURAL OR MAN-MADE ORIGIN

A.N. Ivanov¹, O.Y.Nesterov²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, ANivanov-mail.sevsu.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, olegnesterov-1972@mail.ru

***Abstract.** A method for generating electricity in the absence of major stationary energy sources is proposed. The application of the Peltier effect is considered, and an experimental installation has been developed that includes blocks of thermoelements configured to work by absorbing solar energy. The results obtained may indicate the application of this method of energy production in extreme conditions.*

***Keywords:** Peltier phenomenon, semiconductor, thermoelectric element, heat carrier*

Введение

Открытие термоэлектрических эффектов создало возможности для разработки и изготовления различных термоэлементов и полезных термоэлектрических устройств, используемых для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую энергию, а также для термоэлектрического охлаждения и отопления.

В настоящего времени проводятся фундаментальные исследования по созданию новых теорий и подходов к описанию термоэлектрических эффектов, предсказываются и обнаруживаются новые явления этого класса. Эти исследования актуальны, для создания комфортных условий и жизнеобеспечения человека дешевыми и надежными источниками энергии (электричеством, теплом и охлаждением), а также избавления от теплового загрязнения и загрязнения химически опасными веществами. К таким альтернативным источникам можно отнести элементы Пельтье, технология которых совершенствуется, а производство динамично развивается. Так технология современных термоэлементов упрощается, улучшаются надёжность и термические свойства, а также эффективность эксплуатации модулей [1]. Одно из удивительных свойств полупроводников, заключается в том, что при пропускании тока по двум разнородным металлическим стержням температура места их соединения зависит от направления электрического тока. Если сначала она была выше окружающей на несколько градусов, при изменении полярности напряжения стык окажется холоднее окружающего воздуха, и наоборот, количество тепла, выделяемое на спае или поглощаемое им, пропорционально силе тока и времени.

Поток электричества через термоэлементы сопровождается потоком тепла от одного конца к другому. При этом конец, от которого уносится тепло, охлаждается, а другой, куда тепло приходит, нагревается»

Классические элементы Пельтье — это 127 элементов, включенных последовательно, и припаянных к керамической «печатной плате» из Al_2O_3 . Соответственно, если рабочее напряжение 12В — то на каждый элемент приходится всего по 94мВ. Элементы Пельтье собираются легкоплавким припоем с температурой плавления 138С. Современные элементы Пельтье изготавливают, используя твёрдо плавкие припои с температурой до $1000^{\circ}C$, что позволяет увеличить разницу температур между горячей и холодной сторонами и улучшить эффективность работы устройств [2]. При параллельном включении термоэлементов можно увеличить потребляемую нагрузкой мощность.

Постановка проблемы. Разработка способов получения электроэнергии от автономных устройств за счёт альтернативных энергетических источников на морских судах и при возникновении аварийных ситуаций является актуальной проблемой в данной отрасли.

Термоэлемент (рис. 1) состоит из двух полупроводников 1 и 2 с разным типом проводимости n и p – типа, последовательно соединённых между собой металлической пластинкой 3 (спай) [2].

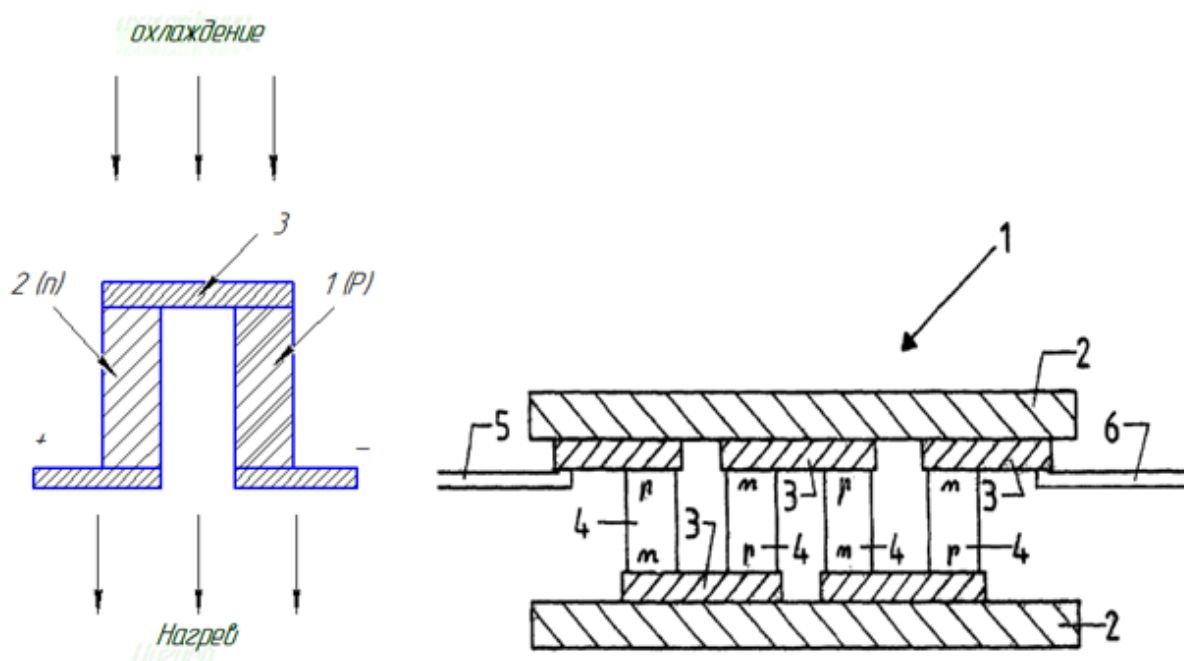


Рис.1. Схема полупроводникового термоэлемента.

1 – элемент Пельтье; 2 – керамическая подложка; 3 – контактная поверхность; 4 – n и p полупроводники.

На рис. 2 изображена схема действия полупроводникового отопительного устройства. В качестве теплоносителя в нем использована вода. Омывая холодные спаи 1 термобатареи, она отдает им часть тепловой энергии, перекачиваемой к горячим спаям 2, обдуваемым принудительным потоком воздуха от вентилятора. Таким образом, помещение получает определенное количество тепла, эквивалентное электроэнергии, затрачиваемой на приведение в действие теплового насоса, и тепло, отобранное от воды при ее охлаждении.

Отопительный коэффициент такой установки — отношение полученной тепловой энергии к затраченной электроэнергии — больше трех [3].

Каждый киловатт израсходованной электроэнергии даёт почти 4 *квт* тепла. Такое устройство может быть превращено в воздухоохладитель простой переменной направления тока в батарее; схема его при работе на охлаждение.

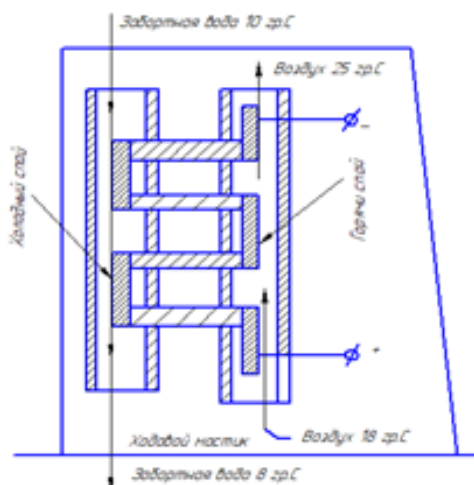


Рис.2. Схема действия судового отопительного устройства.
1 – холодный спай. 2 – горячий спай.

Экспериментальная модель.

Экспериментальная модель для получения электроэнергии от теплового излучения солнца при использовании термоэлементов показано на рис.3. В устройствах используются элементы Пельтье TEC1-12706, 12В, 77Вт., подключенные либо параллельно, либо последовательно в зависимости от необходимого выходного напряжения. Солнечные лучи нагревают металлическую поверхность поз.1 и нагреваемую поверхность термоэлементов. Для охлаждения радиатора поз.2 можно использовать заборную воду. Создав положительную плавучесть этому устройству, можно использовать его на морской поверхности для получения электроэнергии в аварийном случае. Морская вода при этом будет охлаждать радиатор. Поверхность нагреваемой металлической детали покрывается черным красителем и закрывается герметично прозрачной крышкой. Из пространства, между металлической деталью и прозрачной крышкой откачивают воздух для повышения температуры нагрева металлической детали с элементами и для защиты их от охлаждения.

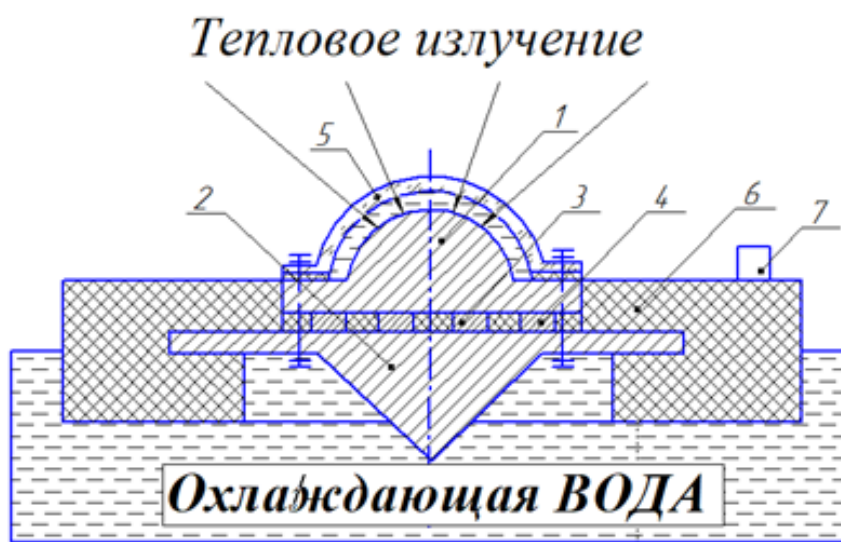


Рис. 3. Экспериментальная модель для получения электроэнергии.
1 - Нагреваемая металлическая деталь; 2 - Охлаждаемая металлическая деталь;
3 – элемент Пельтье; 4- теплоизоляция; 5 - защитное стекло;
6 - плавучая платформа; 7 – преобразователь 12В/ 5В и USB – разъёмы.

Электрическая схема экспериментальной модели

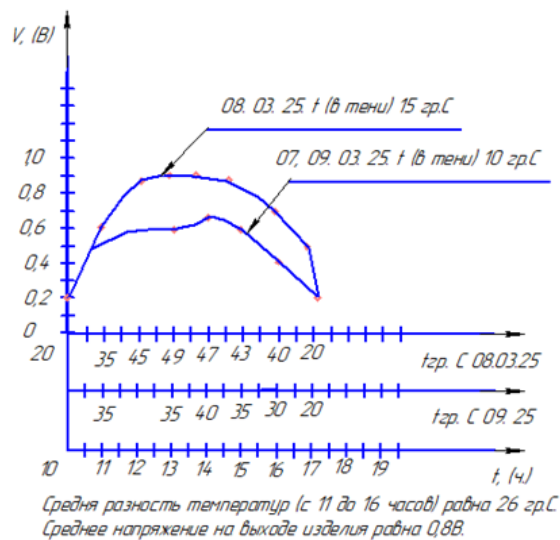
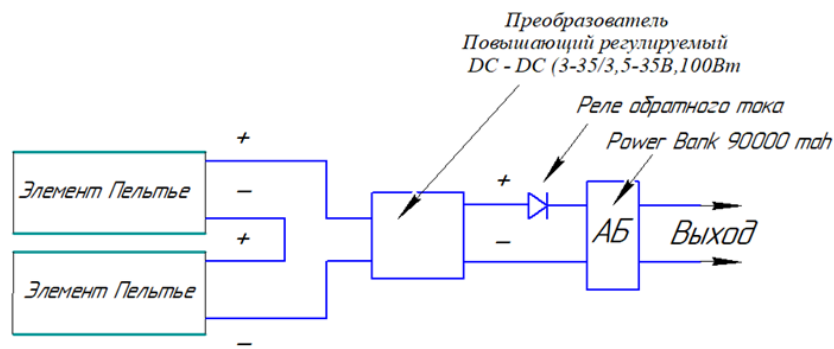


Рис.1. Анализ работы изделия.

Рис. 4. График испытаний экспериментальной модели.

Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. При последовательном включении двух элементов Пельтье, было получено устойчивое напряжение, достаточное для работы повышающего преобразователя DC – DC, при разности температур в 50°C .
2. На существующей площади нагреваемого радиатора можно разместить до 20шт. элементов, подключив их последовательно и параллельно и получать более высокое напряжение и мощность.
3. Полученные результаты, дают возможность осуществления дальнейшего исследования модели для нагрева металлического листа от солнечного излучения и охлаждения радиатора морской водой, для проектирования мобильного, малогабаритного, плавающего и работающего долгое время аварийного зарядного устройства, а также исследовать возможности обогрева и кондиционирования помещений судна.

Список литературы

1. А.А. Зайцев, Д.В. Кузнецов, А.В. Сидоров. Основы физики термоэлектричества. Учебное пособие. Елец, 2018 г.
2. Авторы: ШУЛЬЦ-ХАРДЕР Юрген (DE) (73) Патентообладатель и: КУРАМИК ЭЛЕКТРОНИКС ГМБХ (DE). Заявка: 2008138883/28, 20.02.2007. Патент RU 2 433 506 С2.
3. Гуревич В.З., Демидов Н.А. Судовые электронагревательные элементы. Изд-во «Судостроение».Л, 1965 г.

СЕКЦИЯ № 7

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРИИ

УДК 004.921

ИНТЕРАКТИВНОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ
ВИНТОВЫХ СТРУКТУРС. С. Козлов¹, Г. Л. Крылов², О. В. Мкртычев³¹ФГБОУ ВО «Российский Государственный Социальный Университет» г. Москва, 1292261, Россия, cybran764@gmail.com²ФГБОУ ВО «Российский Государственный Социальный Университет» г. Москва, 1292261, Россия, gleb091005@gmail.com³ФГБОУ ВО «Российский Государственный Социальный Университет» г. Москва, 1292261, Россия, MkrtychevOV@rgsu.net

Аннотация. В статье представлен метод интерактивного параметрического моделирования трубчатых винтовых поверхностей, основанный на решении систем параметрических уравнений, описывающих их геометрию в трёхмерном пространстве. Разработаны два программных решения: на Java с использованием фреймворка JavaFX для визуализации и на C++ с интеграцией Qt Quick 3D для низкоуровневой работы с 3D-графикой. Оба решения обеспечивают динамическое управление параметрами модели, базовое управление сценой и мгновенную визуализацию изменений.

Ключевые слова: Параметрическое моделирование, интерактивная визуализация, трубчатые винтовые поверхности, компьютерная графика, пользовательский интерфейс.

INTERACTIVE PARAMETRIC MODELING OF TUBULAR HELICAL STRUCTURES

S.S. Kozlov¹, G.L. Krylov², O.V. Mkrtychev³¹FSBEI HE «Russian State Social University», Moscow, 1292261, Russia, cybran764@gmail.com²FSBEI HE «Russian State Social University», Moscow, 1292261, Russia, gleb091005@gmail.com³FSBEI HE «Russian State Social University», Moscow, 1292261, Russia, MkrtychevOV@rgsu.net

Abstract. The article presents a method for interactive parametric modeling of tubular helical surfaces based on solving systems of parametric equations that describe their geometry in three-dimensional space. Two software solutions were developed: one in Java using the JavaFX framework for visualization and another in C++ with Qt Quick 3D integration for low-level 3D graphics processing. Both solutions enable dynamic parameter control, basic scene manipulation, and real-time visualization of changes.

Keywords: Parametric modeling, interactive visualization, tubular helical surfaces, computer graphics, user interface.

Введение

Геометрические свойства криволинейных поверхностей находят применение в широком спектре различных задач: в инженерии для создания спиральных теплообменников [1] с оптимизированной площадью поверхности, в дизайне и архитектуре для создания винтовых лестниц [6]. Хотя Mathcad и аналогичные платформы предоставляют обширные инструменты для математического моделирования, их применение для точечной визуализации конкретного типа поверхностей (например, трубчатых винтовых структур) оказывается избыточным и непрактичным. Специализированное приложение, напротив, фокусируется исключительно на эффективном отображении заданной геометрии, устраняя необходимость в сложных настройках, сторонних плагинах и освоении интерфейса приложения.

Цель исследования – разработка двух программных решений для интерактивного параметрического моделирования трубчатых винтовых структур:

- приложение на Java с использованием JavaFX;
- приложение на C++ с использованием Qt Quick 3D.

Обе системы должны обеспечивать гибкое управление параметрами структуры (радиус, шаг, угол наклона, и т.д.) в реальном времени и визуализацию результатов

1. Математическое описание трубчатых винтовых поверхностей

Трубчатые винтовые поверхности представляют собой особый класс пространственных криволинейных поверхностей, формируемых при равномерном винтовом движении образующей окружности постоянного радиуса [2]. При этом плоскость окружности совпадает с нормальной плоскостью направляющей винтовой линии, задаваемой параметрически:

$$x = x(v) = a \cos v, \quad y = y(v) = a \sin v, \quad z = z(v) = pv, \quad (1)$$

где a — радиус окружности, p — шаг винтовой линии. Такие поверхности входят в семейство каналовых поверхностей и широко применяются в инженерных задачах: при проектировании режущих инструментов, винтовых соединений, пружин, а также в архитектуре и дизайне.

Форма задания трубчатой винтовой поверхности может быть выражена в векторной форме:

$$r = r(v, \varphi) = (a + r \cos \beta \cos \varphi)g(v) + r \sin \beta \sin \varphi q(v) + (pv - r \sin \beta \cos \varphi)k, \quad (2)$$

где $g(v)$, $q(v)$ — единичные круговые вектор-функции, β — угол наклона касательной винтовой линии к плоскости $x=0$, связанный с шагом и радиусом винтовой линии соотношениями:

$$\sin \beta = \frac{p}{\sqrt{p^2 + a^2}}, \quad \cos \beta = \frac{a}{\sqrt{p^2 + a^2}} \quad (3)$$

Параметрическая форма, часто используемая в компьютерном моделировании, имеет вид:

$$x = (a + r \cos \beta \cos \varphi - r \sin \beta \sin \varphi \sin v) \cos v, \quad (4)$$

$$y = (a + r \cos \beta \cos \varphi - r \sin \beta \sin \varphi \sin v) \sin v + r \sin \beta \sin \varphi \cos v, \quad (5)$$

$$z = pv - r \sin \beta \cos \varphi. \quad (6)$$



Рис. 1. Винтовая трубчатая поверхность (рисунок взят из [2])

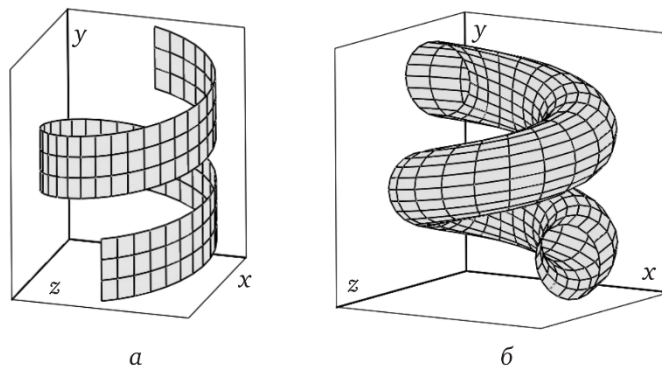


Рис. 2. Криволинейные винтовые поверхности. На виде а) показано линейчатая винтовая поверхность, на виде б) показано трубчатая винтовая поверхность (рисунок взят с сайта https://studme.org/428123/matematika_himiya_fizik/vintovye_spiralnye_poverhnosti)

Важной особенностью таких поверхностей является их регулируемая геометрия, что делает их идеальными объектами для параметрического моделирования. Коэффициенты основных выражений теории поверхностей позволяют вычислять нормали, кривизны и оценивать геометрические свойства структуры.

2. Реализация программы-визуализатора на Java с использованием JavaFX

Для создания приложения визуализации трубчатых винтовых поверхностей был выбран язык Java в сочетании с фреймворком JavaFX [4] в среде Eclipse [5]. Это решение позволило объединить вычислительную мощь Java с гибкостью современных инструментов 3D-графики. Основная логика приложения реализована через алгоритм генерации треугольной сетки, динамически обновляемой при изменении параметров модели.

Ключевым компонентом стал класс `TriangleMesh` (элемент JavaFX 3D Graphics.) используемый для построения геометрии на основе шести параметров: основного радиуса спирали, радиуса трубки, шага, угла наклона, числа витков и масштаба длины. Уравнения, описывающие поверхность, напрямую интегрированы в метод `updateGeometry()`, что обеспечивает прозрачность связи между математической моделью и её визуальным представлением.

Графический интерфейс (рис. 3) разделён на две функциональные зоны. Слева расположена панель управления с шестью слайдерами и двумя чекбоксами, стилизованными в минималистичном дизайне. Справа находится 3D-сцена, которая отображает модель с поддержкой интерактивного вращения и масштабирования.

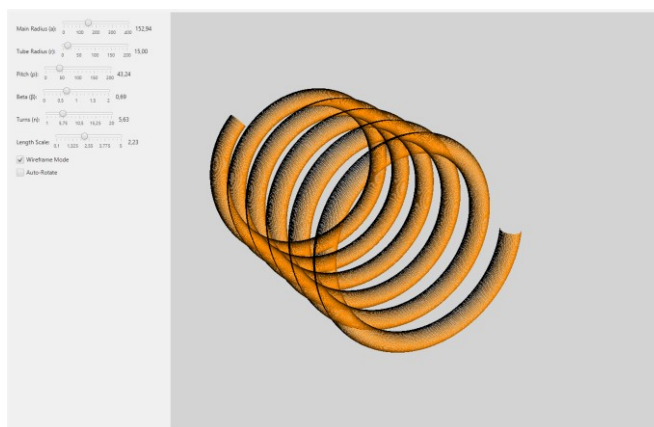


Рис. 3. Интерфейс решения на Java

Управление параметрами в реальном времени

Интерактивные слайдеры связаны с параметрами модели через лямбда-выражения, что обеспечивает мгновенный отклик. Например, перемещение ползунка «Количество витков» вызывает пересчёт всей геометрии за время менее 50 мс.

Чекбокс «Wireframe Mode» переключает режим отображения между каркасной и заполненной поверхностью. Режим автоматического вращения, реализованный через `AnimationTimer`, позволяет наблюдать модель в движении без ручного управления.

3. Программная реализация на C++ с использованием Qt Quick 3D

Для реализации второй версии приложения был выбран язык C++ в сочетании с фреймворком **Qt Quick 3D**. Эта технология позволяет работать с 3D-графикой на низком уровне и дает большую свободу в построении сложных объектов, таких как трубчатая винтовая структура.

Основной функционал реализован в классе `HelicalTubeGeometry`, используя возможности класса `QQuick3DGeometry`. В этом классе был создан алгоритм, который на основе параметров (радиус, шаг винта и количество витков) строит трехмерную геометрию трубы, обвивающейся по винтовой линии. Параметры можно менять динамически, и модель моментально перестраивается.

Ключевые библиотеки и модули, которые были использованы[3]:

- `QQuick3DGeometry` — основа для создания пользовательской 3D-геометрии ;
- `QVector3D` и `QVector` — для хранения координат вершин ;
- `QtMath` — для всех математических расчетов ;
- `QByteArray` — для организации буферов вершин и индексов .

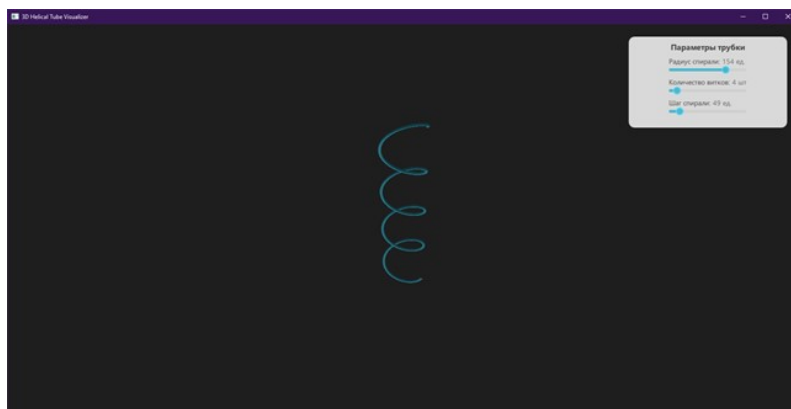


Рис. 4. Интерфейс решения на C++

Интерфейс и визуализация структуры

На скриншоте представлена работа программы (рис.4). Интерфейс было решено сделать не только функциональным, но и визуально приятным. Визуальная часть построена на QML, а сама модель инкапсулируется в элемент Model, отображающий результат расчетов из C++-класса. Благодаря хорошей интеграции между C++ и QML можно быстро менять параметры и сразу наблюдать результат в окне сцены.

Управление параметрами в реальном времени

В интерфейсе предусмотрены интерактивные элементы управления — ползунки (рис. 4). Это дает возможность гибко настраивать геометрию: изменить шаг, радиус или количество витков — и мгновенно увидеть, как трансформируется структура. Такая интерактивность значительно упрощает анализ форм и их поведение при изменении параметров.

В результате получилась программа, которая не только решает поставленную задачу, но и может быть расширена в будущем — например, для экспорта моделей или интеграции в более сложные CAD-системы. А главное — работать с ней удобно и приятно.

Заключение

В рамках исследования были разработаны два программных решения для параметрического моделирования трубчатых винтовых структур — на Java (с использованием JavaFX) и на C++ (с использованием Qt Quick 3D). Обе программы позволяют интерактивно управлять основными параметрами поверхности — радиусом, шагом и числом витков. Изменения параметров немедленно отображаются на экране, обеспечивая наглядную обратную связь. Реализация на Java включает более широкий функционал, удобные элементы управления и расширенные настройки. Обе программы успешно реализуют построение трубчатой винтовой поверхности и решают поставленную задачу. Также результаты работы могут быть использованы в учебном процессе, и при создании инженерных 3D-моделей криволинейных поверхностей

Список литературы

1. Багоутдинова А. Г., Золотоносов Я. Д., Мустакимова С. А. Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КазГАСУ. 2011. №4 (18). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geometricheskoe-modelirovanie-slozhnyh-poverhnostey-pruzhinno-vityh-kanalov-teploobmennyyh-ustroystv> (дата обращения: 08.04.2025).
2. Кривошапко С. Н., Иванов В. Н., Халаби С. М. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчету на прочность тонких оболочек. — М.: Наука, 2006. — 544 с. — ISBN 5-02-035747-2.
3. Qt 6. [Электронный ресурс] / The Qt Company Ltd. — Режим доступа: <https://doc.qt.io/qt-6/.html> (дата обращения: 02.04.2025).
4. OpenJFX: Open Source JavaFX [Электронный ресурс] / Gluon. — Режим доступа: <https://openjfx.io/index.html> (дата обращения: 08.04.2025).
5. Eclipse IDE [Электронный ресурс] / Eclipse Foundation. — Режим доступа: <https://www.eclipse.org/> (дата обращения: 08.04.2025).
6. Мамиева И. А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // Academia. Архитектура и строительство. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-poverhnosti-dlya-parametricheskoj-arhitektury-v-sovremennyh-zdaniyah-i-sooruzheniyah> (дата обращения: 08.04.2025).

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ FDM ПЕЧАТИ ОТ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА СТОЛЕ

Л. В. Шиленок¹, А. И. Рыжков²,

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, shilenok.onlin@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, airyzhkov@sevsu.ru

Аннотация. В данной статье исследуется влияние позиционирования детали на столе 3D-принтера при FDM (Fused Deposition Modeling) печати на её прочностные характеристики. Рассматриваются ключевые факторы, такие как ориентация модели, а также шаблон слоев заполнения, определяющие механическую прочность готового изделия. Проведены экспериментальные испытания образцов, напечатанных в различных конфигурациях, с использованием стандартного метода механического тестирования (испытания на сжатие). Результаты исследования демонстрируют значительную зависимость прочности детали от её расположения на платформе печати, что позволяет сформулировать рекомендации для оптимизации процесса 3D-печати с целью повышения механической надежности изделий. Проведенные эксперименты и механические испытания позволили количественно оценить преимущества и недостатки различных шаблонов заполнения в зависимости от ориентации детали на столе.

Ключевые слова: FDM печать, аддитивные технологии, прочность, позиционирование на столе, шаблон заполнения, механические испытания, 3D-печать.

THE DEPENDENCE OF THE STRENGTH OF THE PART DURING FDM PRINTING ON THE POSITIONING ON THE TABLE

L. V. Shilenok¹, A. I. Ryzhkov²

¹FSAEI HE Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, Russia,
299053, shilenok.onlin@gmail.com

²FSAEI HE Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, Russia,
299053, airyzhkov@sevsu.ru

Abstract. This article examines the effect of positioning a part on a 3D printer table during FDM (Fused Deposition Modeling) printing on its strength characteristics. Key factors such as the orientation of the model, as well as the pattern of the filling layers, which determine the mechanical strength of the finished product, are considered. Experimental tests of samples printed in various configurations were carried out using a standard mechanical testing method (compression testing). The results of the study demonstrate a significant dependence of the strength of the part on its location on the printing platform, which allows us to formulate recommendations for optimizing the 3D printing process in order to increase the mechanical reliability of products. The experiments and mechanical tests carried out made it possible to quantify the advantages and disadvantages of various filling patterns, depending on the orientation of the part on the table.

Keywords: FDM printing, additive technologies, strength, table positioning, filling pattern, mechanical testing, 3D printing.

Постановка проблемы. Современные аддитивные технологии, в частности FDM-печать, активно внедряются в промышленное производство благодаря своей гибкости, экономичности и возможности создания сложных геометрий. Однако широкому применению FDM в ответственных конструкциях препятствует недостаточная изученность влияния технологических параметров на механические свойства изделий, в частности, отсутствие систематизированного количественного понимания взаимосвязи между прочностью детали и позиционированием её на столе, шаблоном заполнения.

Изложение основного материала.

Material Extrusion – «выдавливание материала» или послойное нанесение расплавленного строительного материала через экструдер. К данной категории относится технология FDM (Fused Deposition Modeling) осуществляется путем плавления полимерной нити и формирования ею конфигурации модели [1].

FDM — одна из наиболее распространённых технологий аддитивного производства, широко применяемая в аэрокосмической, автомобильной и медицинской отраслях. Однако механические свойства FDM-деталей существенно зависят от множества технологических параметров, таких как:

- Ориентация детали на платформе,
- Шаблон заполнения и его плотность,
- Температура экструзии и платформы,
- Скорость печати и толщина слоя,
- Используемый полимерный материал.

Несмотря на активное внедрение FDM в промышленность, количественная взаимосвязь между параметрами печати и механическими свойствами остаётся недостаточно изученной. В данной работе систематизированы экспериментальные данные, позволяющие прогнозировать прочность изделий в зависимости от выбранных настроек печати.

Для оценки влияния параметров печати на механические характеристики были изготовлены образцы со следующими основными настройками печати:

1. Высота слоя: 0,2 мм – стандартное значение
 - Для фигурных моделей можно уменьшить до 0,15 мм
 - Для быстрых прототипов можно увеличить до 0,28 мм
2. Плотность заполнения: 15% - стандартное значение
 - Для декоративных изделий можно снизить до 5-10%
 - Для функциональных деталей увеличить до 20-30%
 - Для нагруженных деталей использовать 50-100%
3. Количество периметров: 3 – стандартное значение
 - Для тонкостенных деталей можно уменьшить до 2
 - Для ответственных деталей увеличить до 4
 - При печати гибкими материалами лучше использовать 3-4 периметра [2].
4. Шаблоны заполнения:
 - Перекрестная решетка (идет в настройках по умолчанию)
 - Героидный
 - Кубический

Изначально, узоры заполнения призваны решать задачу противостоять нагрузкам, приложенным к изделию с разных сторон, среди всех видов выделяют указанные на рис. 1:

- Концентрический: упругое 2D.
- Прямолинейный: Быстрое/упругое 2D.
- Zig-zag: Быстрое/упругое 2D.
- Сетка: Прочное 2D.
- Треугольники: Прочное 2D.
- Линии: Прочное 2D.
- Динамический куб: Прочное 3D (меньше потребление пластика чем Куб).
- Куб: Прочное 3D.
- Концентрический: Прочное 3D.
- Звёзды: Прочное 3D.
- Соты: Упругое 2D.
- Соты 3D: Упругое 3D.
- Гироид: Упругое 3D [3].
- Кривая Гильберта.
- Хорды Архимеда.
- Молния.
- Спиральная октограмма.

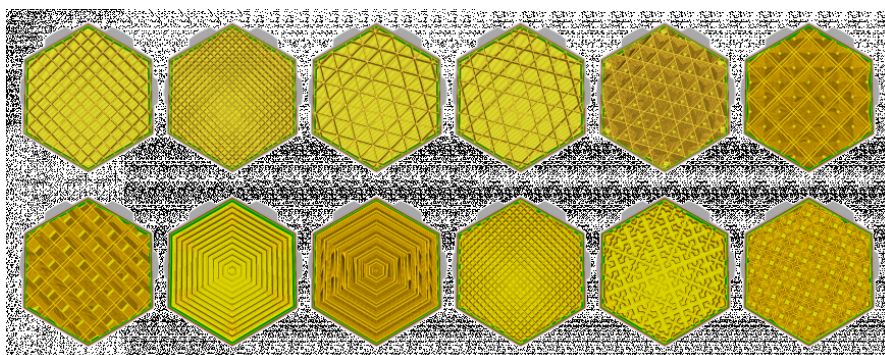


Рис. 1. Узоры заполнения

Для настройки печати используется программа OrcaSlicer [4]. Печать производится образцов формы параллелепипеда с размерами 40x20x10 мм. Всего было напечатано 27 образцов (по 9 образцов каждого заполнения: прямолинейного, героидного, кубического). 9 образцов позиционировались на печатном столе таким образом чтобы 3 образца основывались на одну из трех граней (рис. 2). Характеристики печати и вид заполнения указаны на рис. 3. Использовался PLA пластик Creality "Hyper" для 3D-печати, 1кг, диаметр 1,75 мм, принтер Creality K1 Max.

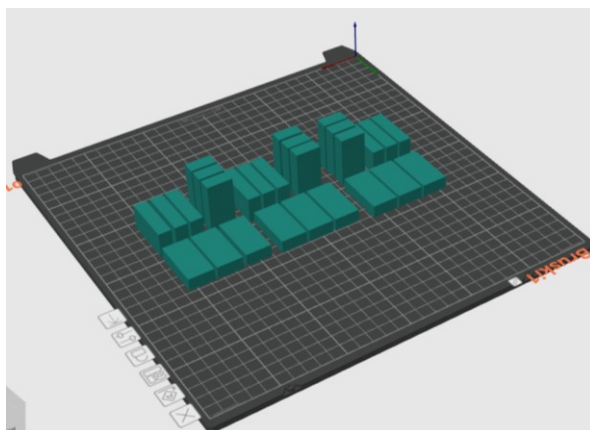


Рис.2. Позиционирование образцов на печатном столе

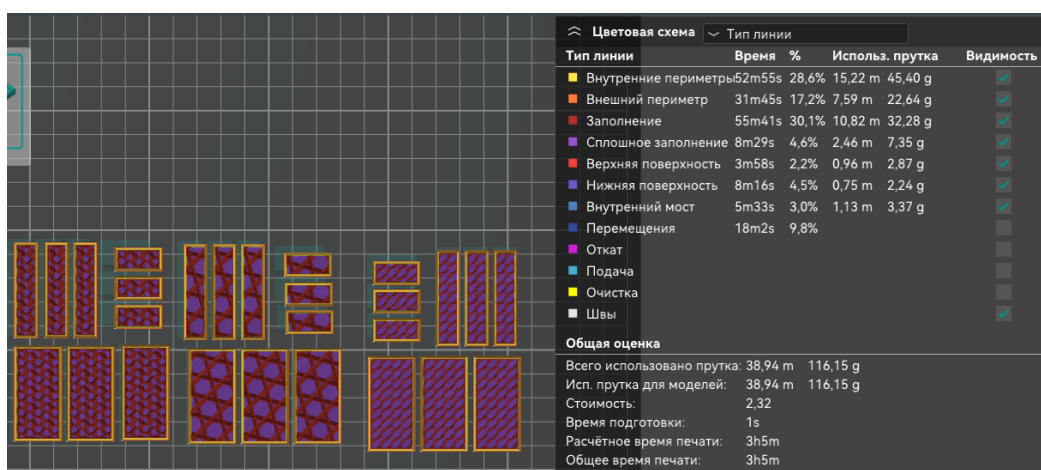


Рис. 3. Позиционирование образцов на печатном столе

Давление на образцы для анализа на прочность осуществляется за счет ручного гидравлического пресса с манометром (рис. 4) «до характерного хруста».

Результаты исследования представлены в таблице 1. На основе анализа данной таблицы отметим особенности каждого заполнения.

Таблица 1. Результаты исследования образцов на прочность

Площадь грани, на которую производится давление		800			400			200			-	
Размерность силы разрушения	Позиционирование детали на столе на грань	кгс/см ²	МПа	Н	кгс/см ²	МПа	Н	кгс/см ²	МПа	Н	Время печати	Использовано пластика, г
Перекрестное заполнение	20x40	55	5,39	4314,9	31,25	3,06	1225,8	12,5	1,23	245,2	1 ч 6 мин	39,36
	40x10	40	3,92	3138,1	38,75	3,80	1520	13,75	1,35	269,7		
	20x10	50	4,90	3922,6	25	2,45	980,7	22,5	2,21	441,3		
Кубическое заполнение	20x40	62,5	6,13	4903,3	27,5	2,7	1078,7	18,75	1,84	367,8	1 ч 10 мин	38,44
	40x10	37,5	3,68	2942	37,5	3,7	1471	22,5	2,21	441,3		
	20x10	37,5	3,68	2942	31,25	3,06	1225,8	25	2,45	490,3		
Героидное заполнение	20x40	60	5,89	4707,2	25	2,45	980,7	16,25	1,6	318,7	1 ч 1 мин	38,35
	40x10	56,25	5,52	4413	56,25	5,52	2206,5	25	2,5	490,3		
	20x10	62,5	6,13	4903,3	31,25	3,06	1225,8	22,5	2,21	441,3		

Перекрестное заполнение лучшим образом справляется с нагрузкой, направленной перпендикулярно печатному столу при позиционировании. Четко отслеживается данная зависимость. Является оптимальным вариантом по времени печати и расходу материала (1 час 6 минут, 39,36 грамм филамента), но в сравнении с героидным заполнением проигрывает по обоим параметрам. Простой в реализации, стоит в слайсере по умолчанию. В данном исследовании имеем наименьшую силу разрушения (245,2) Н, воздействующую на маленькую грань (20x40 мм).

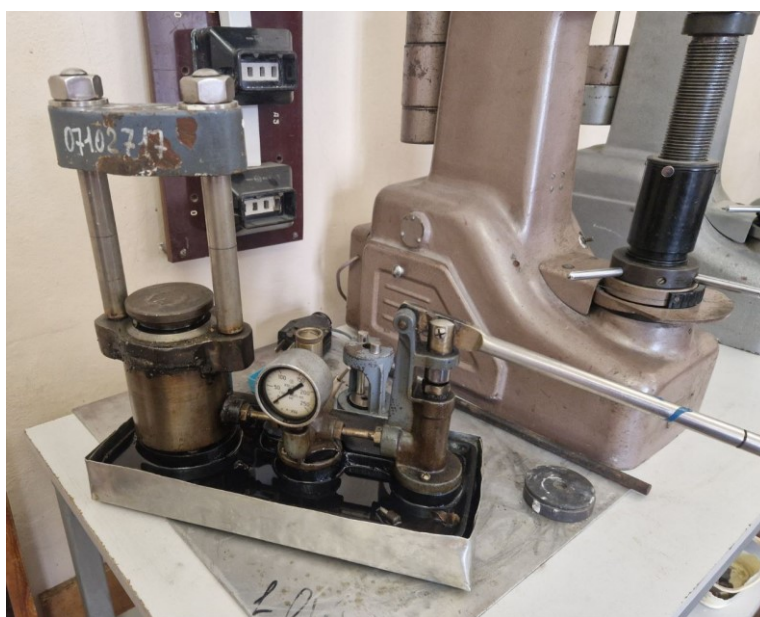


Рис. 4. Ручной гидравлический пресс с манометром.

Кубическое заполнение обеспечивает в основном наибольшую прочность при сопротивлении нагрузке, направленной перпендикулярно печатному столу при позиционировании (Разрушающая сила граней площадью 800 мм^2 и 200 мм^2 наибольшая – 4903,3 Н и 490,3 Н соответственно). Четко отслеживается данная зависимость. Но прочность всё еще уступает героидному заполнению а печать более затратна по времени (1 час 10 минут). Расход материала средний – 38,44 грамма филамента.

Героидное заполнение обладает наивысшая прочность среди всех типов заполнения. Нагрузка распределяется равномерно, что делает деталь более устойчивой к давлению. (Разрушающая сила граней площадью 800 мм^2 , 400 мм^2 , 200 мм^2 наибольшая – 4903,3 Н, 2206,5 Н и 490,3 Н соответственно). Отличается от кубического заполнения отсутствием четкой зависимости прочности по направлению оси от позиционирования на печатном столе). Имеет наименьшие расход материала и время печати (38,35 грамм филамента, 1 час 1 минута).

Выводы.

Прочность FDM-деталей существенно зависит от их ориентации на печатном столе из-за положения узора заполнения. Наибольшая прочность достигается при расположении детали на грани, перпендикулярной нагрузке. Для малых граней прочность снижается, но выбор оптимального заполнения позволяет компенсировать этот недостаток.

Героидное заполнение является оптимальным выбором для FDM-печати деталей, требующих высокой механической прочности, благодаря своей эффективности, экономичности и универсальности.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния других параметров печати (температура, скорость, тип материала) на прочность деталей с разными типами заполнения, а также анализ других шаблонов заполнения.

Также актуально исследование комбинированных стратегий заполнения для оптимизации баланса между прочностью, временем печати и расходом материала.

Результаты исследования позволяют целенаправленно выбирать параметры печати для достижения требуемых характеристик изделий.

Список литературы

1. Рыжков, А. И. Процесс развития и классификация аддитивных технологий / А. И. Рыжков, Л. В. Шиленок // Современные технологии и реверс-инжиниринг : Сборник статей Всероссийских научно-практических конференций, Севастополь, 17 апреля – 12 мая 2023 года / Гл. редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 165-169.
2. Vishwjeet V. Effect of infill density, infill pattern and Extrusion temperature on Mechanical Properties of Part produced by 3D printing FDM Technology Using ABS, PLA and PETG Filament: A Critical Review / Mr. Vishwjeet V. Ambade, Mr.Vivek Padole, Mr.Bipin Badole // International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR) – С. 130 -136.
3. 3D Today. Курс лекций по 3D печати. Лекция 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/62727c8879/a-course-of-lectures-on-3d-printing-lecture-6> (дата обращения: 09.05.2025).
4. OrcaSlicer: основы работы, настройки, нюансы и быстрый старт [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtool.ru/stati/orcaslicer-osnovy-raboty-nastroyki-nyuansy-i-bystryy-start/> (дата обращения: 09.05.2025)
5. Mudhaffer S. Effects of printing orientation and artificial ageing on martens hardness and indentation modulus of 3D printed restorative resin materials / Shaymaa Mudhaffer, Rana Althagafi, Julfikar Haider, Julian Satterthwaite, Nick Silikas // Dental Materials, July 2024 – С. 1003-1014.

УДК 004.9

ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ БЕДРЕННОГО КОМПОНЕНТА ЭНДОПРОТЕЗА КОЛЕННОГО СУСТАВА

А. И. Рыжков¹, Д. С. Солнцева², Л. В. Шиленок³,

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, airyzhkov@sevsu.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, dssolntseva@mail.sevsu.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, shilenok.onlin@gmail.com

Аннотация. В статье исследуется применение обратного инжиниринга для разработки бедренного компонента эндопротеза коленного сустава. Описан процесс 3D-сканирования образца, обработки данных в CATIA и создания модели для FDM-печати из ABS-пластика. Результаты подтверждают возможность импортозамещения медицинских имплантатов с использованием аддитивных технологий.

Ключевые слова: обратный инжиниринг, эндопротез, 3D-сканирование, 3D-печать, аддитивные технологии.

REVERSE ENGINEERING OF THE FEMORAL COMPONENT KNEE ARTHROPLASTY

A. I. Ryzhkov¹, D.S. Solntseva², L. V. Shilenok³,

¹FSAEI HE Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, Russia, 299053,
airyzhkov@sevsu.ru

²FSAEI HE Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, Russia,
299053, dssolntseva@mail.sevsu.ru

³FSAEI HE Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, Russia, 299053,
shilenok.onlin@gmail.com

Abstract. The article explores the application of reverse engineering to develop the femoral component of a knee arthroplasty. The process of 3D scanning of a sample, data processing in CATIA, and creating a model for FDM printing from ABS plastic is described. The results confirm the possibility of import substitution of medical implants using additive technologies.

Keywords: reverse engineering, endoprosthesis, 3D scanning, 3D printing, additive technologies.

Постановка проблемы. В текущей геополитической ситуации, когда введение ограничительных мер существенно сужает возможности закупки зарубежной медицинской техники, отечественная ортопедия сталкивается с комплексом взаимосвязанных трудностей. Нехватка современных имплантатов, ранее поставлявшихся из-за рубежа, ставит под угрозу своевременность оказания помощи пациентам с травмами и дегенеративными заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Это вынуждает научно-производственные объединения искать альтернативные пути решения проблемы, фокусируясь на разработке собственных технологических цепочек.

Изложение основного материала.

Важным инструментом становятся подходы, основанные на анализе и деконструкции существующих зарубежных образцов [1]. Обратный инжиниринг предполагает детальное изучение готовых изделий — от точных замеров геометрии до тестирования функциональности в смоделированных условиях. Полученные данные используются для построения цифровых двойников, которые служат основой для адаптации конструкций под возможности местных производств. Например, это позволяет заменять труднодоступные материалы на сертифицированные отечественные аналоги без потери эксплуатационных характеристик. Такой подход не только решает вопрос импортозамещения, но и может стимулировать инновации. Инженеры, работая с восстановленными моделями, зачастую

предлагают оптимизацию элементов конструкции – упрощение креплений, изменение пористости поверхностей для улучшения остеоинтеграции или пересмотр размерной сетки под антропометрию конкретного региона. Параллельно проводятся циклы испытаний, включая механические тесты на износ и биологические исследования совместимости материалов. Эта многоэтапная работа создает основу для перехода от копирования к самостоятельной разработке имплантатов нового поколения, соответствующих как международным стандартам, так и специфике локального рынка.

Разработка экспериментальной установки [2], предназначенной для моделирования нагрузок на искусственные коленные суставы, требует изготовления анатомически точного макета. Основой для его создания послужило аддитивное производство, успешное применение которого невозможно без формирования детализированных цифровых копий бедренной и большеберцовой частей имплантата [3]. Исходным образцом выступил имитатор эндопротеза, прошедший процедуру трехмерного сканирования (Рис.1) на многоосевом координатном комплексе Hexagon Absolute Arm

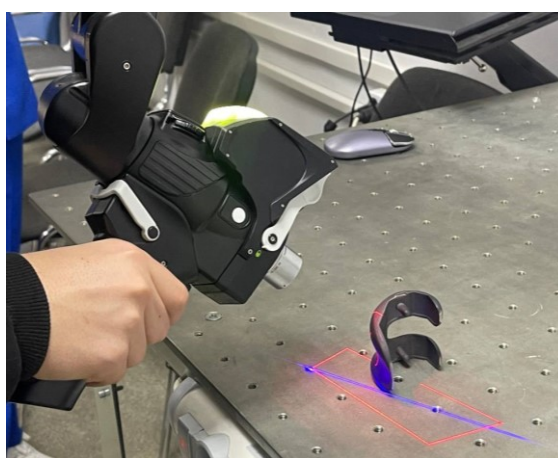


Рис. 1. Процесс сканирования фрагмента эндопротеза

Данное оборудование обеспечило высокоточное считывание геометрии объекта. В результате сканирования получено облако точек, требующее обработки [4]: создания полигональной сетки, заполнения пустот (разрывов), возникающих при сканировании, генерации твердотельного объекта.

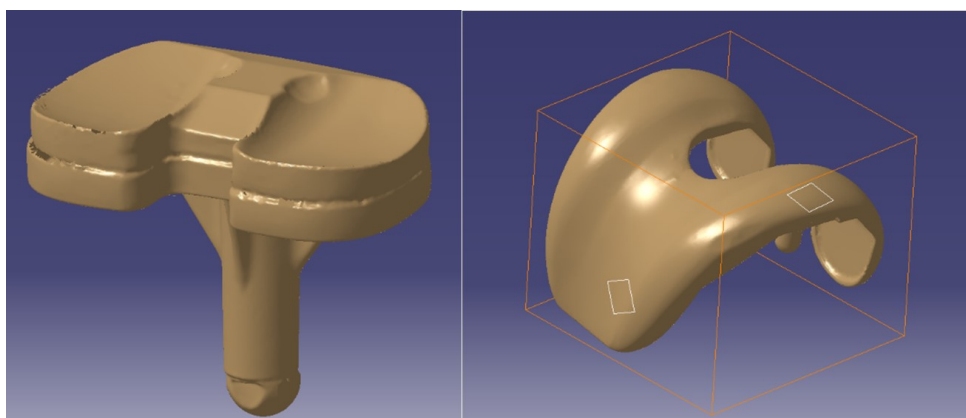


Рис. 2. Результаты сканирования в CATIA

Процесс обработки облака точек проводился в CATIA с использованием инструментов раздела Shape: Digitized Shape Editor и Generative Shape Design. Были воссозданы плоскости и поверхности, охватывающие фрагменты облака точек, после чего происходило их усечение. В частности, для воссоздания наиболее сложных фрагментов использовался инструмент Automatic Surface (Рис.3).

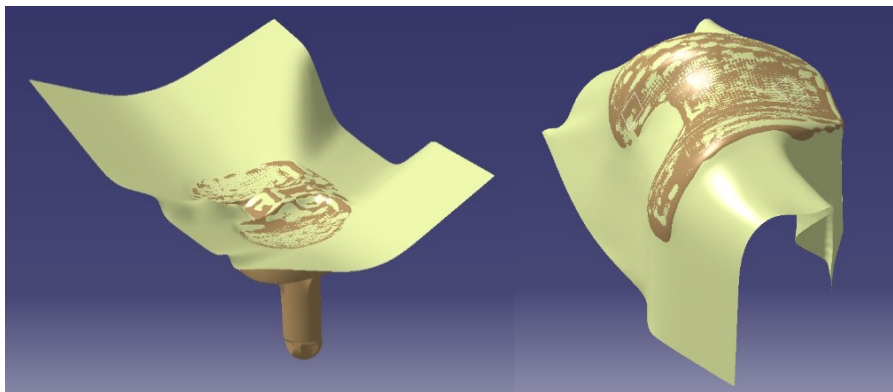


Рис. 3. Процесс восстановления поверхности

После обработки облака точек с использованием инструментов раздела Mechanical Design: Part Design получены твердотельные модели (Рис.4), в которых внимание уделялось присоединительным поверхностям к деталям-держателям экспериментальной установки.

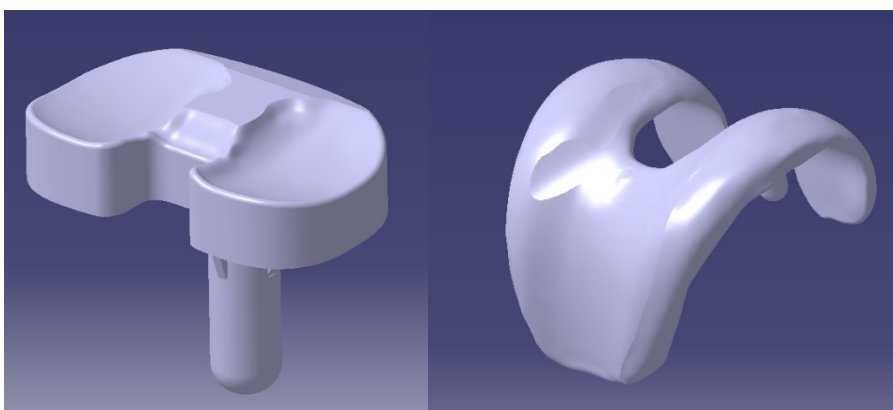


Рис. 4. Твердотельные модели бедренной и большеберцовой частей имплантата

Полученные объекты были сохранены в формате .STL и помещены в слайсер, где с применением настроек для печати ABS пластиком для FDM 3D-принтера был сгенерирован G-код, и детали были отправлены на печать (рис.5).



Рис. 5. Распечатанные муляж компонентов эндопротеза

Выводы. Использование обратного инжиниринга в связке с современными цифровыми методами производства продемонстрировало возможность локализации полного цикла создания медицинских изделий даже в условиях ограниченного доступа к оригинальным импортным компонентам.

Список литературы

1. Кононов А. В. Импортозамещение в медицине: вызовы и перспективы. / А. В. Кононов, П. С. Иванов, Е. Ю. Сидоров // Вестник биомедицинских технологий. – 2022. – №3. – С. 45-52.
2. Пахалюк В.И. Инновационный мехатронный стенд-симулятор для испытания тотальных эндопротезов тазобедренного сустава на износ / В. И. Пахалюк, А. М. Поляков, А. И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2024. – № 5(367). – С. 193-199.
3. Морозов В. Л. 3D-сканирование и моделирование в медицинской практике. / В. Л. Морозов, Д. А. Антонов, Н. В. Петрова // Инженерные науки. – 2023. – №2. – С. 78-85.
4. Смирнов И. Г. Современные методы цифрового инжиниринга. / И. Г. Смирнов, А. В. Федоров, Л. С. Егорова // Технологии и инновации. – 2021. – №4. – С. 112-118.
5. Алексеев Д. К. Применение 3D-печати в медицинских исследованиях. / Д. К. Алексеев, С. Л. Новиков, А. П. Громов // Современные технологии. – 2019. – №5. – С. 90-97.

УДК 621.643

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.С. Константинов¹, Д.А. Терешенков², В.А. Кожухов

¹Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, 660037, Россия,
eg.konstantinoff2016@yandex.ru

²Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, 660037, Россия, denistereshenkov@mail.ru

Аннотация. В данной работе проведен аналитический обзор систем моделирования и инженерных расчетов, применяемых в нефтегазовой области. Приведенный анализ показывает о компьютерном моделировании в нефтегазовой отрасли, которое нашло широкое применение в процессе разработки и внедрения автоматизированных систем управления, в различных технологических процессах начиная от автоматизации нефтегазодобычи и завершая нефтегазопереработки.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, нефтяная промышленность, геоинформационные системы, геологическое моделирование, геомеханическое моделирование, гидродинамическое моделирование, геонавигационное моделирование.

APPLICATION OF COMPUTER MODELING METHODS IN THE OIL INDUSTRY

E.S. Konstantinov¹, D.A. Tereshenkov², V.A. Kozhukhov

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russia
eg.konstantinoff2016@yandex.ru

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russia
denistereshenkov@mail.ru

Abstract. In this paper, an analytical review of modeling systems and engineering calculations used in the oil and gas industry is carried out. The above analysis shows computer modeling in the oil and gas industry, which has found wide application in the development and implementation of automated control systems, in various technological processes ranging from automation of oil and gas production and ending with oil and gas processing.

Keywords: computer modeling, oil industry, geoinformation systems, geological modeling, geomechanical modeling, hydrodynamic modeling, geonavigation modeling.

Введение

В нефтегазовой отрасли компьютерное моделирование широко применяется для разработки и внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами, от добычи до переработки. В целом, моделирование — это создание упрощенных представлений реальных объектов и процессов для их изучения и предсказания будущего поведения.

Цель

Провести аналитический обзор систем моделирования и инженерных расчетов, а также обосновать важность компьютерного моделирования в нефтегазовой области.

Основные виды моделирования

Основными видами моделирования в нефтегазовой отрасли являются: гидродинамическое моделирование, моделирование пласта, моделирование процессов разработки и эксплуатации месторождений геолого-фильтрационное моделирование. [1]

Учитывая низкую эффективность недавних геологоразведочных работ и значительную долю крупнейших месторождений в общей добыче, максимальное извлечение углеводородов из гигантских месторождений — первостепенная задача. Ее решение требует всестороннего изучения геологических особенностей месторождений, определяющих распределение и извлечение запасов углеводородов.

Классификация программного обеспечения (ПО) для методов моделирования

Геологическое моделирование

Трехмерное цифровое моделирование стало неотъемлемой частью проектирования скважин и разработки месторождений углеводородов, включая экономическую оценку проектов. Это обусловлено всё большей сложностью месторождений и применением новых технологий добычи, таких как горизонтальное бурение. [2]

Существует ряд программных комплексов для геологического моделирования, таких как GEOVIA GEMS, GIM Suite, REPOS, Studio RM и DV-Geo, каждый со своими преимуществами. Например, Studio RM позволяет проводить не только геологическое моделирование, но и геостатистический анализ. DV-Geo специализируется на создании 3D-моделей нефтегазовых залежей.

В России активно развивается направление экспертизы 3D-геологических моделей. Развитие программного обеспечения стимулируется новыми алгоритмами моделирования (нейронные сети, MPS) и расширением функциональности (обработка сейсмических данных, поддержка горизонтального бурения).

Геомеханическое моделирование

Геомеханическое моделирование оценивает механические свойства пород и их реакцию на разработку месторождения. Простейшая модель — одномерная модель устойчивости ствола скважины, использующая данные геофизических исследований (ГИС), такие как плотность и скорости акустических волн. Более сложные численные модели позволяют анализировать деформации стенок скважины с учётом изменения давления. Существуют аналитические, экспериментальные и численные методы моделирования, каждый со своими плюсами и минусами. Численные модели точнее, но требуют больше данных и времени, в то время как аналитические — быстрее и проще. Экспериментальные методы, основанные на лабораторных испытаниях образцов пород, дают ценную информацию, но дороги и трудоёмки. [2]

Для геомеханического моделирования существует множество программ, включая такие популярные решения, как VISAGE (МКЭ-симулятор для расчёта напряжений, деформаций и поведения разломов), GeoDrill (комплекс для многоскважинного моделирования и оптимизации бурения в реальном времени), PetroDESc, MLGeomechanics, Prorock, Midas GTS, NX, MeshLab и другие.

Геонавигационное моделирование

В нефтегазовой отрасли геонавигационное моделирование — это технология управления направлением бурения скважины в реальном времени, используя данные о месторождении и

текущие показания со скважины. Основная цель — проведение ствола скважины строго внутри продуктивного пласта, обеспечивая максимальную добычу углеводородов и минимизируя потери (например, за счет предотвращения обводнения или газопроявлений). Система обрабатывает данные бурения, создает и корректирует модель траектории, определяет параметры пласта и прогнозирует дальнейшее направление бурения, автоматически генерируя отчеты. [2]

В области геонавигации применяются такие программные решения, как РН-ГОРИЗОНТ (автоматизированная система для геологического сопровождения бурения горизонтальных и боковых стволов скважин, обеспечивающая реальное время обновление модели, прогнозирование направления бурения и автоматизированную отчетность), Geonapt (интегрированная платформа, объединяющая геологическую, петрофизическую и каротажную информацию для упрощения взаимодействия геологов и буровиков) и tНавигатор.

Гидродинамическое моделирование

Гидродинамическое моделирование в нефтяной и газовой промышленности — это создание модели пласта, в которой описывается динамическое изменение его свойств и параметров из-за воздействий, связанных с работой скважин. [2]

Гидродинамическое моделирование — ключевой инструмент снижения рисков при разработке месторождений. Оно позволяет изучить фильтрационные свойства пластов при разных условиях, подготовить проектную документацию, оптимизировать систему разработки, оценить запасы и повысить дебит скважин, а также осуществлять мониторинг и управление нефтегазовыми активами.

Среди программных продуктов для гидродинамического моделирования выделяются tNavigator, Eclipse (программа для интегрированного многофазного моделирования потоков, используемая для планирования скважин и проверки сценариев разработки), TimeZYX (платформа с модулем гидродинамического моделирования, включающим создание, редактирование, адаптацию моделей, расчет прогнозов и визуализацию результатов) и Техсхема.

В нефтегазовой отрасли, наряду со специализированным ПО, широко применяются универсальные пакеты моделирования: Aspen HYSYS (для стационарного моделирования, проектирования и оптимизации химико-технологических процессов в нефтегазодобыче и нефтехимии), ANSYS (для компьютерного моделирования различных физических процессов, включая прочность, теплопередачу, гидродинамику, электромагнетизм и анализ аварийных ситуаций) и SolidWorks (для проектирования и анализа конструкций нефтегазового оборудования, включая металлоконструкции, трубопроводы и сосуды под давлением). [4]

Для примера процесса гидродинамического моделирования совместно с компанией ООО «ЕВНАТ» была проведена симуляция работы устройства в программной среде ANSYS.

Устройство перемешивающее струйное (УПС) представляет собой струйно-эжекторное устройство, включающее узел распределения потока, выравнивающие участки, сопла и камеру смешения. В отличие от струйных гидравлических смесителей, УПС обеспечивает более равномерное перемешивание благодаря центральному расположению на дне резервуара и минимальному динамическому воздействию на понтон (погрешность около 200 Па). Работа УПС основана на заполнении резервуара нефтью, последующем введении потока через сопла УПС и откачке перемешанной смеси. Схема данного устройства представлена на рис. 1.

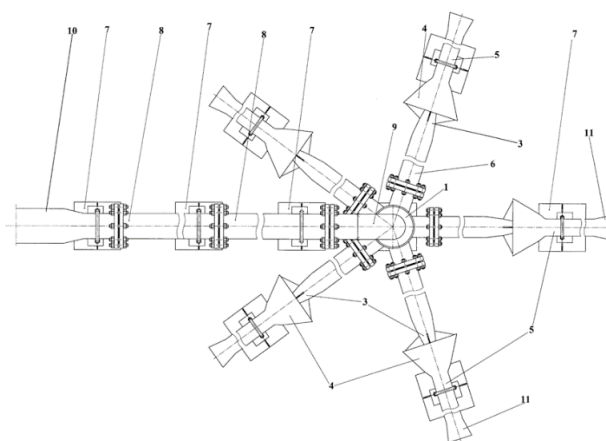


Рис. 1. Конструктивная схема УПС.

- 1 – узел распределения потоков, 2 – конус-рассекатель, 3 – сопла, 4 – конфузторы, 5 – камера смешения,
6 – прямолинейные патрубки, 7 – опоры, 8 – основной трубопровод,
9 – подводящее колено, 10 – переход от приёмо-раздаточного патрубка к основному трубопроводу,
11 – диффузор

На рис. 2 изображены результаты расчёта скоростных параметров работы устройства. [3]

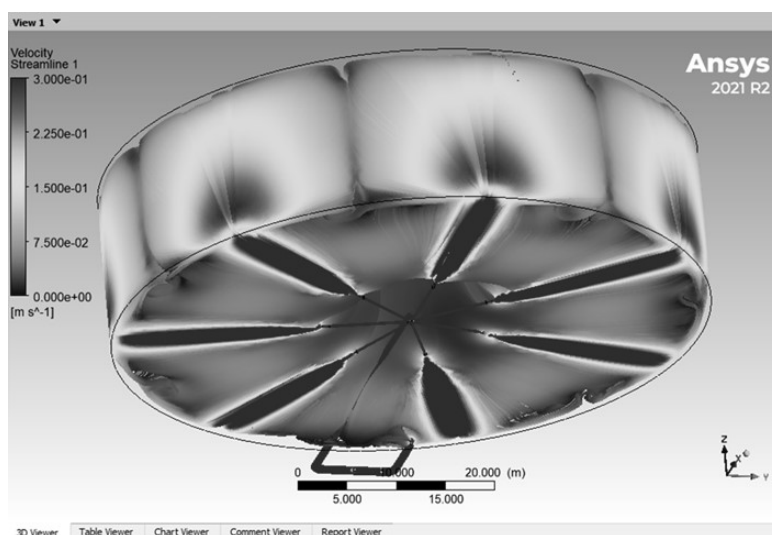


Рис.2. Результаты расчёта скоростных параметров работы УПС с изображением движения потоков нефти в резервуаре в среде моделирования ANSYS (вид снизу)

Заключение

Анализ программных комплексов, используемых в промышленности, показывает их критическую важность в современных технологических процессах. Применение современных информационных технологий обеспечивает высокое качество расчетов, упрощает проектирование и снижает влияние человеческого фактора на этапе эксплуатации, что в целом приводит к улучшению технико-экономических показателей. В результате проведенного обзора были выявлены эффективные методы и программные средства для оптимизации работы как самих программных комплексов, так и используемого информационного оборудования. Следовательно, разработка и совершенствование современных технологий добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья, а также эффективная эксплуатация существующих производств невозможны без использования высокоточных моделей, позволяющих проводить всесторонние исследования технологических процессов с минимальными затратами времени и ресурсов.

Список литературы:

1. Линник Ю.Н., Кирюхин М.А. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе // Вестник университета. 2019. № 7. С. 37 – 40 (Дата обращения 01.04.2025). Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 128 с.
2. Гладков Е.А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 99 с
3. Патент № 174541 U1 Российская Федерация, МПК B01F 3/08 (2006.01), C04B 26/26 (2006.01). Устройство перемешивающее струйное / Тузовский Н.А., Тузовская Е.В. № 2017112796: заявл. 13.04.2017; опубл. 19.10.2017, Бюл. 4, 7 с.
4. Алямовский А.А. Инженерные расчёты в SolidWorks Simulation. — М.: ДМК Пресс, 2010 (Дата обращения 01.04.2025).

УДК 621.01

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ СПРЯМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВОДОМЕТНОГО ДВИЖЕТЕЛЯ

И.Е. Столяр¹, Ю.О. Стреляная²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, winni20199@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053,
Россия, YOStrelyanaya@sevsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс реверс-инжиниринга спрямляющего устройства водометного движителя как эффективный инструмент для анализа, реконструкции и модернизации ключевых компонентов судовых энергетических установок. Описаны этапы обратного проектирования, включая сбор исходных данных, построение геометрической и функциональной модели, гидродинамическое моделирование и верификацию результатов. Особое внимание уделено роли спрямляющего устройства в формировании стабильного потока и повышении общей эффективности движителя. Рассматриваются технические, организационные и правовые аспекты, а также обозначены перспективы дальнейшего развития методов реверс-инжиниринга в судостроительной отрасли.

Ключевые слова: Движитель, обратный инжиниринг, судостроение, спрямляющее устройство.

REVERSE ENGINEERING OF A WATER JET PROPULSION STRAIGHTENING DEVICE

I.E. Stoliar¹, Yu.O. Strelyanaya²

¹ FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, winni20199@gmail.com

² FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, YOStrelyanaya@sevsu.ru

Abstract. The article considers the process of reverse engineering of the water jet propulsion straightener as an effective tool for the analysis, reconstruction and modernization of key components of marine power plants. The stages of reverse engineering are described, including the collection of initial data, construction of a geometric and functional model, hydrodynamic modeling and verification of the results. Particular attention is paid to the role of the straightener in the formation of a stable flow and increasing the overall efficiency of the propulsion unit. Technical, organizational and legal aspects are considered, and prospects for further development of reverse engineering methods in the shipbuilding industry are outlined.

Keywords: Propeller, reverse engineering, shipbuilding, straightening device.

Постановка проблемы. Современные судостроительные технологии активно используют водомётные движители для обеспечения высокой манёвренности и надёжности судов. Одной из ключевых подсистем таких движителей является спрямляющее устройство, выполняющее функцию повышения эффективности потока рабочей жидкости и улучшения гидродинамических характеристик системы. Несмотря на кажущуюся простоту конструкции, устройство играет решающую роль в распределении напора и стабилизации работы двигателя [1].

Разработка и оптимизация спрямляющих устройств традиционно требует значительных затрат на экспериментальные исследования и моделирование, что не всегда позволяет оперативно адаптироваться к меняющимся условиям эксплуатации или требованиям заказчика. В этой связи реверс-инжиниринг, как метод извлечения проектной информации на основе анализа существующего устройства, приобретает особое значение. Его применение позволяет не только детально изучить конструктивные особенности устройства, но и выявить потенциал для модернизации, повышения эффективности и снижения себестоимости производства.

Основной проблемой, стоящей перед инженерами, является необходимость получения точной модели спрямляющего устройства без доступа к полной технической документации. В условиях конкурентного рынка часто приходится прибегать к анализу уже работающих образцов, что требует комплексного подхода с применением современных технологий измерения, моделирования и испытаний. Реверс-инжиниринг в данном случае выступает как инструмент для исследования, позволяющий реконструировать функциональную схему устройства, оценить его производительность и предложить направления для инновационных решений [2].

Изложение основного материала. Водомётный движитель представляет собой систему, в которой энергия поступающей жидкости преобразуется в поступательное движение судна. Основными элементами такой системы являются насос, сопло и блок распределения потока. В рамках работы двигателя насос создает высокое давление, благодаря чему вода ускоряется через узкие участки и выбрасывается с большой скоростью, генерируя реактивную силу.

Ключевым моментом в этой технологии является эффективность преобразования давления в кинетическую энергию потока. Здесь на помощь приходит спрямляющее устройство, которое обеспечивает равномерность и направление струи. При этом конструктивные особенности устройства сильно влияют на гидродинамические характеристики системы и, как следствие, на общую производительность движителя [3].

Спрямляющее устройство (иногда называемое «регулятором потока») выполняет следующие функции:

- Устранение турбулентности. Вследствие особенностей работы насоса в потоке могут возникать вихревые и турбулентные движения. Спрямляющее устройство минимизирует такие неустойчивости, обеспечивая более направленный поток.
- Улучшение кинетического обмена энергии. При переходе жидкости через устройство происходит преобразование потенциальной энергии под давлением в кинетическую, что позволяет увеличить скорость выхлопной струи.
- Снижение потерь энергии. Неправильное распределение потока может привести к диссипации энергии, что негативно сказывается на эффективности движителя. Тщательный подбор параметров конструкции способствует минимизации таких потерь.

Реверс-инжиниринг спрямляющего устройства включает в себя несколько последовательных этапов. На начальном этапе проводят внешний осмотр устройства, фотографирование, измерения геометрических параметров и сбор информации о материалах. Современные методы предполагают использование [4]:

- 3D-сканирования [5]. Технология позволяет получить высокоточные цифровые модели устройства, которые затем используются для анализа конструктивных особенностей (рис.1).
- Метрологического оборудования. Применяются точномеры, калибры и лазерные

измерительные системы, способные обеспечить требуемую точность измерений.

После получения подробной модели устройства производится его функциональный анализ. Это включает:

- Гидродинамическое моделирование. С использованием программ для вычислительной гидродинамики (CFD) специалисты моделируют поток жидкости через устройство, оценивая распределение скоростей, давление и возникающие потери.
- Анализ конструктивных решений. Детальное изучение формы, углов и расположения внутренних ребер, направляющих элементов позволяет выявить особенности, способствующие улучшению распределения потока.

На основании собранных данных выполняется построение полной схемы устройства, включающей:

- Геометрическую модель. Точная 3D-модель всех элементов конструкции.
- Функциональную схему. Блок-схема, иллюстрирующая взаимодействие отдельных элементов (например, входной поток, преобразование давления, выходная струя).



Рис.1. 3D сканирование спрямляющего устройства водометного движателя

После реконструкции инженер проводит этап сравнения полученной модели с исходным устройством. Для верификации используют:

- Экспериментальные данные. Если есть возможность, проводят тесты с прототипом для сравнения результатов моделирования с реальными показателями.
- Сравнительный анализ с аналогичными решениями. Исследование литературных источников и патентной документации помогает оценить новизну и эффективность предложенной схемы.

Применение результатов анализа может быть направлено на несколько векторов развития:

- Модернизация существующих систем. Путём корректировки конструктивных особенностей можно добиться повышения КПД движателя, уменьшения вибраций и повышения долговечности.
- Разработка новых решений. Изученная модель может послужить основой для инновационных разработок, позволяющих создавать более эффективные и экономичные водомётные движатели.
- Патентование и коммерциализация. Полученная информация может быть использована для разработки новых патентных заявок, что позволит компании выйти на новые рынки или усилить свою конкурентоспособность.

В условиях современной инженерной практики реверс-инжиниринг становится особенно актуальным в связи с необходимостью быстрого реагирования на технологические вызовы. С одной стороны, это позволяет сократить время на проектирование за счёт использования готовых образцов, а с другой – даёт возможность глубже понять принципы работы сложных гидродинамических систем, что является важным преимуществом в условиях жесткой конкуренции.

Несмотря на очевидные преимущества, реверс-инжиниринг сопряжён с определёнными сложностями:

- **Точность измерений и моделирования.** Высокая сложность потока жидкости требует использования специализированного оборудования и программного обеспечения для получения достоверных данных.

• **Интерпретация результатов.** Часто полученные модели нуждаются в дополнительном анализе и корректировке, что требует значительных временных и ресурсных затрат.

• **Ограниченность доступной информации.** В ряде случаев сложно получить полную и точную информацию о материале, методах обработки и других технологических аспектах устройства.

Перспективы развития метода связаны с внедрением новых технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект. Эти инструменты помогают автоматизировать процесс анализа, сокращая время на моделирование и повышая точность результатов. В перспективе реверс-инжиниринг сможет не только ускорить разработку новых решений, но и обеспечить более гибкое управление производственными процессами, что особенно актуально в условиях стремительного развития морской техники [6].

Заключение. Реверс-инжиниринг спрямляющего устройства водомётного движителя представляет собой эффективный инструмент для повышения конкурентоспособности судостроительных технологий. Применение современных методов измерения, моделирования и анализа позволяет добиться значительного повышения эффективности работы системы. Благодаря полученным данным становится возможным не только улучшение традиционных конструктивных решений, но и разработка инновационных подходов, способствующих снижению затрат и повышению надёжности эксплуатации.

Таким образом, глубокий анализ функциональных и конструктивных особенностей спрямляющего устройства, проведённый с использованием комплексных методов реверс-инжиниринга, открывает новые возможности для модернизации водомётных движителей. В условиях жесткой конкуренции и постоянно меняющихся требований рынка необходимость внедрения подобных методов становится всё более очевидной. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на оптимизацию процедуры обратного проектирования, совершенствование методик гидродинамического моделирования и интеграцию результатов с системами автоматизированного проектирования.

В итоге, комплексный подход к реверс-инжинирингу не только позволяет реконструировать устройство с высокой степенью точности, но и даёт возможность глубже понять его функциональные особенности, что является залогом успешной модернизации и разработки новых технологических решений. Эта методология может стать основой для дальнейших инноваций в области судостроения, обеспечивая повышение эффективности, надёжности и экономичности современных водомётных движителей.

Список литературы

1. Жан-Бернар Ш. Водометный движитель // Международная классификация. — 1997. — С. 1–5.
2. Усликов А.Ю., Алексеенко В.Г. Особенности изнашивания деталей водометного движителя // Статья в сборнике трудов конференции: Материалы секционных заседаний 58-й студенческой научно-практической конференции. — 2018. — С. 14–19.
3. Синюкова М.А., Мандровский Г.М., Мандровская Е.Г. Водомет // Международная классификация — 2012. — С. 11–13.
4. Александров Д.В. Обратный инжиниринг. Технологии прототипирования // Гагаринские чтения - 2019: Сборник тезисов докладов XIV Международной молодежной научной конференции. — 2019. — С. 40–50.
5. Мишкина, К. А. Выбор и обоснование применения 3D сканирования в реверс-инжиниринге / К. А. Мишкина, Р. С. Чернов, Ю. О. Стреляная // Современные технологии и реверс-инжиниринг: Сборник статей Всероссийских научно-практических конференций, Севастополь, 17 апреля – 12 2023 года / Гл. редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 206-208.
6. Титов Д.И., Костяев В.И. Реверс-инжиниринг (обратная разработка) как метод исследования и проектирования деталей, узлов, сборок // Проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. — 2024. — С. 471–475.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-ПРОЕКТА (ФРЕЙМА) ДЛЯ ТОВАРА ПАРФЮМЕРИИ TOM FORD LOST CHERRY

З. А. Безверхая¹, Т.А. Перевай²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299045, Россия, zlatasmil2004@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299045, Россия, talitvinova@sevsu.ru

Аннотация. Разработан дизайн карточки парфюма Tom Ford Lost Cherry, выполненный в дизайн-инструменте Figma. Проект нацелен на создание визуально привлекательного и информативного интерфейса, подчеркивающего премиальность продукта и обеспечивающего удобство взаимодействия для пользователя. Особое внимание уделено типографике, цветовой палитре и композиции, отражающим элегантность и чувственность аромата. Используются высококачественные изображения продукта и детальное описание, способствующие принятию решения о покупке.

Ключевые слова: Figma, дизайн карточки товара, парфюмерия, Tom Ford Lost Cherry, UX/UI дизайн, визуальная иерархия, типографика, цветовая палитра, премиальный дизайн, электронная коммерция.

MODELING AND DEVELOPMENT OF A DESIGN PROJECT (FRAME) FOR A PERFUME PRODUCT TOM FORD LOST CHERRY

Z. A. Bezverkhaya¹, T.A. Perevay²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299045, Russia, zlatasmil2004@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299045, Russia, talitvinova@sevsu.ru

Abstract. The design of the Tom Ford Lost Cherry perfume card has been developed using the Figma design tool. The project aims to create a visually appealing and informative interface that emphasizes the premium quality of the product and provides user-friendly interaction. Special attention is paid to the typography, color palette and composition, reflecting the elegance and sensuality of the fragrance. High-quality product images and a detailed description are used to facilitate the purchase decision.

Keywords: Figma, product card design, perfumes, Tom Ford Lost Cherry, UX/UI design, visual hierarchy, typography, color palette, premium design, e-commerce.

Введение

В современной электронной коммерции карточка товара является ключевым элементом, определяющим решение пользователя о покупке [1]. Особенно это актуально для товаров премиум-сегмента, где важна не только информация о продукте, но и транслируемый им имидж. Tom Ford Lost Cherry – это аромат, ассоциирующийся с роскошью, чувственностью и изысканностью. Поэтому дизайн карточки товара должен не только предоставлять исчерпывающую информацию, но и вызывать соответствующие эмоции и желания. Работа выполнена в дизайн-инструменте Figma, что обеспечивает гибкость, возможность коллаборации и удобство внесения изменений [2]. В связи с растущей конкуренцией на рынке онлайн-продаж парфюмерии, создание эффективных и запоминающихся карточек товаров становится необходимым условием для успеха бренда.

Цель исследования Целью данной статьи является смоделировать и разработать дизайн карточки товара для маркетплейсов парфюма Tom Ford Lost Cherry, которая будет визуально привлекательной, информативной и удобной для пользователя. Дизайн должен отражать премиальный характер продукта, подчеркивать его уникальность и способствовать увеличению продаж. Проект реализован в Figma, что позволяет быстро тестировать и вносить изменения в дизайн-макет [3].



Рис. 8. Карточка товара парфюмерии Tom Ford Lost Cherry в Figma

Дизайн карточки товара реализован в Figma и включает в себя следующие основные элементы:

Заголовок: Название продукта – выполнено в элегантном, легко читаемом шрифте. Размер шрифта обеспечивает визуальную иерархию, привлекая внимание к названию.

Изображение продукта: Использовано высококачественное, профессиональное изображение флакона Lost Cherry. Ракурс и освещение подобраны таким образом, чтобы подчеркнуть детали дизайна флакона и создать ощущение премиальности. В Figma реализована возможность добавления нескольких изображений, позволяющих рассмотреть продукт под разными углами.

Описание аромата: Краткое, но информативное описание аромата, акцентирующее внимание на ключевых нотах (вишня, ликер, миндаль). Используется язык, вызывающий чувственные ассоциации и подчеркивающий эксклюзивность продукта.

Типографика: Использован элегантный и современный шрифт, хорошо читаемый и соответствующий премиальному имиджу бренда. В Figma использована система типографических стилей, облегчающая управление шрифтами и обеспечивающая консистентность дизайна.

Визуальная иерархия: Размер шрифта, цвет и расположение элементов на странице организованы таким образом, чтобы направлять взгляд пользователя и акцентировать внимание на наиболее важной информации. В Figma использованы инструменты для создания прототипов, позволяющие тестировать юзабилити и выявлять потенциальные проблемы с навигацией.

Заключение

Дизайн карточки товара для парфюма Tom Ford Lost Cherry, разработанный в Figma, представляет собой пример современного, элегантного и удобного интерфейса. Он сочетает в себе визуальную привлекательность, информативность и удобство использования, что способствует повышению конверсии и укреплению имиджа бренда. Использование Figma позволило создать гибкий и легко масштабируемый дизайн, который может быть адаптирован для различных платформ и разрешений экранов. Рекомендуется дальнейшее тестирование и оптимизация дизайна на основе данных анализа пользовательского поведения.

Список литературы

1. Хорохордин, В. А. Дизайн продуктов, дизайн интерьеров, дизайн среды - дизайн мышления / В. А. Хорохордин, Т. Ю. Фальковская // Креативные стратегии и креативные индустрии в экономическом, социальном и культурном пространствах региона : материалы Третьей региональной научно-практической конференции, Иркутск, 19 мая 2021 года. – Иркутск: Репроцентр А1, 2021. – С. 351-353.
2. Косолапов, Р. К. Преимущества Figma перед другими по для дизайна интерфейсов / Р. К. Косолапов // ТРИБУНА МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 июня 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 70-74.
3. Лозовой, М. В. Применения Figma - онлайн-сервиса для разработки интерфейсов / М. В. Лозовой // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2022) : Сборник научных трудов XXV Российской научной конференции. В 2-х томах, Москва, 06–07 декабря 2022 года / Под научной редакцией Ю.Ф. Тельнова. Том 2. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2022. – С. 115-119.

ДИЗАЙН УПАКОВКИ НАПИТКА FRESH BAR SEX ON THE BEACH: РАЗРАБОТКА И ОСОБЕННОСТИ КОЛОРИСТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Н.В. Завгородний¹, Т.А. Перевай²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001,
Россия, zavgorodiinikita.sev@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299045,
Россия, talitvinova@sevsu.ru

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ процесса разработки дизайна упаковки для безалкогольного газированного напитка Fresh Bar Sex on the beach. Основное внимание уделяется особенностям колористического решения и его влиянию на потребительское поведение. Описаны методологические подходы к созданию современного дизайна упаковки, включая анализ целевой аудитории, исследование конкурентной среды и тестирование различных вариантов цветовых решений. Представлены результаты исследования эффективности разработанного дизайн-решения, демонстрирующие высокую заметность продукта и формирование позитивного эмоционального отклика у потребителей.

Ключевые слова: дизайн упаковки, колористическое решение, композиция, брендинг, маркетинговые коммуникации, безалкогольные напитки, палитра, современный дизайн

DRINK FRESH BAR SEX ON THE BEACH PACKAGE DESIGN: DEVELOPMENT AND COLORISTIC SOLUTION FEATURES

N.V. Zavgorodnii¹, T.A. Perevay²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia,
zavgorodiinikita.sev@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299045, Russia, talitvinova@sevsu.ru

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the process of developing packaging design for the Fresh Bar Sex on the beach soft drink. Particular attention is paid to the characteristics of the coloristic solution and its impact on consumer behavior. Methodological approaches to creating modern packaging design are described, including analysis of the target audience, competitive environment research, and testing of various color options. The research results demonstrate the effectiveness of the developed design solution, showing high product visibility on the shelf and the formation of a positive emotional response from consumers.

Keywords: packaging design, Fresh Bar, Sex on the beach, coloristic solution, composition, branding, marketing communications, soft drinks, orange-white color scheme, modern design

Введение

В современных условиях развития рынка безалкогольных напитков особую значимость приобретает разработка эффективного дизайна упаковки, который не только привлекает внимание потребителей, но и формирует устойчивые ассоциации с качеством и уникальностью продукта [1]. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания инновационных подходов к дизайну упаковки, способных выделиться среди конкурентов и обеспечить высокую заметность товара.

Цель исследования

Целью исследования является разработка комплексного дизайн-решения упаковки для безалкогольного газированного напитка Fresh Bar Sex on the beach с использованием современной колористической гаммы оранжево-серебристой, которая соответствует актуальным тенденциям в области упаковки и особенностям потребительского восприятия [2].

Для определения оптимального дизайн - проекта необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ целевой аудитории и её восприятия на оранжево-серебристую цветовую гамму.
2. Разработать варианты композиционного решения с учетом выбранной цветовой гаммы.

3. Создать финальный вариант дизайн-проект, учитывающий современные тренды в упаковке [3].

Объектом исследования является процесс разработки дизайна упаковки безалкогольных напитков. Предметом исследования выступают особенности восприятия оранжево-серебристого цветового решения и его влияние на потребительское восприятия [4].

Практическая значимость исследования заключается в создании современного дизайн-решения с уникальным цветовым сочетанием, которое может быть внедрено в производственный процесс и способствовать повышению конкурентоспособности продукта на рынке. Разработанное решение основано на анализе успешных практик ведущих компаний отрасли и соответствует актуальным трендам в области дизайна упаковки.



Рис. 9. Баннер напитка Fresh Bar «Sex on the beach»



Рис. 2. Цветовая палитра использования оранжевого цвета в сочетании с белым цветом

Заключение

В результате проведенного исследования была успешно достигнута поставленная цель - разработана уникальная концепция дизайна упаковки для напитка Fresh Bar Sex on the beach в современной колористической гамме оранжево-серебристой, которая привлекает внимание покупателей.

В ходе работы были решены все поставленные задачи: проведен анализ целевой аудитории, изучены успешные примеры использования аналогичных цветовых решений, разработаны и проанализированы различные варианты композиции, и создан финальный вариант дизайн-проекта, полностью соответствующий современным трендам в области упаковки.

Особое внимание было уделено практической составляющей исследования. Разработанная концепция не только соответствует актуальным тенденциям дизайна упаковки, но и учитывает особенности потребительского поведения, что повышает её эффективность на рынке. Уникальное цветовое решение позволяет продукту выгодно выделяться среди конкурентов и создает сильные ассоциации с качеством и премиальностью продукта. Разработанная концепция может стать эффективным инструментом повышения конкурентоспособности продукта и укрепления позиций бренда на рынке безалкогольных напитков.

Список литературы

1. "Особенности дизайна упаковки безалкогольных напитков: современные тенденции и инновации" // Упаковка сегодня. - 2024. - №3. - С. 15-19.
2. "Влияние цветовых решений в дизайне упаковки на потребительское поведение" // Маркетинг в России и за рубежом. - 2024. - №2. - С. 45-52.
3. "Анализ рынка безалкогольных напитков: тренды 2024 года" // Пищевая промышленность. - 2024. - №1. - С. 23-28.
4. "Психология восприятия упаковки: как привлечь внимание потребителя" // Бренд-менеджмент. - 2024. - №3. - С. 56-63.

ДИЗАЙН КАРТОЧКИ ТОВАРА В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН WILDBERRIES: ПРИНЦИПЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

К.А. Онходоева¹, Т.А. Перевай²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, onhodoevakira@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299045, Россия, talitvinova@sevsu.ru

Аннотация. Эффективный дизайн карточки товара играет ключевую роль в успехе онлайн-магазинов, особенно на крупных маркетплейсах, таких как Wildberries. Данная статья посвящена анализу структуры и элементов продающих карточек товаров на платформе Wildberries, опираясь на современные исследования в области электронной коммерции и лучшие практики UI/UX дизайна. Целью работы является предоставление практических рекомендаций для продавцов, направленных на оптимизацию карточек товаров с целью повышения конверсии и увеличения продаж на Wildberries. В статье рассматриваются основные компоненты карточки товара, современные тенденции в их оформлении, потенциальные трудности при разработке дизайна и нерешенные вопросы в данной области.

Ключевые слова: Дизайн карточки товара, интернет-магазин Wildberries, электронная коммерция, конверсия, пользовательский опыт, лучшие практики, онлайн-маркетплейс.

PRODUCT CARD DESIGN FOR THE WILDBERRIES ONLINE STORE: PRINCIPLES AND RECOMMENDATIONS

К.А. Onhodoeva¹, Т.А. Перевай²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, onhodoevakira@mail.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299045, Russia, talitvinova@sevsu.ru

Abstract. Effective product card design plays a key role in the success of online stores, especially on large marketplaces such as Wildberries. This article is devoted to the analysis of the structure and elements of selling product cards on the Wildberries platform, based on modern research in the field of e-commerce and best practices of UI/UX design. The purpose of the work is to provide practical recommendations for sellers aimed at optimizing product cards in order to increase conversions and increase sales on Wildberries. The article discusses the main components of the product card, current trends in their design, potential difficulties in design development and unresolved issues in this area.

Keywords: Product card design, Wildberries online store, e-commerce, conversion, user experience, best practices, online marketplace.

Введение

В условиях высококонкурентного рынка электронной коммерции карточка товара является важнейшим инструментом для привлечения и удержания внимания потенциальных покупателей [1]. На крупных онлайн-маркетплейсах, таких как Wildberries, где представлено огромное количество предложений, именно качественно разработанная карточка товара становится решающим фактором, влияющим на решение о покупке. Карточка товара представляет собой "конечную целевую страницу для эффективной продажи продукта" и играет ключевую роль в процессе превращения посетителей в покупателей. Wildberries, будучи крупнейшим российским онлайн-ритейлером с обширной аудиторией, предоставляет продавцам значительные возможности для роста продаж. Однако высокая конкуренция на этой площадке требует от продавцов особого внимания к деталям представления своих товаров. В связи с этим, разработка эффективного дизайна карточки товара становится не просто желательной, а необходимой мерой для обеспечения конкурентоспособности и достижения успеха на Wildberries [2]. На фоне большого количества схожих предложений, именно продуманное оформление и информативное наполнение карточки товара позволяет выделиться среди конкурентов и убедить покупателя сделать выбор в пользу конкретного продукта. Данная статья направлена на изучение ключевых аспектов дизайна карточек

товаров на Wildberries, анализ современных тенденций и лучших практик в электронной коммерции, а также на выявление трудностей и нерешенных вопросов в этой области, чтобы предложить практические рекомендации для продавцов.

Цель исследования

Основной целью данной статьи является анализ ключевых элементов и лучших практик дизайна эффективных карточек товаров на онлайн-маркетплейсе Wildberries для улучшения пользовательского опыта, повышения коэффициента конверсии и предоставления практических рекомендаций для продавцов.

Исследования в области электронной коммерции единогласно подтверждают, что карточка товара является ключевым элементом, влияющим на принятие решения о покупке. Она выполняет ряд важных функций: детально представляет продукт, учитывает поведение и потребности пользователей, обладает четкой структурой и удобной навигацией, мотивирует к покупке и привлекает внимание. При этом важно учитывать, что универсального шаблона для карточки товара не существует, поскольку ее структура и наполнение зависят от типа продукта и целевой аудитории. Исследования пользовательского опыта показывают, что взгляд посетителя сайта часто следует по траектории, напоминающей букву "F", что необходимо учитывать при размещении ключевых элементов на странице товара [3]. Визуальная иерархия также играет важную роль, помогая пользователю быстро находить наиболее важную информацию. Карточный дизайн, представляющий информацию в компактных блоках, является распространенным и эффективным подходом в электронной коммерции. Современные тенденции в дизайне карточек товаров включают использование насыщенного контента, такого как качественные изображения, видео и 3D-модели, для более полного представления продукта. Растет популярность технологий дополненной реальности (AR) и 360-градусных фотографий, позволяющих пользователям лучше визуализировать товар. Интерактивные элементы, такие как всплывающие подсказки и расширенные описания, также способствуют повышению вовлеченности пользователей. Наблюдается тренд к более чистому и минималистичному дизайну с акцентом на высококачественные визуальные материалы. Персонализация товарных рекомендаций и динамическое обновление контента на основе поведения пользователя также становятся все более распространенными. Разработка эффективного дизайна карточки товара для крупных онлайн-ритейлеров, таких как Wildberries, сопряжена с рядом трудностей. Одной из основных проблем является необходимость адаптации дизайна под различные типы товаров и учет большого объема информации, которую необходимо разместить на ограниченном пространстве, особенно на мобильных устройствах [4]. Несогласованность информации о товарах, предоставляемой продавцами, также может затруднить создание универсального и качественного дизайна. Кроме того, необходимо учитывать специфические требования и правила платформы Wildberries к оформлению карточек товаров. Высокая конкуренция на маркетплейсе требует от продавцов поиска уникальных способов представления своих товаров, чтобы выделиться на фоне многочисленных аналогов. Несмотря на значительное количество исследований в области дизайна карточек товаров для электронной коммерции, некоторые вопросы остаются недостаточно изученными, особенно в контексте конкретных платформ, таких как Wildberries. Требуется более глубокое понимание влияния специфических элементов дизайна и функциональности Wildberries на поведение пользователей и показатели конверсии. Необходимо дальнейшее изучение эффективности различных типов визуального контента (инфографики, видео, 3D-модели) на этой платформе, а также оптимального баланса между информационным наполнением и визуальной привлекательностью карточек товаров в различных товарных категориях. Отдельного внимания заслуживает исследование роли SEO-оптимизации под специфические требования Wildberries и ее влияния на дизайн карточки товара. На основе проведенных исследований была создана собственная карточка на Wildberries, которая представлена на рис. 1.



Рис. 1. Карточка товара

Эффективный дизайн карточки товара является критически важным фактором для успеха продаж на Wildberries. Проведенный анализ показал, что для достижения высоких показателей конверсии продавцам необходимо уделять особое внимание качеству визуальных материалов, информативности и привлекательности описаний, четкости представления цен и скидок, удобству выбора вариантов товара и оптимизации для мобильных устройств. Использование социального доказательства в виде рейтингов и отзывов, а также обеспечение прозрачности информации о доставке и возврате также играют значительную роль в формировании доверия покупателей. Соблюдение специфических требований платформы Wildberries, таких как форматы изображений и длина описаний, является обязательным условием для успешного размещения товаров. В условиях высокой конкуренции на маркетплейсе, продуманная SEO-оптимизация карточки товара с использованием релевантных ключевых слов становится необходимым инструментом для повышения видимости товаров в поиске. Несмотря на наличие общих принципов и лучших практик, каждый продавец должен стремиться к созданию уникальных и привлекательных карточек товаров, которые наилучшим образом представляют его продукцию и выделяют ее среди конкурентов.

Заключение

Регулярный анализ эффективности карточек товаров и адаптация стратегий, на основе полученных данных и изменений на платформе Wildberries являются залогом долгосрочного успеха в электронной коммерции. Дальнейшие исследования в области влияния различных элементов дизайна и функциональности Wildberries на поведение пользователей могут способствовать разработке еще более эффективных рекомендаций для продавцов

Список литературы

1. Апаитов, А. М. Дизайн-ориентированный подход к управлению продуктом: роль дизайн-мышления в создании удовлетворительного пользовательского опыта цифровых продуктов / А. М. Апаитов // Научный Лидер. – 2023. – № 33(131). – С. 6-11.
2. Зиятдинов, Р. Ф. Исследование эффективности рекламных инструментов Wildberries / Р. Ф. Зиятдинов // Вестник Университета управления "ТИСБИ". – 2023. – № 3. – С. 45-51.
3. Гумерова, Р. Р. Исследование актуальных маркетинговых подходов интернет-магазина Wildberries / Р. Р. Гумерова, С. Л. Тухватшина // Управление и экономика народного хозяйства России: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 28–29 февраля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 144-146.
4. Ванюгина, А. С. Создание инфографики для маркетплейса Wildberries / А. С. Ванюгина // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2024. – № 1. – С. 113-118.

УДК 658.512.23

АНАЛИЗ ДИЗАЙНЕРСКИХ ПРИЕМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАРТОЧКИ ТОВАРА СОЕВОЙ СВЕЧИ «АРОМАТНЫЙ ГЛИНТВЕЙН».

Ю.А.Першина¹, Т.А. Перевай²¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299045,
Россия, luisa.cool@yandex.ru²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299045,
Россия, talitvinova@sevsu.ru

Аннотация. В статье проведен анализ дизайна упаковки соевой свечи «Ароматный глнтвейн» от бренда «Краснополянская косметика». Рассмотрены ключевые дизайнерские приемы, включая цветовую палитру, типографику, композиционное решение и семантику графических элементов. Особое внимание уделено соответствию дизайна тематике продукта — созданию атмосферы тепла и уюта. Результаты исследования демонстрируют, что сочетание минимализма, натуральных оттенков и акцентов на ключевых ингредиентах усиливает эмоциональную связь с потребителем и подчеркивает экологичность продукта.

Ключевые слова: дизайн упаковки, соевая свеча, цветовая палитра, типографика, брендинг, натуральность, визуальная коммуникация.

ANALYSIS OF DESIGN TECHNIQUES IN DESIGNING THE PRODUCT CARD OF THE SOY CANDLE "FRAGRANT MULLED WINE".

Y.A. Pershina¹, T.A. Perevay²¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299045, Russia, luisa.cool@yandex.ru²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299045, Russia, talitvinova@sevsu.ru

Abstract. The article analyzes the design of the package of soy candle "Fragrant Glintwein" from the brand "Krasnopolyanskaya cosmetics". The key design techniques are considered, including color palette, typography, composition and semantics of graphic elements. Special attention is paid to the correspondence of the design to the product theme - creating an atmosphere of warmth and coziness. The results of the study demonstrate that the combination of minimalism, natural tones and accents on key ingredients strengthens the emotional connection with the consumer and emphasizes the sustainability of the product.

Keywords: Packaging design, soy candle, color palette, typography, branding, naturalness, visual communication.

Введение

Подготовительные работы связаны со сбором и анализом информации, определением целевой аудитории, ее главными особенностями и характеристиками. Необходимо проанализировать существующие на сегодняшний день варианты визуализации объекта проектирования или конкурентного товара, выявить их достоинства и недостатки [1]. Все это является важным предварительным этапом перед началом разработки дизайн-концепции или визуализации какого-либо рекламного проекта [2].

Упаковка является важным инструментом коммуникации с потребителем, особенно в сегменте косметики и ароматических продуктов [3]. Дизайн упаковки соевой свечи «Ароматный глнтвейн» от бренда «Краснополянская косметика» сочетает функциональность и эстетику, отражая ключевые ценности продукта: натуральность, экологичность и создание уютной атмосферы. В данной статье анализируются дизайнерские приемы, использованные в оформлении, и их роль в формировании восприятия бренда.

Цель исследования

Исследование направлено на выявление взаимосвязи между дизайном упаковки и восприятием бренда, что актуально для разработки эффективных маркетинговых стратегий в сегменте экологичной косметики.



Рис. 10. Карточка товара соевой свечи «ароматный глнтвейн»

Основные дизайнерские приемы:

Основой дизайна стала теплая цветовая гамма, ассоциирующаяся с зимними вечерами и глнтвейном:

- терракотовые и бордовые оттенки — символизируют специи и красное вино, создавая визуальную метафору напитка.
- кремовый фон — подчеркивает натуральность соевого воска и добавляет ощущение чистоты.
- золотые акценты — используются в разделительных линиях и логотипе, добавляя элемент роскоши и праздничности.

Такое сочетание вызывает ассоциации с теплом, уютом и природными материалами, что соответствует позиционированию продукта как «согревающего напитка в морозный день».

Анализ типографики:

- заголовок «Аромат глнтвейн» выполнен шрифтом с засечками (например, Georgia или Times New Roman), что добавляет классичности и отсылает к традиционным рецептам.
- перечисление ингредиентов («апельсин • бадьян • корица») — используется моноширинный шрифт (Courier New) для создания контраста и акцента на натуральности компонентов.
- минималистичные надписи («100% натуральный соевый воск», «200 мл») — мелкий кегль и простой шрифт (Helvetica) подчеркивают прозрачность и экологичность бренда.

Анализ композиции и структуры:

- вертикальное разделение — информация организована в два блока: верхний (название и ингредиенты) и нижний (бренд и описание). Это упрощает восприятие.
- разделительная линия — горизонтальные черты визуально отделяют основные элементы, добавляя стройность композиции.
- акценты на ключевых словах — фраза «согревающий напиток в морозный день» выделена курсивом, создавая эмоциональный посыл.

Семантика графических элементов:

- стилизованное изображение апельсина и специй — размещено в верхней части упаковки, усиливая связь с ароматом.
- логотип бренда — выполнен в форме печати с растительным орнаментом, что подчеркивает ручную работу и натуральность.

Заключение

Таким образом, дизайн упаковки свечи «Ароматный глнтвейн» успешно сочетает функциональность и эстетику, используя приемы, направленные на передачу тепла, натуральности и премиальности. Цветовая палитра и типографика работают на создание атмосферы уюта, а структура композиции обеспечивает четкость подачи информации. Такой подход не только привлекает внимание целевой аудитории, но и укрепляет доверие к бренду как к производителю экологических и качественных продуктов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ восприятия дизайна в разных возрастных группах и оптимизацию элементов для цифровых носителей.

Список литературы

1. Рахманов Ж. М. Разработка концепции дизайна рекламного проекта // Наука, образование и культура. 2020. №3 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-kontseptsii-dizayna-reklamnogo-proekta> (дата обращения: 04.04.2025).
2. Цой, В. В. Дизайн-концепция как этап визуализации рекламного образа в дизайн-образовании / В. В. Цой // Дизайн-образование: преемственность и динамика: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 13 октября 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 40-42.
3. Винарчук, А. В. Преимущества использования Figma в веб-дизайне / А. В. Винарчук // Научный Лидер. – 2023. – № 32(130). – С. 8-9

УДК 621.01

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЯ «РОДСТЕР КРЫМ»

- М.А. Чехов¹, А.Г. Струтинский², А.В. Боровков³, И.А. Сахаров⁴, Н.А. Дмитриев⁵
¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, 299001, Россия, misha55chexov55@mail.com
²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, 299001, Россия, anton.savvage11102003@gmail.com
³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, 299001, Россия, sepa7777777@gmail.com
⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, 299001, Россия, saharov00.01@mail.com
⁵ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, 299001, Россия, dmitrievnikita20@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты применения технологий реверс-инжиниринга на примере реализации проекта «родстер Крым». Основной задачей было получение 3D-модели реальной формы дверного проема с целью создания элементов кузова для печати на 3D-принтере. Представлено оборудование и основные этапы сканирования.

Ключевые слова: автомобилестроение, родстер Крым, дизайн, 3D-сканирование, 3D-печать.

THE USE OF REVERSE-ENGINEERING TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF THE «Roadster Crimea» CAR

- M.A. Chekhov¹, A.G. Strutinskiy², A.V. Borovkov³, I.A. Sakharov⁴, N.A. Dmitriev⁵
¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, misha55chexov55@mail.com
²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, anton.savvage11102003@gmail.com
³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, sepa7777777@gmail.com
⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, saharov00.01@mail.com
⁵FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, dmitrievnikita20@gmail.com

Annotation. The article presents the results of the application of reverse engineering technologies using the example of the implementation of the Roadster Crimea project. The main task was to obtain a 3D model of the actual shape of the doorway in order to create body elements for printing on a 3D printer. The equipment and the main stages of scanning are presented.

Keywords: automotive industry, roadster Crimea, design, 3D scanning, 3D printing.

Введение

Федеральный проект «Родстер Крым», направленный на развитие отечественного автомобилестроения в части подготовки кадров, на сегодняшний день объединяет более 20 вузов страны. Севастопольский государственный университет является его активным участником.

Целью проекта является создание силами студентов и преподавателей готового автомобиля на базе универсальной рамы. Отличительной особенностью севастопольской версии родстера является то, что элементы кузова печатаются на 3D принтере и впоследствии собираются на раме. Подгонка печатных элементов друг к другу и к раме, при сварке которой тоже возможны погрешности форм и размеров, длительный и трудоемкий процесс. Упрощение процесса возможно за счет применения современных технологий реверс-инжиниринга, таких как 3D-сканирование, позволяющее получить 3D модель изделия на основе готовой детали или сборочной единицы. В данном конкретном случае возникла задача изготовления панелей дверей с помощью 3D-печати, которые необходимо подогнать к уже существующим элементам кузова и к раме. Для этого было необходимо получить цифровую модель дверного проема с его фактическими размерами.

1. Оборудование для сканирования

Для решения поставленной задачи использовался сканер модели Scanform L5 (рис.1) и программное обеспечение Scanform. [4]



Рис. 1. 3D сканер Scanform L5 и калибровочная пластина

Ручной 3D сканер Scanform L5 с возможностью сканирования объекта в движении и под любым углом. Компактность и мобильность сканера позволяет использовать его в любых условиях, даже труднодоступном пространстве. Это первый российский ручной 3D сканер, работающий по технологии триангуляции лазерной сетки (линий), имеющий возможность сканирования **глянцевых** и **черных** поверхностей без использования матирующего спрея.

Основные технические характеристики сканера приведены в таблице 1.

Таблица.1. Технические характеристики 3D сканера Scanform L5

Тип сканера	Ручной
Класс лазера	II (безопасный для глаз)
Точность, мкм	40
Разрешение, мм	от 0,15
Объемная погрешность, мм/м	0,040 + 0,070
Диапазон размеров объекта (рекомендуемый), м	0,1-4
Интерфейс подключения	2xUSB 3.0/3.1 (ключ USB 2.0)
Программное обеспечение	Scanform (собственной разработки)
Поддерживаемые форматы файлов	.ply, .stl, .txt
Операционная система	Windows
Диапазон рабочих температур, °C	5-40
Диапазон рабочей влажности	10-90 % (без конденсата)
Вес, кг	0,95
Производитель	Scanform
Страна про-ва	Россия

2. Основные этапы сканирования

Процесс сканирования состоял из следующих основных этапов:

1) Настройка аппаратуры

– Калибровка:

Перед началом сканирования необходимо провести калибровку устройства. Это делается с помощью специальных калибровочных экранов, которые позволяют проверить точность измерений. Процесс включает в себя установку сканера на заданное расстояние от объекта и выбор правильных параметров сканирования.

– Настройка программного обеспечения:

На этапе настройки также важно правильно сконфигурировать программное обеспечение, которое будет обрабатывать сканируемые данные. Необходимо убедиться, что все данные сохраняются в правильном формате для дальнейшей работы.

2) Наклейка меток (рис.2.)

После настройки аппаратуры следующим шагом является наклейка меток на дверные проёмы. Наличие меток на поверхности объектов является критически важным для обеспечения точности сканирования.

Процесс включает в себя:

– Выбор меток: использовались специальные маркеры, которые обеспечивают хорошую видимость на поверхности дверных проёмов.

– Правильное размещение: метки нужно наклеивать в хаотичном порядке, чтобы получить наилучшие результаты сканирования, в связи с этим метки были распределены на дверных проемах и порогах, что позволило создать контрольные точки для сканирования поверхности.

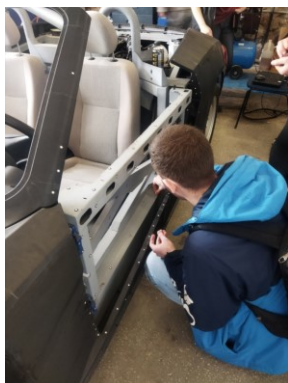


Рис. 2. Наклейка меток на для сканирования

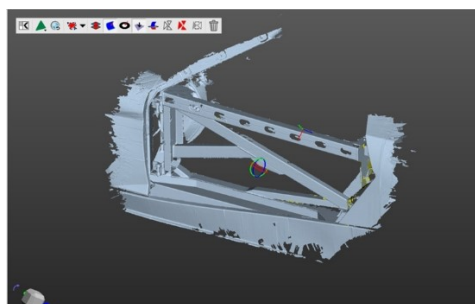


Рис. 3. Результаты сканирования дверного проёма

Результаты

В результате сканирования было получено облако точек (рис. 3), учитывающее реальную геометрию рамы и элементов кузова, что позволило создать 3D-модель элементов двери для печати их на 3D принтере.

Заключение

В процессе разработки проекта "Родстер Крым" одной из ключевых задач было сканирование дверных проёмов для определения их геометрических характеристик и обеспечения точности сборки кузова.

Сканирование позволило не только оптимизировать процесс сборки, но и значительно облегчить проектирование изделий, для того чтобы повысить качество конечного продукта.

Список литературы

1. Зарождение проекта «Родстер – Крым» - <https://родстеркрым.рф/история-проекта/>
2. Участие СевГУ в проекте - <https://dzen.ru/a/YPBAOu-u5XFQPuEy>
3. Обратный инжиниринг — <https://promzyfra.ru/articles/obratnyy-inzhiniring-cto-eto-prostymi-slovami/>
4. https://3dtool.ru/product/lazernyy_3d_skaner_scanform_15_s_pervichnoy_poverkoy_bez_nds/?ysclid=m8umnrjc61199686309

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ РАМЫ НАЗЕМНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- К.А. Голендухин¹, Е.А. Кашенкова², А.Г. Кузнецов³, Е.Е. Степанова⁴, С.И. Рошчупкин⁵
¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, golendukhin.2002@mail.ru
²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, elizavetakasenkova1@gmail.com
³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, kuzn.andrey@mail.ru
⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, oksst@mail.ru
⁵ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия, siroshchupkin@sevsu.ru

Аннотация. В данной статье представлен расчет прикладываемой силы на каркас беспилотной транспортной платформы на электродвижении. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации конструкции платформы для повышения ее прочности, устойчивости и долговечности в условиях эксплуатации. Полученные результаты показывают, что правильный расчет прикладываемых сил является ключевым аспектом для обеспечения надежности и безопасности беспилотной транспортной платформы. В заключении сформулированы рекомендации по улучшению конструкции каркаса и выбора материалов с учетом полученных данных. Применение навыков работы в КОМПАС-3D, а также изучение работы такого приложения как ANSYS.

Ключевые слова: беспилотная транспортная платформа, электродвижение, расчет силы, каркас.

ANALYSIS OF VARIOUS DESIGNS FOR MANUFACTURING THE FRAME OF A GROUND-BASED UNMANNED PLATFORM USING THE FINITE ELEMENT METHOD

- К.А. Golendukhin¹, Е.А. Kashenkova², А.Г. Kuznetsov³, Е.Е. Stepanova⁴, S.I. Roshchupkin⁵
¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, golendukhin.2002@mail.ru
²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, elizavetakasenkova1@gmail.com
³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, kuzn.andrey@mail.ru
⁴FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, oksst@mail.ru
⁵FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299053, Russia, siroshchupkin@sevsu.ru

Annotation. This scientific paper presents a calculation of the applied force on the frame of an unmanned electric-powered transport platform. The relevance of the research is due to the need to optimize the platform design to increase its strength, stability and durability under operating conditions. The results show that the correct calculation of the applied forces is a key aspect for ensuring the reliability and safety of an unmanned transport platform. In conclusion, recommendations are formulated to improve the design of the frame and the choice of materials, taking into account the data obtained. Applying the skills of working in COMPASS-3D, as well as studying the work of an application such as ANSYS.

Keywords: unmanned transport platform, electric propulsion, force calculation, frame.

Введение

При проектировании изделий одним из ключевых требований является прочность конструкции в процессе эксплуатации. Изделия одного и того же назначения могут быть реализованы в виде различных конструктивных решений и изготовлены по различным технологиям. Анализ различных вариантов конструкций и выбор наиболее оптимального из них, на этапе моделирования, позволит избежать большого количества ошибок в процессе его изготовления и поломок при эксплуатации.

Одним из наиболее распространенных в настоящее время методов анализа прочностных характеристик, является метод конечных элементов [1-5], реализованный в различных программных пакетах.

Цель данной работы заключается в том, чтобы провести комплексный анализ двух вариантов исполнения рамы беспилотной транспортной платформы, работающей на электродвижении, определить возникающие напряжения и деформации для выбора наиболее оптимального.

В рамках деятельности студенческого конструкторского бюро машино- и приборостроения Севастопольского Государственного Университета, разрабатывается универсальная наземная беспилотная платформа, которая может использоваться в любых сферах, как например, в сельском хозяйстве, для спасения людей и для других моделей применения. В связи с этим ее конструкция должна выдерживать большие нагрузки и при этом не деформироваться и не разрушаться.

Рама будет изготавливаться методом сварки из трубных заготовок.

В ходе проектирования транспортной беспилотной платформы встал вопрос из каких профильных труб лучше делать раму, так как она является несущей конструкцией в данном изделии.

1. Моделирование и анализ.

Рама в двух исполнениях проектировалась в среде КОМПАС-3D (рис. 1), а для конечно-элементного анализа экспортировалась в ANSYS Workbench в формате IGES.

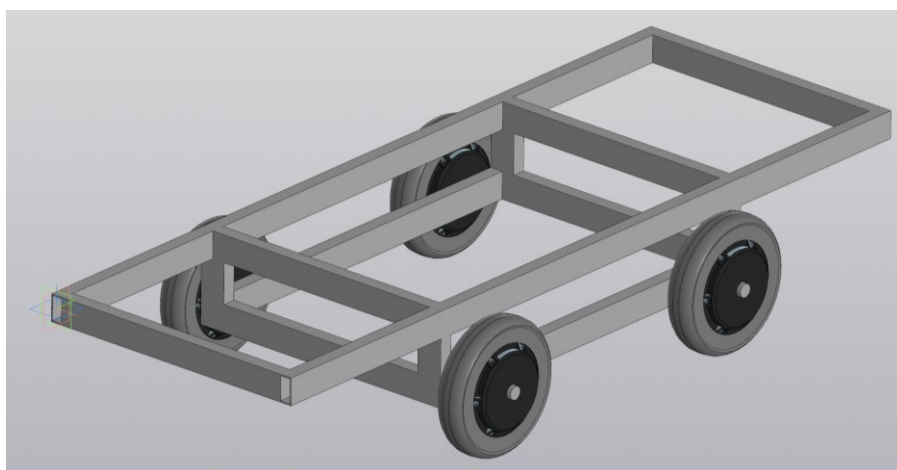


Рис.1. 3D модель платформы в среде КОМПАС-3D

При моделировании рассматривался только случай статического нагружения, динамические явления не учитывались. Колеса были исключены из анализа и рассматривались как абсолютно жесткие тела.

На рис. 2 представлены сетки конечных элементов для рамы из прямоугольной трубы размером 40x20 мм и из круглой трубы диаметром 32 мм, толщина стенок обеих труб – 2 мм. Конечная элементная сетка состоит из 11217 элементов для исполнения из прямоугольной трубы и 20934 для исполнения из круглой трубы.

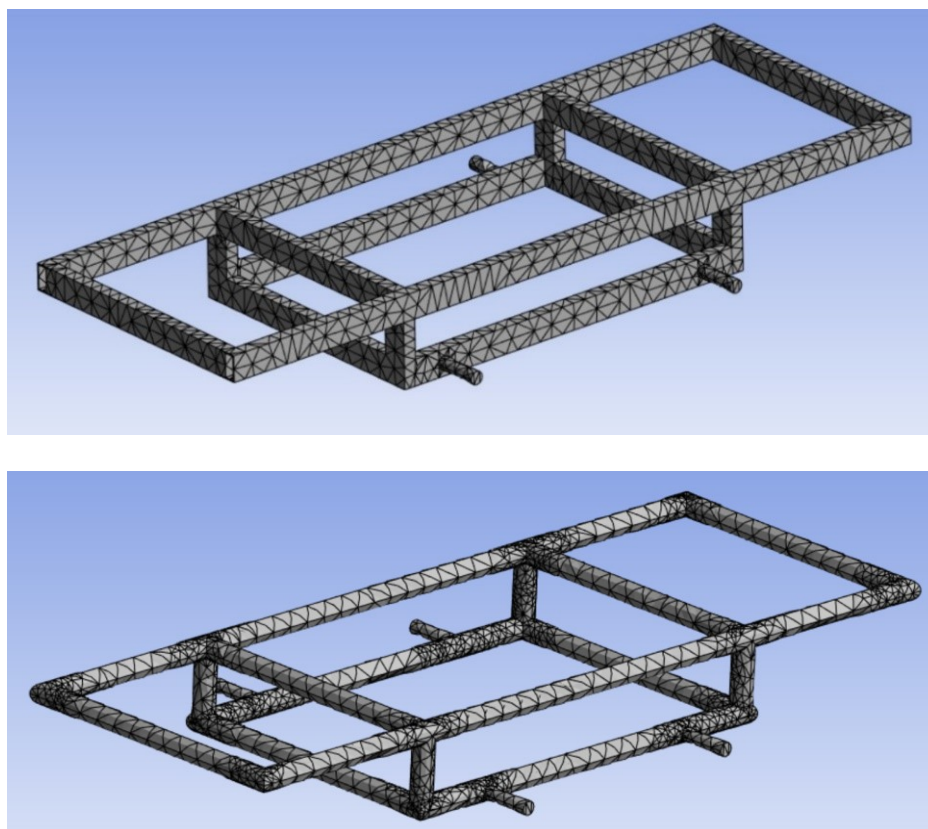


Рис. 2. Сетки конечных элементов

В результате моделирования деталь фиксировалась по осям колес и к верхней части прикладывалась сила 10000 Н (рис. 3). Для оценки прочности конструкции использовался критерий фон Мизеса.

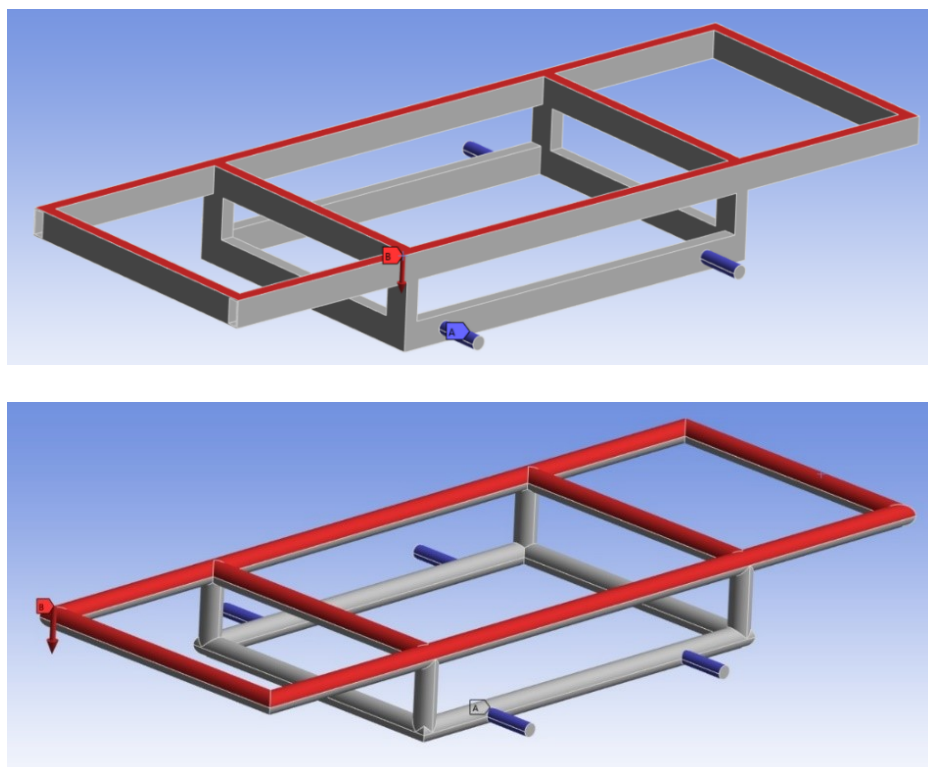


Рис. 3. Прикладываемая сила и её направление

В результате моделирования получены эпюры эквивалентных напряжений (рис. 4) и деформаций (рис.5)

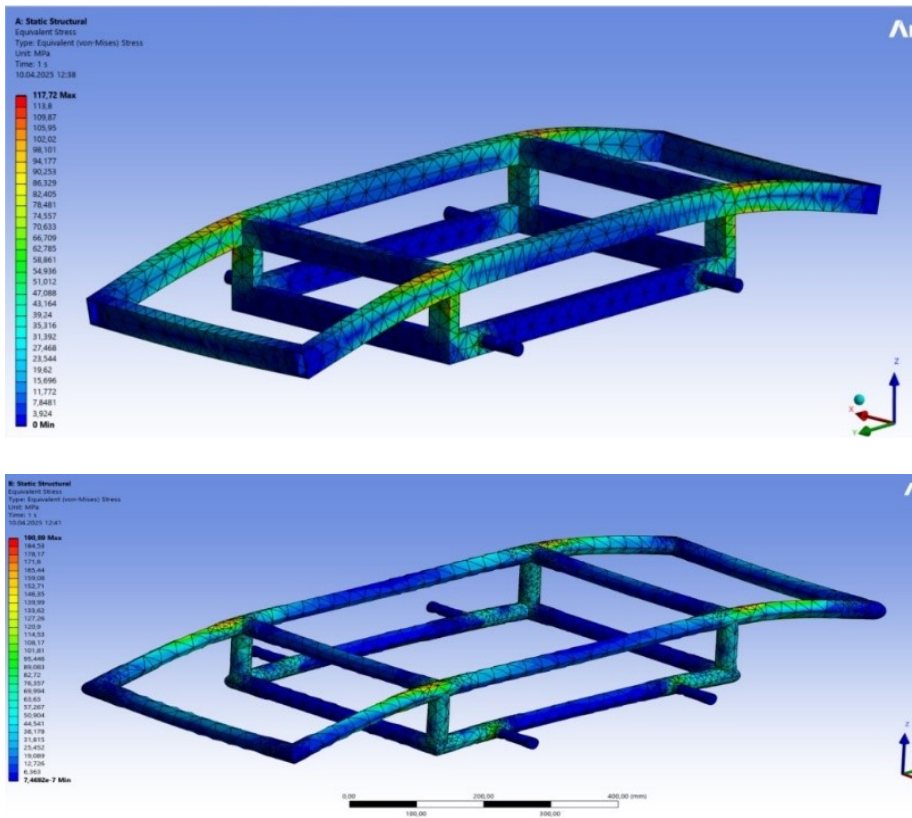


Рис. 4. 3D модель с изображением результатом напряжения

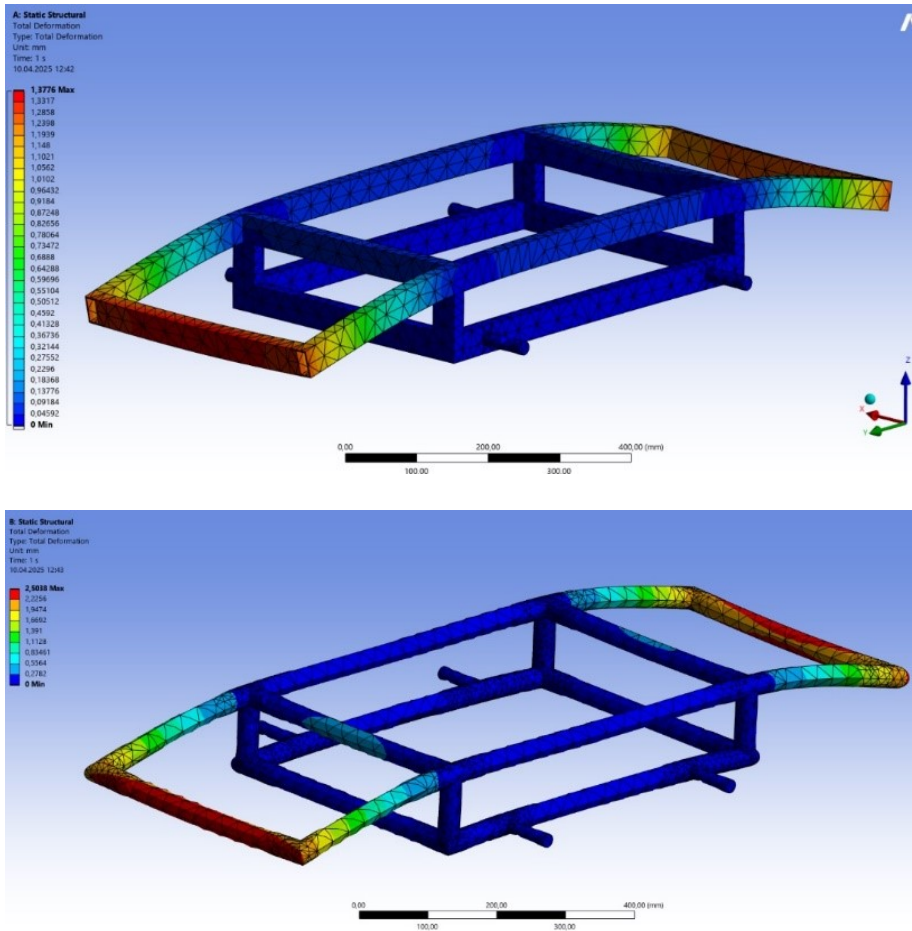


Рис. 5. Деформация после прикладываемой нагрузки

Заключение

Результат анализа показал, что максимальная деформация и напряжение у рамы из прямоугольной трубы составляет 1,4 мм и 117,72 МПа, а у рамы из круглой трубы – 2,5 мм и 184,53 МПа. Из этого можно сделать вывод, что наиболее лучшим вариантом будет являться макет из прямоугольных труб, так как под действием нагрузки деформируется меньше. Потому что у труб не круглого сечения хорошая прочность, благодаря ребрам жесткости и устойчивость к деформации.

Список литературы

1. Горелов, В.А. Технология анализа нагрузок ходовой системы гусеничного трактора / В.А. Горелов, А.И. Комиссаров, С.В. Гаев, М.В. Вязников // Актуальные проблемы развития ракетно-космической техники и систем вооружения. 2018. С. 245-253.
2. Вырко, Н. П. Анализ нагруженности элементов несущей рамы проектируемого сортиментовоза с применением средств конечно-элементного моделирования / Н. П. Вырко, А. М. Лось // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2006. – № 2. – С. 38-40. – EDN DFTKHA.
3. Барышников, Ю. Н. Расчет нагрузок на несущую систему транспортных средств / Ю. Н. Барышников // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 12(24). – С. 11. – EDN RSGRZL.
4. <https://cae-expert.ru/product/ansys-workbench>
5. <https://m-strana.ru/articles/profilnaya-truba-razmery-tablitsa/>

УДК 621.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛОВ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

М.А. Тараховский¹, А.Ю. Тараховский²

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, taroworkua@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, aytarakhovskiy@sevsu.ru

Аннотация. Статья изучает влияние ориентации 3D-печати на радиальное биение и цилиндричность цилиндрических деталей (валов). Рассмотрены варианты ориентации от 0° до 90° с шагом 30°. Методом послойного наплавления (FDM) изготовлены образцы разного размера, проведены многократные испытания для выявления зависимостей. Определены методики точного измерения радиального биения и цилиндричности с помощью специализированного оборудования. Установлено, что оптимальное сочетание минимальной деформации и максимальной точности достигается при ориентациях около 60-90°. Горизонтальная ориентация (0°) даёт наибольшее радиальное биение и нарушение цилиндричности, тогда как вертикальная (90°) обеспечивает наивысшую точность геометрии. Предоставленные рекомендации помогают выбрать оптимальный угол ориентации в зависимости от требуемой точности детали, повышая таким образом надёжность и качество 3D-печатных валов в производственных процессах.

Ключевые слова: 3D-печать, ориентация, радиальное биение, цилиндричность, FDM, образцы, измерения, горизонтальная ориентация, вертикальная ориентация, точность, деформация, геометрические характеристики, вал, послойное наплавление.

DETERMINING THE OPTIMAL ORIENTATION TO IMPROVE THE ACCURACY OF SHAFT MANUFACTURING USING 3D PRINTING

M.A. Tarakhovsky¹, A.Y. Tarakhovsky²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, taroworkua@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, aytarakhovskiy@sevsu.ru

Abstract. The article examines the effect of 3D printing orientation on the radial runout and the cylindrical shape of cylindrical parts (shafts). Orientation options from 0° to 90° in 30° increments are considered. Samples of various sizes were produced by the method of layer-by-layer deposition (FDM), and repeated tests were carried out to identify dependencies. The methods of accurate measurement of radial runout and cylindricity using specialized equipment are determined. It has been found that the optimal combination of minimal deformation and maximum accuracy is achieved at orientations of about 60-90°. The horizontal orientation (0°) provides the greatest radial runout and cylindrical disturbance, while the vertical (90°) provides the highest geometry accuracy. The recommendations provided help to choose the optimal orientation angle depending on the required accuracy of the part, thus increasing the reliability and quality of 3D-printed shafts in production processes.

Keywords: 3D printing, orientation, radial runout, cylindricity, FDM, samples, measurements, horizontal orientation, vertical orientation, accuracy, deformation, geometric characteristics, shaft, layered deposition.

Введение. Современные аддитивные технологии, такие как 3D-печать, стремительно развиваются и находят применение во многих отраслях промышленности благодаря своей гибкости и способности создавать детали сложной геометрии. Однако одним из ключевых факторов, определяющих успех применения 3D-печати, является обеспечение высокого качества конечного изделия [1 - 3]. Одним из важнейших показателей качества при производстве цилиндрических деталей, таких как валы, являются радиальное биение, отклонение от цилиндричности и механическая прочность. Эти параметры существенно влияют на эксплуатационные характеристики изделий, особенно в условиях динамических нагрузок [4, 5].

Одним из основных факторов, который влияет на качество 3D-печатных деталей, является ориентация модели относительно платформы принтера. Различные углы ориентации могут приводить к различным уровням механических напряжений, степени усадки материала и плотности слоев, что, в свою очередь, сказывается на всех перечисленных параметрах качества. В частности, правильная ориентация способна минимизировать радиальное биение, обеспечить большую точность формы и повысить общую прочность изделия [6 - 8].

Цель данного исследования заключается в определении оптимальной ориентации 3D-печати для валов, изготовленных методом послойного наплавления (FDM), с целью достижения минимальных значений радиального биения и отклонения от цилиндричности, а также максимизации механической прочности. Экспериментально будут исследованы пять вариантов ориентаций: 0°, 30°, 45°, 60° и 90°. Результаты помогут уточнить рекомендации по выбору наилучшей ориентации для повышения эффективности и надежности процесса 3D-печати валов в промышленных применениях.

Постановка проблемы. При использовании аддитивных технологий, таких как 3D-печать, одной из ключевых проблем остается достижение высокой точности геометрических форм и обеспечения необходимой прочности готовых изделий [9]. Для цилиндрических деталей, таких как валы, важными параметрами качества являются радиальное биение, отклонение от цилиндричности и механическая прочность. Эти показатели критически важны для долговечности и функциональной надежности деталей, особенно в условиях высоких нагрузок и вращения.

Однако существующие методики 3D-печати зачастую сталкиваются с трудностями в обеспечении стабильного качества из-за ряда факторов, включая ориентацию модели относительно печатной платформы []. Различная ориентация детали при печати может привести к неравномерному распределению механических напряжений, неоднородностям структуры материала и увеличению дефектов, что негативно сказывается на всех указанных показателях качества.

На сегодняшний день отсутствуют четкие рекомендации относительно оптимальной ориентации 3D-печати для цилиндрических деталей, что затрудняет процесс проектирования и производства высококачественной продукции. Данная проблема требует систематического изучения влияния ориентации на ключевые параметры качества, чтобы определить наиболее эффективные подходы к улучшению характеристик изготавливаемых деталей.

Изложение основного материала. Для определения оптимальной ориентации 3D-печати валов был проведен эксперимент, включающий несколько этапов. Сначала были подготовлены CAD-модели валов двух диаметров (10 мм и 20 мм) с длиной 70 мм и 80 мм соответственно. Центровые отверстия с углом 60° и глубиной 5 мм с обоих торцов сверлятся после печати, для исключения влияния печатных артефактов (непропечатанные участки, наплывы).

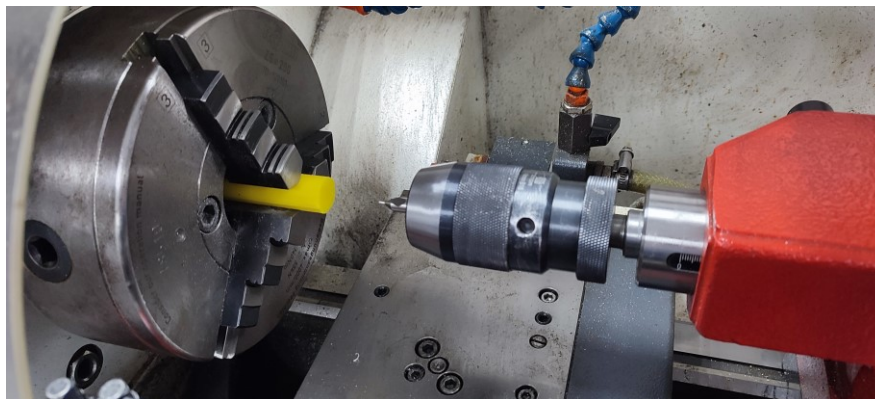


Рис. 1. Сверление центровых отверстий

Печать проводилась на FDM-принтере CREALITY K1 MAX с использованием PLA-материала и стандартных настроек: толщина слоя 0,2 мм, заполнение 100%, скорость печати первого слоя - 50 мм/с, последующие слои: внутренние стенки - 300 мм/с наружные стенки - 200 мм/с, температура сопла 220°C , охлаждение 100%. Подложка типа "Brim" шириной 5 мм обеспечивала надежное сцепление с платформой. Для наклонных валов, особенно тех, которые имели углы ориентации отличные от 0° и 90° , использовались автоматические поддержки типа tree (рис. 2). Поддержки такого типа представляют собой тонкие, ветвящиеся структуры, которые обеспечивают опору для нависающих частей модели во время печати. Они отличаются от традиционных поддержек своей повышенной эффективностью и экономичностью.



Рис. 11. Автоматические поддержки типа TREE

План испытаний

1. Количество образцов.

Для проведения всесторонних и достоверных испытаний было решено изготовить и протестировать серию образцов, учитывающую различные факторы, влияющие на качество 3D-печатных валов. Всего было произведено 30 образцов, что позволило учесть разнообразие как в размерах валов, так и в их ориентации при печати.

Расчет количества образцов проводился следующим образом:

- Два диаметра валов: 10 мм и 20 мм;
- Пять ориентаций печати: 0° , 30° , 45° , 60° и 90° ;

–Три повторения для каждой комбинации: для обеспечения статистической значимости результатов и исключения случайных ошибок.

Такое количество образцов гарантирует достаточную репрезентативность данных и возможность провести глубокий анализ влияния различных факторов на качество 3D-печатных валов.

2. Последовательность печати.

Для обеспечения объективности и устранения возможных систематических ошибок в результатах эксперимента, последовательность печати образцов была рандомизирована. Это означает, что порядок печати различных комбинаций диаметров и ориентаций был выбран случайным образом, чтобы исключить влияние внешних факторов, таких как изменение температуры окружающей среды или износ оборудования, на итоговые результаты.

Кроме того, все образцы печатались в строго контролируемых условиях, чтобы минимизировать воздействие переменных факторов на процесс. Температура в помещении и уровень влажности поддерживались постоянными на протяжении всего периода печати, что способствовало получению однородных результатов.

После завершения печати каждый образец выдерживался в течение 24 часов перед проведением измерений. Эта мера необходима для стабилизации материала, чтобы возможные остаточные напряжения, возникающие в процессе печати, успели релаксировать. Такой подход позволил получить более точные и воспроизводимые данные о качестве напечатанных валов.

Методика измерений.

1. Радиальное биение.

Для оценки радиального биения использовались высокоточные инструменты и стандартизированный метод измерения. Описание процедуры представлено ниже.

Оборудование:

- Индикатор часового типа с точностью измерения 0.01 мм;
- Индикаторная стойка.

Методика:

Подготовка образца: Вал устанавливается в центрах приспособления (рис. 3). Центры обеспечивают точное выравнивание оси вала и исключают дополнительные источники погрешности.



Рис. 3. Измерение образцов

Выбор точек измерения: Измерения проводятся в трёх поперечных сечениях вала:

- Первое сечение находится на расстоянии 20% от одного из концов вала;
- Второе сечение расположено ровно посередине вала (50% длины);
- Третье сечение находится на расстоянии 80% от другого конца вала.

Проведение измерений: Каждый участок проверяется с помощью индикатора часового типа. Вал медленно проворачивается на 360°, фиксируя максимальное отклонение от идеального круглого профиля в каждом сечении.

Обработка данных: Среднее значение радиального биения рассчитывается как среднее арифметическое из показаний в трёх сечениях. Этот показатель служит количественной характеристикой отклонения вала от правильной цилиндрической формы.

Данная методика позволяет точно и последовательно измерить радиальное биение для каждого образца, что является важным показателем качества 3D-печатных валов.

2. Цилиндричность.

Цилиндричность является важным параметром качества цилиндрических деталей, таких как валы. Она характеризуется степенью соответствия реальной формы детали идеальной цилиндрической форме. Отклонение от цилиндричности может повлиять на работоспособность и долговечность изделия. Для оценки цилиндричности использовались следующие оборудование и методика.

Оборудование:

–Микрометр с точностью измерения 0.01 мм.

Методика:

Выбор точек измерения:

Диаметр вала измерялся в восьми равноудалённых точках (через каждые 45°) в трёх поперечных сечениях.

Сечения выбирались аналогично методике измерения радиального биения: на расстояниях 20%, 50% и 80% от длины вала.

Процедура измерения:

В каждом сечении производилось восемь измерений диаметра через равные угловые интервалы (45°). Это позволяло охватить всю окружность вала и выявить любые локальные отклонения от идеально круглой формы.

Расчёт отклонения:

Для каждого сечения вычислялось максимальное ($D_{\max}$) и минимальное ($D_{\min}$) значение диаметра.

Отклонение от цилиндричности (ΔD) в каждом сечении определялось как разница между максимальным и минимальным диаметром: $\Delta D = (D_{\max} - D_{\min})$.

Среднее отклонение:

Итоговое отклонение от цилиндричности для каждого образца рассчитывалось как среднее арифметическое отклонений, полученных в трёх сечениях.

Эта методика позволила объективно оценить степень соответствия реальных валов идеальной цилиндрической форме, что является важным критерием качества 3D-печатных деталей.

Результаты и интерпретация.

После обработки результатов были получены средние значения радиального биения и отклонения от цилиндричности для каждого исследуемого образца. Эти показатели позволили сделать выводы относительно точности геометрии изготовленных валов и определить влияние технологии 3D-печати на конечное качество продукции. Полученные данные показали высокую повторяемость измерений и подтвердили эффективность разработанной методики для контроля качества печатных компонентов.

На основе анализа результатов измерений составлена сводная таблица (табл. 1), наглядно демонстрирующая качество исследуемых образцов.

Таблица 1. Анализ результатов измерений

Ориентация	Биение	Цилиндричность	Прочность
0°	Высокое	Низкая	Высокая
30°	Среднее	Средняя	Средняя
45°	Низкое	Хорошая	Средняя
60°	Очень низкое	Отличная	Низкая
90°	Минимальное	Лучшая	Самая низкая

Рекомендации по выбору ориентации:

- Для прецизионных применений: 60-90°
- Для нагруженных валов: 0-30°
- Компромиссный вариант: 45°

Заключение.

Исследование подтвердило значительное влияние ориентации 3D-печати на ключевые параметры качества цилиндрических деталей, таких как радиальное биение, отклонение от цилиндричности и механическая прочность. Полученные результаты показывают, что оптимальная ориентация зависит от конкретных требований к деталям и условий эксплуатации.

Основные выводы по каждому показателю:

1. Радиальное биение

Ориентация 90° показала минимальные значения радиального биения, что делает её предпочтительной для деталей, требующих высокой точности.

Напротив, ориентация 0° привела к высоким показателям биения, что ограничивает её использование в прецизионных приложениях.

2. Цилиндричность

Наибольшее соответствие идеальной цилиндрической форме достигнуто при ориентациях 60° и 90°, где наблюдается минимальная вариация диаметров.

Плохие результаты зафиксированы при ориентации 0°, характеризующейся значительной деформацией цилиндрической формы.

Оптимизация ориентации печати позволит значительно повысить качество и надежность 3D-печатных валов, расширяя возможности применения аддитивных технологий в промышленном производстве.

Список литературы

1. Аддитивные технологии. Современные методы 3D-печати : Учебно-методическое пособие для обучающихся по направлениям подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника; 09.03.04 – Программная инженерия; 27.03.03 – Системный анализ и управление; 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств / С. Г. Менюк, В. В. Дядичев, Г. Р. Биленко, Д. С. Менюк. – Симферополь : ООО "Издательство Типография "Ариал", 2024. – 114 с. – ISBN 978-5-907819-57-3.
2. Тараховский, А. Ю. Аддитивные технологии для стендового моделизма / А. Ю. Тараховский, А. А. Иваник // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2024. – № 14. – С. 42-45. – DOI 10.26160/2541-8637-2024-14-42-45.
3. Пышкин, А. А. Аддитивные технологии в современном мире / А. А. Пышкин, Е. Г. Ковтун, А. Ю. Тараховский // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования : Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 13–15 мая 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 83-85. – EDN YNQEQS.
4. Гневашев, Д. А. Исследование зависимости шероховатости поверхности изделий, получаемых методом FDM / FFF-печати и ее влияние на текучесть металлопорошковых композиций / Д. А. Гневашев, Д. Ю. Петрищев // Технология металлов. – 2025. – № 2. – С. 15-26. – DOI 10.31044/1684-2499-2025-0-2-15-26.
5. Оптимизация процессов FDM-печати для аддитивного производства деталей: проблемы и решения / М. В. Гаврилов, Н. Г. Мустафаев, Е. А. Романов, С. В. Степанцов // Наука XXI века: становление, развитие, прогнозы : Монография. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства "Новая Наука" (ИП Ивановская И.И.), 2025. – С. 187-204.
6. Чабаненко, А. В. Управление качеством аддитивного производства / А. В. Чабаненко // Стандарты и качество. – 2024. – № 7. – С. 92-98. – DOI 10.35400/0038-9692-2024-7-323-23.
7. Тараховский, А. Ю. Оптимизация выбора материалов для 3D-печати (FDM): влияние теплового расширения и механических свойств / А. Ю. Тараховский // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования : сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 12–14 февраля 2025 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2025. – С. 49-54.
8. Гневашев, Д. А. Исследование механических свойств полимерных материалов для изготовления элементов измерительных приборов технологией аддитивного производства / Д. А. Гневашев, Е. В. Терехин // Технология металлов. – 2025. – № 3. – С. 12-21. – DOI 10.31044/1684-2499-2025-0-3-12-21.
9. Аддитивные технологии в образовании и современном производстве / А. Н. Хаулин, А. П. Быкова, Е. А. Воденисов, М. П. Горожанова // Школа и производство. – 2024. – № 3. – С. 37-43. – DOI 10.47639/0037-4024_2024_3_37-43.
10. Киселева, А. Е. Влияние технологических режимов FDM-печати на физико-механические характеристики изделий из полилактида / А. Е. Киселева, Н. С. Шмакова // Цифровое общество: образование, наука, карьера : сборник научных трудов, Москва, 17 апреля 2024 года. – Москва: Российский биотехнологический университет, 2024. – С. 60-69.
11. Хакимов, Т. М. Исследование влияния режимов 3D-печати на точность размеров изделий / Т. М. Хакимов, Д. Ю. Кряжев // Модели и методы развития технологий машиностроения в условиях цифровизации экономики России : Сборник статей / Под редакцией А.А. Поповича, Д.П. Гасюка. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 3-7.
12. Тараховский, А. Ю. Реверсинжиниринг клипсы крепления светильника / А. Ю. Тараховский, М. А. Тараховский // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования : сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 12–14 февраля 2025 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2025. – С. 55-61.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ С МАРКЕРАМИ И СОЗДАНИЕ ТОЧНОЙ CAD МОДЕЛИ КРОНШТЕЙНА СРЕДСТВАМИ КОМПАС 3D

М.А. Тараховский¹, А.Ю. Тараховский²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, taroworkua@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, aytarakhovskiy@sevsu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные методы и инструменты трёхмерного моделирования, широко используемые в современном промышленном проектировании. Описываются ключевые технологии компьютерного проектирования (CAD), обратного инжиниринга и лазерного сканирования, применяемых для создания высокоточных цифровых моделей деталей и механизмов. Акцент сделан на этапах восстановления утраченной конструкторской документации методом обратного инжиниринга с использованием российских программных комплексов, таких как КОМПАС-3D. Подробно изложены практические шаги: подготовка поверхности детали, выполнение сканирования, обработка полигональной сетки, преобразование её в твердотельную модель и последующее оформление конструкторской документации.

Ключевые слова: трёхмерное моделирование, CAD-технологии, обратный инжиниринг, лазерное сканирование, КОМПАС-3D, цифровая модель, конструкторская документация, детали механизма, твердотельная модель, полигональная сетка, подготовка поверхности, обработка данных, точность измерений, система координат, промышленное проектирование.

PRACTICAL APPLICATION OF MANUAL LASER SCANNING TECHNOLOGY WITH MARKERS AND CREATION OF AN ACCURATE CAD MODEL OF THE BRACKET USING COMPASS 3D

M.A. Tarakhovsky¹, A.Y. Tarakhovsky²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, taroworkua@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, aytarakhovskiy@sevsu.ru

Abstract. The article discusses current methods and tools of three-dimensional modeling, widely used in modern industrial design. The key technologies of computer-aided design (CAD), reverse engineering, and laser scanning used to create high-precision digital models of parts and mechanisms are described. The emphasis is placed on the stages of restoration of lost design documentation by reverse engineering using Russian software systems such as COMPASS-3D. Practical steps are described in detail: preparing the surface of the part, performing scanning, processing the polygonal mesh, converting it into a solid-state model, and then completing the design documentation.

Keywords: three-dimensional modeling, CAD technologies, reverse engineering, laser scanning, COMPASS 3D, digital model, design documentation, mechanism details, solid-state model, polygonal grid, surface preparation, data processing, measurement accuracy, coordinate system, industrial design.

Введение. Трёхмерное моделирование стало неотъемлемой частью проектирования, инженерии и изготовления продукции во многих отраслях промышленности, включая машиностроение, авиационно-космическую отрасль, автомобилестроение, архитектуру и даже медицину. Сегодня существует целый ряд эффективных инструментов и технологий, позволяющих создавать высокоточные цифровые модели компонентов, узлов и конструкций.

Рассмотрим наиболее значимые современные подходы и методы трёхмерного моделирования.

1. CAD-технологии (Computer-Aided Design).

CAD-программы обеспечивают возможность разработки детализированных трехмерных моделей и чертежей. Наиболее известные решения включают Autodesk Inventor, SolidWorks, Siemens NX, PTC Creo, КОМПАС-3D и другие. Они позволяют инженерам создавать точные модели деталей и сборочных единиц, учитывая различные аспекты геометрии, материалов и функциональности изделия.

Ключевые особенности:

–Параметрическое проектирование позволяет легко изменять размеры и формы элементов.

–Интеграция с системами инженерных расчетов (CAE), управления технологическими процессами (CAM) и управлением жизненным циклом продукта (PLM).

–Инструменты визуализации и фотореалистичного рендеринга для демонстрации проектов клиентам и партнёрам.

2. Обратное инжиниринговое моделирование (Reverse Engineering).

Эта технология направлена на восстановление цифровых моделей существующих физических объектов. Она применяется в случаях модернизации устаревшего оборудования, реконструкции редких или уникальных деталей и восстановления утраченных документов конструкторской документации.

Основные методы обратного инжиниринга:

–Контактные измерительные приборы (координатно-измерительные машины, штангенциркули).

–Бесконтактные оптические методы (лазерные сканеры, структурированные световые датчики).

–Комбинированные системы (маркерные лазерные системы).

При обратном инжиниринге используются специализированные ПО такие как Geomagic, Polyworks, Reverse для преобразования необработанных данных в пригодные для дальнейшей обработки файлы CAD.

3. Лазерное и оптическое сканирование.

Эти методы применяются для быстрого и точного сбора информации о форме и размерах объектов. Благодаря современным лазерным сканирующим устройствам можно получать миллионы точек с минимальным временем обработки и минимальной погрешностью.

Преимущества:

–Высокая скорость и производительность.

–Бесконтактность и безопасность эксплуатации.

–Совместимость с широким спектром поверхностей (металлы, пластики, композитные материалы).

Однако существуют некоторые ограничения, связанные с качеством покрытия поверхности и наличием бликов, отражающих свойств материала, которые требуют специальной подготовки поверхности перед сканированием.

Постановка проблемы. Необходимо восстановить утраченную конструкторскую документацию детали — металлического кронштейна (рис. 1).



Рис. 1. Кронштейн

Изложение основного материала.

Для решения данной задачи предлагается следующий алгоритм действий:

Этап подготовки. Провести предварительную подготовку поверхности кронштейна перед сканированием: очистить от загрязнений, обезжирить поверхность, исключить блики и зеркальные отражения.

Этап сканирования. Выполнить высокоточное трехмерное сканирование металлической детали с использованием ручного лазерного сканера Scanform L5 (рис. 2). Полученная информация должна содержать точную геометрию и размеры кронштейна.

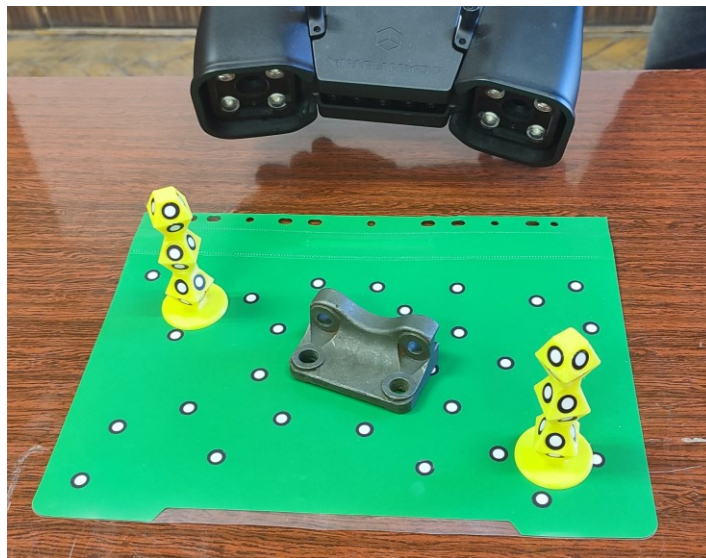


Рис. 2. Процесс сканирования кронштейна

При трёхмерном сканировании использование специальных приспособлений и меток является важным этапом для повышения точности результатов и упрощения процесса обработки данных.

Основные цели использования меток и многогранных пирамид:

1. Обеспечение совмещения фрагментов:

Металлический объект часто невозможно охватить одним проходом сканера требуется нескольких позиций относительно сканируемой детали. Метки помогают объединить отдельные фрагменты сканирования («сканы») в единую пространственную систему координат. Они служат ориентирами для программного обеспечения, позволяя автоматически совмещать части одного объекта между собой.

2. Необходимость наличия минимум четырёх меток в кадре объясняется следующим образом:

Программа сопоставляет координаты каждой пары точек (меток), вычисляя оптимальное преобразование матрицы для точного наложения отдельных сканов друг на друга.

Четыре точки минимально необходимы для определения ориентации и положения плоскости, обеспечивающей надёжность совмещения.

Таким образом, наличие хотя бы четырех видимых меток гарантирует точное позиционирование каждого нового участка относительно предыдущего и предотвращает накопление погрешности.

3. Повышение точности измерений:

Использование меток позволяет снизить влияние внешних факторов, таких как изменение освещения, небольшие смещения устройства во время съёмки или неоднородность материала детали. Многогранные пирамиды обеспечивают дополнительную точность благодаря фиксированным расстояниям между своими вершинами и легко распознаваемым узором.

Обработка полученных данных.

Преобразование полигональной сетки в трёхмерную твёрдотельную модель — задача довольно распространённая в инженерии и дизайне, особенно при работе с результатами лазерного сканирования.

Основные этапы процесса.

Этап 1: Исправление дефектов сетки

Из-за особенностей процедуры сканирования возможны дефекты в сетке (например, дыры, лишние грани, шумовые точки). Для исправления дефектов сетки используем ПО Scanform_3, поставляемое со сканером. Используем инструменты проверки геометрии («Анализ модели») для выявления проблемных участков. Потом удаляем лишние полигоны, сглаживаем поверхность там, где обнаружены разрывы. Заполняем отверстия, используя команды восстановления сетки («Заполнить отверстие», «Удалить лишнюю геометрию») (рис. 3).

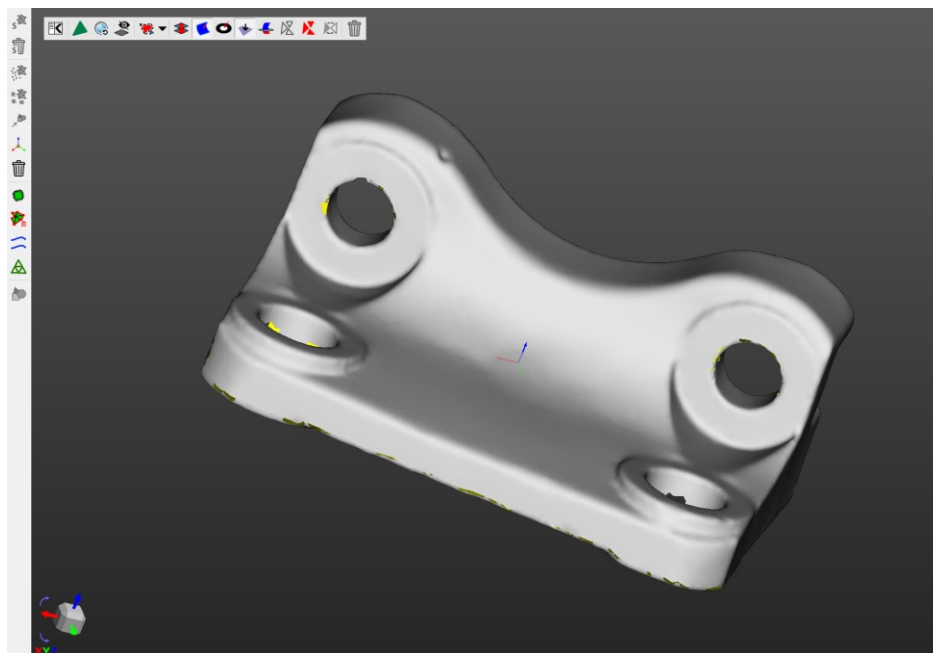


Рис. 3. Процесс исправления дефектов сетки

Этап 2: Импорт данных в формате *.STL. Этот файл содержит информацию о вершинах, рёбрах и гранях полигонов (рис. 4).

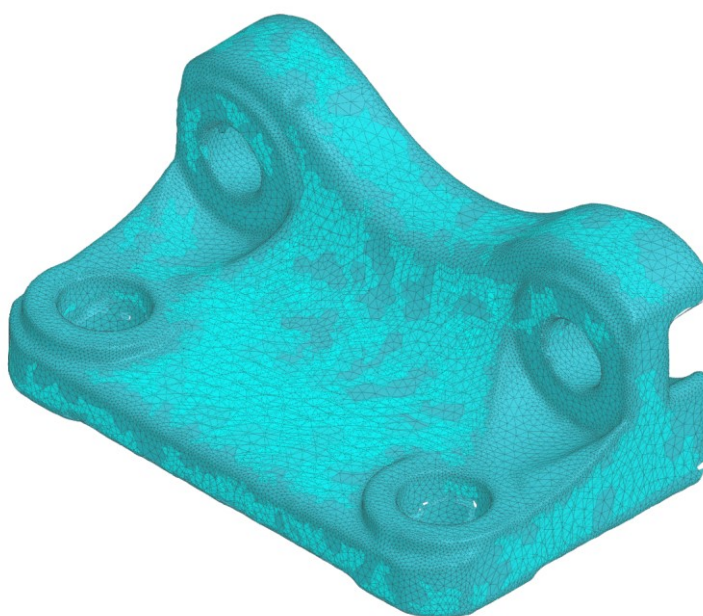


Рис. 4. Полигональная сетка кронштейна

Далее рассмотрим подробно процесс преобразования данных в среде отечественной CAD-системы КОМПАС-3D версии 23.

Этап 3: Устанавливаем локальную систему координат.

Перед началом дальнейших операций важно правильно расположить объект относительно системы координат. Создаём новую систему координат в нужном месте объекта. Выравниваем модель по новой оси, это обеспечит правильное позиционирование для последующих операций.

Этап 4: Подгонка поверхности

Цель операции — создать гладкую поверхность, соответствующую оригинальной форме объекта. Выделяем участки полигональной сетки, подлежащие преобразованию. Применяем инструмент «Подгонка поверхности». Этот инструмент автоматически создаёт NURBS-поверхности, точно соответствующие выбранному участку полигональной сетки. Повторяем процедуру для всех нужных областей объекта (рис. 5).

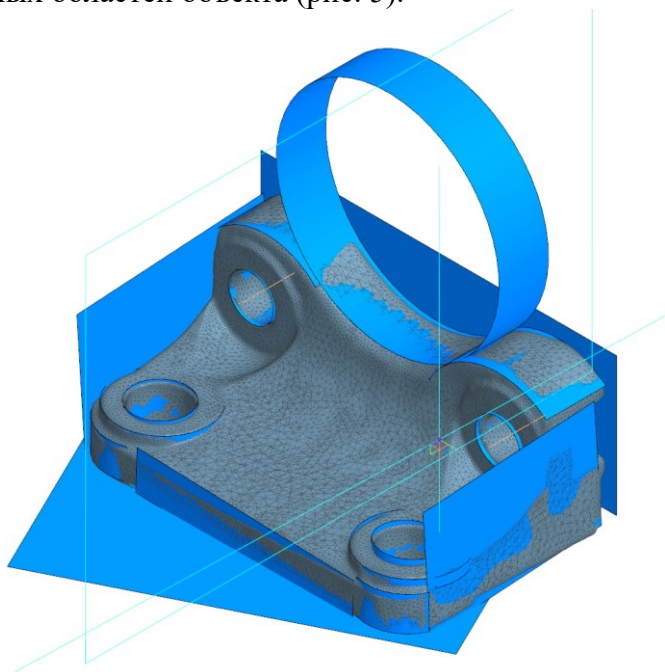


Рис. 5. Подгонка поверхности

Этап 5: Создание единой поверхности.

Теперь нужно объединить отдельные поверхности в единую оболочку. Проверяем ориентацию нормалей каждой поверхности. Объединяем поверхности командой «Сшить поверхности», при этом необходимо убедиться, что объединённые поверхности образуют замкнутый объём без разрывов.

Этап 6: Построение твёрдотельной модели

Чтобы завершить переход от поверхностной модели к твёрдотельной, необходимо выполнить команду «Сшивки поверхностей» с созданием тела.

Создание чертежей и конструкторской документации. Далее необходимо разработать полный комплект конструкторской документации на основании полученной твёрдотельной модели, включающий необходимые виды, разрезы, сечения, спецификации материалов и другие элементы, требуемые стандартами ГОСТ и нормативными требованиями предприятия.

Заключение.

Описанная методика, основанная на применении российского программного комплекса КОМПАС-3D и техники обратного инжиниринга, показала высокую эффективность в задаче восстановления утраченного конструкторского документа. Проанализированы основные этапы процесса — от подготовительных процедур и сканирования до создания полноценной цифровой модели и оформления необходимой документации.

Таким образом, комплексный подход, использующий современные средства лазерного сканирования и САД-решения, способен существенно упростить работу инженера-проектировщика, ускорить процессы разработки и повысить точность изготовленных изделий. Практическая значимость рассмотренных методов делает их востребованными в современной промышленности и сфере технического обслуживания.

Список литературы.

1. Лутьянов, А. В. Обратное проектирование деталей с отверстиями с использованием технологии 3D-сканирования / А. В. Лутьянов, А. В. Кислова // *Технология металлов*. – 2024. – № 1. – С. 21-24. – DOI 10.31044/1684-2499-2024-0-1-21-24.
2. Тараховский, А. Ю. Реверс-инжиниринг коленчатого вала компрессора / А. Ю. Тараховский, И. А. Смирнов // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. – 2023. – № 18. – С. 91-97. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-18-91-97.
3. Области применения 3D сканера Scanform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scanform.ru/application/areas-of-use/>, свободный (дата обращения: 11.01.2025). – Загл. с экрана.
4. Болбасов, Р. А. Схема работы триангуляционного лазерного 3D-сканера и расчёт погрешности измерений / Р. А. Болбасов, З. Д. Климашевич, А. О. Линкевич // *Лучшая научно-исследовательская работа 2024 : сборник статей VI Международного научно-исследовательского конкурса*, Пенза, 30 апреля 2024 года. – Пенза: Международный центр научного сотрудничества "Наука и Просвещение", 2024. – С. 7-10.
5. Саса, Д. А. Создание методики повышения производительности процесса создания твердотельной 3-D модели из реального объекта с помощью оптического сканера / Д. А. Саса, А. Ю. Тараховский // *Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых*, Севастополь, 19–22 апреля 2021 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2021. – С. 49-55.
6. Тараховский, А. Ю. Трехмерное моделирование объекта на основе данных лазерного 3D сканирования / А. Ю. Тараховский // *Автоматизированное проектирование в машиностроении*. – 2023. – № 14. – С. 16-19. – DOI 10.26160/2309-8864-2023-14-16-19.
7. Саса, Д. А. Использование многофункционального измерительного манипулятора для контроля параметров получаемых после механической обработки / Д. А. Саса, А. Ю. Тараховский // *Вестник современных технологий*. – 2020. – № 3(19). – С. 54-59.
8. Тараховский, А. Ю. Реверс инжиниринг импеллера / А. Ю. Тараховский, М. А. Тараховский, И. А. Кинаш // *Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования : Сборник статей всероссийской научно-практической конференции*, Севастополь, 13–15 мая 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 41-45.
9. Кильдюшов, Л. С. Что такое 3D-сканер и как он работает / Л. С. Кильдюшов, Н. В. Береза // *Проблемы развития науки и образования в эпоху модернизации : Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции*, Ростов-на-Дону, 20 апреля 2023 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Манускрипт", 2023. – С. 102-105.
10. Мишкина, К. А. Выбор и обоснование применения 3D сканирования в реверс-инжиниринге / К. А. Мишкина, Р. С. Чернов, Ю. О. Стреляная // *Современные технологии и реверс-инжиниринг : Сборник статей Всероссийских научно-практических конференций*, Севастополь, 17 апреля – 12 2023 года / Гл. редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 206-208.
11. Золотарев, Д. С. Сравнительный анализ 3D сканеров и программного обеспечения для обратного проектирования / Д. С. Золотарев // *Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : Материалы V Международной научной конференции*, Красноярск, 21 ноября 2024 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 252-258.
12. Польшваный, Ю. В. Перспективы 3D моделирования, прототипирования и реверс-инжиниринга для АПК России / Ю. В. Польшваный, А. В. Яшин, Л. А. Сычева // *Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации : Сборник статей Международной научно-практической конференции*, Пенза, 03–07 мая 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 404-409.
13. Кутин, А. А. Реверс инжиниринг для восстановления поврежденных деталей в машиностроении / А. А. Кутин, А. В. Кислова // *Перспективные материалы и технологии (ПМТ-2024) : Сборник докладов Международной научно-технической конференции ИПТИП РТУ МИРЭА*, Москва, 12–16 апреля 2024 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2024. – С. 186-189.

МНОГОЦВЕТНАЯ FDM-ПЕЧАТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ AMS: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

П.П. Иощенко¹, Е.А. Цицюрская², А.Ю. Тараховский³

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, pavlovich-2004@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, elenatsi1990@gmail.com

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, aytarakhovskiy@sevsu.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию современных технологий мультиматериальной 3D-печати, раскрывая их потенциал и значимость для современного промышленного производства. Рассматриваются ключевые подходы к реализации многосоставных печатных процессов, включая систему автоматического переключения материалов (AMS) и технологию независимой двойной экструзии (IDEX). Анализируются преимущества и недостатки каждой методики, выделяются факторы выбора оптимального подхода, способствующего повышению качества и эффективности выпуска сложных изделий с требуемым набором физико-химических свойств. Результаты работы полезны специалистам инженерии, конструкторам и предпринимателям, заинтересованным в применении передовых аддитивных технологий.

Ключевые слова: мультиматериальная 3D-печать, аддитивное производство, автоматическое переключение материалов (AMS), независимая двойная экструзия (IDEX), преимущества и недостатки, критерии выбора, промышленное применение, адгезионные свойства, оптимизация процесса печати, новые аддитивные технологии.

MULTICOLOR FDM PRINTING USING THE AMS SYSTEM: POSSIBILITIES AND LIMITATIONS

P.P. Ishchenko¹, E.A. Tsitsyurskaya², A.Y. Tarakhovsky³

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, pavlovich-2004@mail.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, elenatsi1990@gmail.com

³FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, aytarakhovskiy@sevsu.ru

Abstract. The article is devoted to the study of modern technologies of 3D multimaterial printing, revealing their potential and importance for modern industrial production. Key approaches to the implementation of multi-component printing processes are considered, including the automatic material switching system (AMS) and the independent double extrusion technology (IDEX). The advantages and disadvantages of each technique are analyzed, and the factors of choosing the optimal approach are highlighted, contributing to improving the quality and efficiency of manufacturing complex products with the required set of physico-chemical properties. The results of the work are useful to engineers, designers and entrepreneurs interested in applying advanced additive technologies.

Keywords: Multimaterial 3D printing, additive manufacturing, automatic material switching (AMS), independent dual extrusion (IDEX), advantages and disadvantages, selection criteria, industrial application, adhesion properties, printing process optimization, new additive technologies.

Введение

Развитие технологий аддитивного производства привело к появлению инновационных решений, среди которых выделяется мультиматериальная 3D-печать — метод изготовления объектов, включающих различные материалы в одном производственном цикле [1, 2]. Такая технология расширяет границы возможностей проектирования и производства [3], позволяя совмещать в изделиях жесткие и мягкие элементы [4, 5], проводящие электричество компоненты и изоляторы [6], обеспечивая уникальные комбинации свойств.

Цель исследования — изучении особенностей и перспектив развития мультиматериальной 3D-печати, анализе существующих подходов и технологий, выявлении преимуществ и недостатков каждого метода, а также определении факторов, влияющих на выбор оптимальной стратегии при производстве изделий с использованием данной

технологии. Исследование направлено на повышение эффективности процессов разработки и производства изделий сложной структуры, обладающих комбинациями специфических характеристик, таких как прочность, эластичность, электрическая проводимость и теплопередача.

Изложение основного материала.

Мультиматериальная 3D-печать – это технология, позволяющая создавать объекты, состоящие из нескольких различных материалов в рамках одного процесса печати. Это открывает широкие возможности для создания сложных изделий с уникальными свойствами, сочетающими в себе жесткость, гибкость, теплопроводность, электропроводность и другие характеристики. Существует несколько способов реализации мультиматериальной 3D-печати/

Системы типа AMS (Automatic Material Switching) представляют собой продвинутые решения, позволяющие значительно повысить функциональность и удобство эксплуатации 3D-принтеров с единственным экструдером. Благодаря наличию специальных сенсоров и автоматизированных механизмов такие устройства способны автоматически определять тип используемого материала и осуществлять замену нити прямо в ходе процесса печати, если требуется применить больше одной катушки пластика различного цвета или иных физических свойств (рис. 1).

Основные преимущества такой системы заключаются в следующем:

- Удобство управления процессом печати благодаря автоматической смене материала.
- Минимизация ручного вмешательства оператора, особенно при длительном или сложном проекте.
- Расширенные возможности комбинирования цветов и свойств изделия в пределах одного рабочего цикла.



Рис. 1. Принтер X1 Carbon производства компании “Bambu Lab” оснащенный модулем AMS

Тем не менее, подобные системы имеют важные ограничения и недостатки:

1. Ограниченность совместимости материалов: АМС-система не способна эффективно сочетать полимеры, сильно различающиеся по химическому составу. Например, невозможно одновременно применять PLA и ABS пластики из-за различия температур плавления и механических свойств. Из-за этого пользователи ограничены выбором похожих типов пластиков.

2. Повышение расхода материала: Для качественной печати и предотвращения дефектов в местах перехода между материалами устройство должно производить очистку

головки и удаление остатков предыдущего материала перед подачей нового. Этот процесс неизбежно ведет к дополнительному расходу сырья, увеличивая затраты на производство.

3. Увеличение продолжительности печати: Процесс автоматической замены нитей требует дополнительного времени на выполнение промежуточных операций очистки сопла и изменения температуры нагрева. Эти задержки существенно увеличивают общее время выполнения заданий, снижая производительность принтера и замедляя скорость вывода готового продукта.

Более выгодной альтернативой традиционным однокатушечным системам являются современные трехмерные принтеры с уникальной кинематической схемой IDEX (Independent Dual Extrusion), предусматривающей наличие независимых головок экструзии [7]. Такой подход позволяет одновременно подавать и обрабатывать два совершенно разных материала, исключая необходимость прерывания процесса печати для смены материалов.

Принтеры с независимой двойной экструзией обеспечивают параллельную работу двух отдельных головок, каждая из которых оснащена собственным экструдером. Это означает, что оба материала могут подаваться одновременно, создавая сложные композитные детали с различными физическими и механическими свойствами.

Одним из ярких примеров является российский принтер VOSTOK (рис. 2), разработанный командой инженеров K3D. Устройство демонстрирует высокую эффективность и универсальность, реализуя широкий спектр функций в области мультитечания.

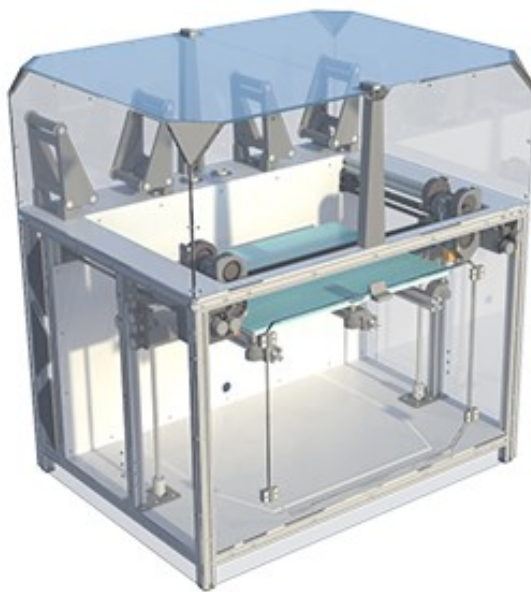


Рис. 2. Принтер VOSTOK с кинематикой IDEX, созданный K3D

Преимущества IDEX-систем:

- **Эффективность мульти-материального производства:** Отсутствие временных задержек на смену материала обеспечивает значительную экономию времени и ресурсов, поскольку печать осуществляется непрерывно, используя оба материала одновременно.
- **Одновременная печать двух одинаковых деталей:** Каждая головка может использоваться отдельно для параллельной печати абсолютно идентичных элементов, вдвое повышая общую производительность.
- **Интеграция с системами AMS:** Такие устройства легко адаптируются к дополнительным технологиям вроде Automatic Material Switching, предоставляя пользователям дополнительные опции настройки и повышения функциональности своего оборудования.

Недостатки IDEX-систем:

1. **Высокая стоимость:** Поскольку оборудование включает два полноценных экструдера и дополнительный набор компонентов, стоимость IDEX-принтеров заметно превышает цену стандартных моделей.

2. **Сложность сборки и обслуживания:** Конструкция устройства сложнее, что увеличивает сложность монтажа, диагностики неисправностей и ремонта. Пользователи часто сталкиваются с проблемами калибровки и регулировки, что требует определенных технических навыков.

3. **Габаритные размеры:** Наличие второго экструдера и вспомогательных узлов делает принтеры крупногабаритными, занимающими больше пространства на рабочем столе или производственной площадке.

Сравним производительность системы IDEX (рис. 3) и принтера X1C оснащенный AMS (рис. 4) на примере калибровочного куба, для печати которого будет использовано 2 цвета.

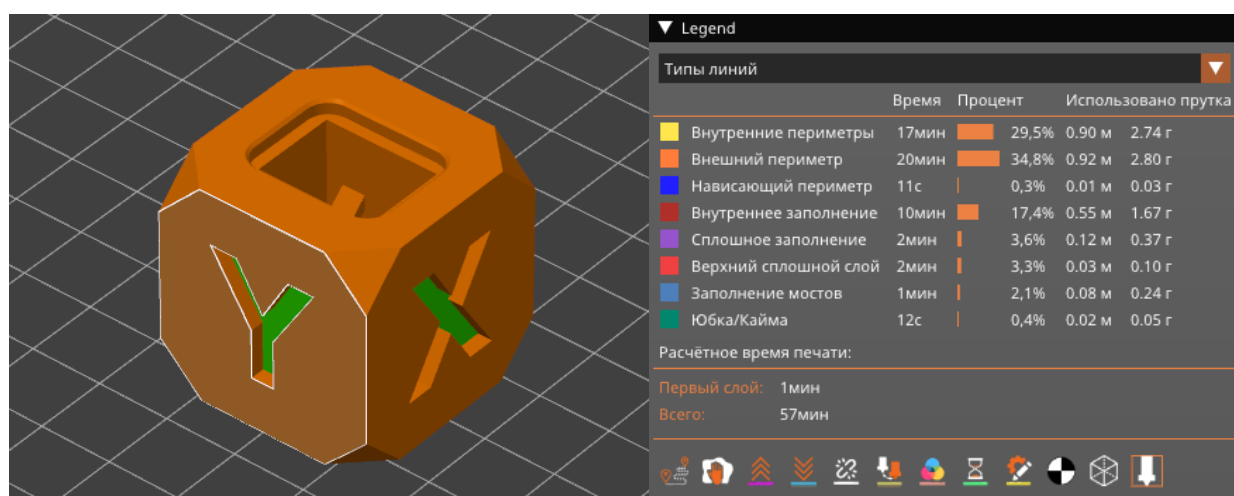


Рис. 3. Расчет времени для принтера с кинематикой IDEX.

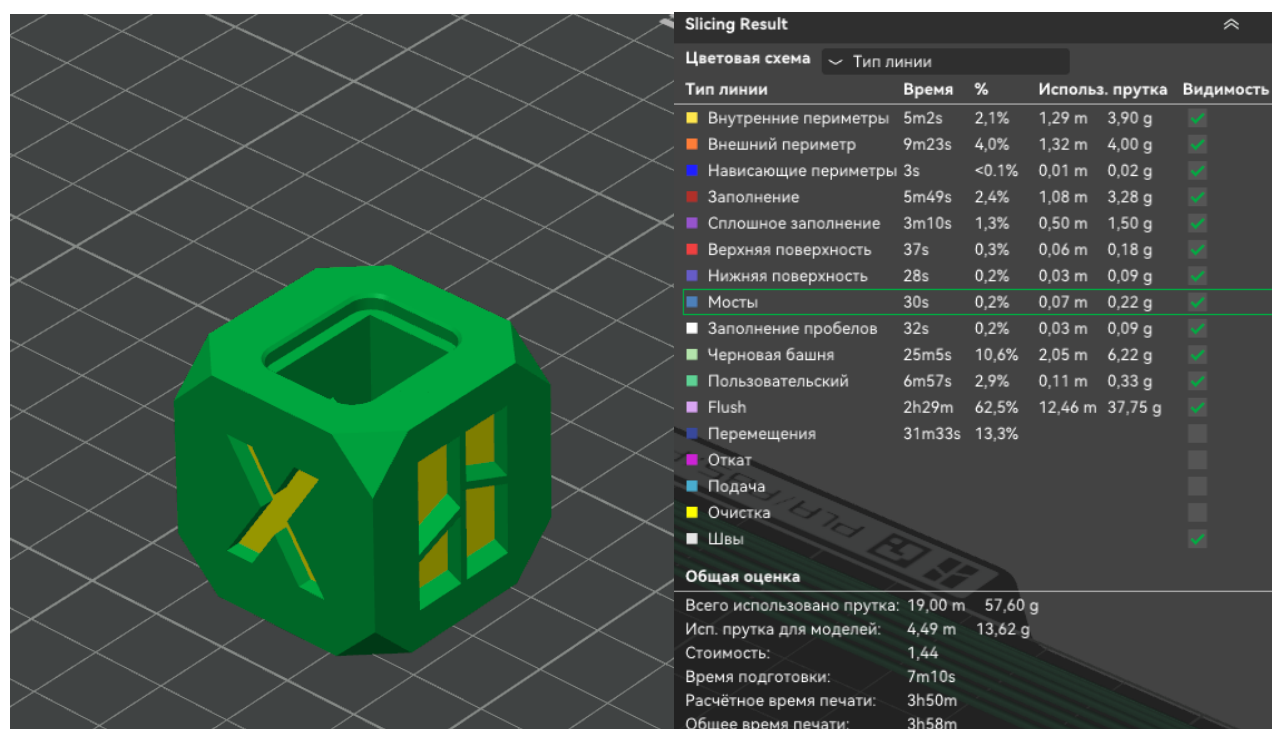


Рис. 4. Расчет времени для принтера Bambulab.

На основе расчета затраченного времени на выполнение задания следует, что система IDEX не только выполнит задание быстрее, но и затратит меньше материала, более 75%

материала уйдет в утиль. На данном примере хорошо заметны все недостатки и преимущества двух различных способов многоцветной печати. Метод IDEX обеспечивает более высокую точность и качество печати, а также возможность использования различных материалов одновременно. Кроме того, IDEX снижает риск смешивания цветов и загрязнения сопел, этот подход позволяет лучше контролировать процесс печати и позволяет совмещать не только разные цвета но и разные полимеры, что особенно важно при работе со сложными моделями.

Заключение

Технология мультиматериальной 3D-печати представляет собой революционный подход к созданию изделий, объединяющих разнородные материалы в едином процессе производства. Эта методика значительно расширяет границы традиционного аддитивного производства, предлагая новые перспективы в проектировании сложных конструкций с заданными характеристиками прочности, эластичности, электрической проводимости и теплоотдачи.

Исследование показало, что существуют две основные технологические платформы: автоматическое переключение материалов (AMS) и независимая двойная экструзия (IDEX). Система AMS упрощает управление и минимизирует вмешательство оператора, однако ограничивает разнообразие применяемых материалов и повышает временные и материальные издержки. Напротив, IDEX предлагает значительное сокращение времени обработки и повышенную продуктивность, однако сопровождается увеличенными финансовыми вложениями и сложностью технического обслуживания.

Таким образом, применение мультиматериальных методов 3D-печати зависит от конкретных требований проекта, бюджета и наличия соответствующих компетенций у пользователей. Оптимальное решение заключается в тщательном анализе потребностей и ограничений конкретного производственного процесса, выборе подходящей технологии и грамотном управлении ресурсами для достижения наилучших результатов.

Список литературы

1. Карпенко, В. Е. Мультиматериальная 3D-печать / В. Е. Карпенко, А. В. Олешицкий // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых : Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. В 4-х томах, Курск, 29 ноября 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 122-127.
2. Суфияров, В. Ш. Исследование возможности мультиматериальной металлической 3D-печати методом селективного лазерного плавления / В. Ш. Суфияров, Е. В. Борисов, А. А. Попович // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка : Сборник докладов 12-го Международного симпозиума. В 2-х частях, Минск, 07–09 апреля 2021 года. Том Часть 1. – Минск: Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2021. – С. 296-303.
3. Тараховский, А. Ю. Аддитивные технологии для стендового моделизма / А. Ю. Тараховский, А. А. Иваник // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2024. – № 14. – С. 42-45. – DOI 10.26160/2541-8637-2024-14-42-45.
4. Пышкин, А. А. Аддитивные технологии в современном мире / А. А. Пышкин, Е. Г. Ковтун, А. Ю. Тараховский // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования : Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 13–15 мая 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 83-85. – EDN YNQEQS.
5. Тараховский, А. Ю. Оптимизация выбора материалов для 3D-печати (FDM): влияние теплового расширения и механических свойств / А. Ю. Тараховский // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования : сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 12–14 февраля 2025 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2025. – С. 49-54.
6. Сафин, А. Р. Аддитивные технологии в производстве электрических машин / А. Р. Сафин, З. М. Шакурова // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2024. – № 1-6. – С. 20-29.
7. Хафизов, А. Р. Модернизация двухэкструдерного 3D-принтера Artist-D / А. Р. Хафизов // Решетневские чтения : Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со Дня рождения генерального конструктора ракетно-космических систем академика Михаила Федоровича Решетнева. В 2-х частях, Красноярск, 18–22 ноября 2024 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. – С. 600-602.

СЕКЦИЯ № 8

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.01 (006.9)

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ И КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ

М.Д. Мауричев,¹ С.Д. Мауричев²

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, 105005, Россия, maurich@yandex.ru

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова; г. Северодвинск, 164500, Россия, maurichev.s@edu.narfu.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена основная методика радиационного контроля сварных соединений крупногабаритных изделий судостроения и машиностроения с использованием гамма-дефектоскопов. Отмечены общие задачи, возникающие при проведении процедуры контроля, а также указано на необходимость метрологического обеспечения выполняемых работ. С целью повышения эффективности рабочих процессов предложены основные аспекты процедуры метрологического обеспечения радиационного контроля.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, радиационный неразрушающий контроль, гамма-дефектоскоп, изделия машиностроения.

METROLOGICAL ENSURING OF THE RADIATION CONTROL PROCEDURE FOR WELDED JOINTS IN LARGE-SIZED MECHANICAL ENGINEERING AND SHIPBUILDING PRODUCTS

M.D. Maurichev¹, S.D. Maurichev²

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», Moscow, 105005, Russia, maurich@yandex.ru

² Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severodvinsk, 164500, Russia, maurichev.s@edu.narfu.ru

Abstract. The basic methodology about radiation control for welded joints in large-sized shipbuilding and mechanical engineering products using gamma flaw detectors is considered in this paper. The general objectives arising during the control procedure are noted and also it is indicated to the necessity of metrological ensuring for the performed works. In order to increase the efficiency of working processes, the main aspects of the metrological ensuring procedure of radiation control are proposed.

Keywords words: metrological ensuring, radiation non-destructive control, gamma flaw detector, mechanical engineering products.

Введение

При изготовлении, монтаже, установке крупногабаритных нестандартных металлических изделий машиностроения и кораблестроения требуются специальные системы контроля качества выполненных работ. Одним из основных способов контроля сварных соединений таких нестандартных изделий является радиационный неразрушающий контроль с применением мощных источников ионизирующих излучений. Для реальных производственных условий существует проблема разработки метрологического обеспечения такого вида работ, что в первую очередь связано с их нестандартностью и не однотипностью. При этом от качественного метрологического обеспечения процедуры радиационного контроля сварных соединений может зависеть не только эффективность выполненных работ,

но и обеспечение радиационной безопасности обслуживающего персонала и даже основного персонала машиностроительного и судостроительного предприятия.

Цель исследования – разработать основные аспекты метрологического обеспечения процедуры (радиационного) неразрушающего контроля сварных соединений крупногабаритных изделий машиностроения и кораблестроения.

Краткое описание типовой методики радиационного контроля крупногабаритных сварных соединений объектов машиностроения и кораблестроения.

Общая методика проведения неразрушающего контроля сварных соединений крупногабаритных изделий машиностроения с использованием источников ионизирующего излучения включает ряд обязательных этапов:

- выбор гамма-дефектоскопа [1];
- подготовка необходимого оборудования;
- транспортировка к месту проведения работ;
- закрепление средств фиксации излучения на поверхности сварного шва;
- позиционирование источника излучения;
- ограничение безопасной зоны и радиационный контроль рабочих мест дефектоскопистов [2];
- вывод в рабочее положение источника излучения из положения хранения в радиационной головке гамма-дефектоскопа;
- выполнение процедуры контроля (просвечивание сварного шва);
- возврат источника излучения в положение хранения в радиационной головке гамма-дефектоскопа;
- передача результатов измерений на дальнейшую обработку и хранение.

Выбор гамма-дефектоскопа осуществляется по исходным параметрам поставленной задачи, таким как: тип и структура просвечиваемого материала, его толщина, сложность формы сварного шва, наличие пространства для размещения аппарата с учетом его геометрических размеров и массы. С каждым гамма-дефектоскопом в комплекте идет необходимое дополнительное оборудование [3].

При этом процедура неразрушающего контроля сварных соединений, с использованием источников ионизирующего излучения в реальных производственных условиях, например, при строительстве судов и кораблей характеризуются дополнительными особенностями:

- радиационному контролю подлежат различные металлоконструкции, в том числе и крупные секции объектов, размер которых требует проведения неразрушающего контроля сварных соединений на высоте;
- соединяемые сварочным швом изделия обладают значительными толщинами, поэтому требуются мощные аппараты с массивными коллиматорами, которые позволяют регулировать параметры пучка излучения и отсекают распространение излучения по другим направлениям, что способствует повышению качеству работ и обеспечивает радиационную безопасность персонала;
- существующие на данный момент средства позиционирования и фиксации не позволяют осуществить надежное закрепление массивного коллиматора с источником излучения, а большой разброс толщин не позволяет выбрать для эффективно просвечивания один универсальный гамма-дефектоскоп для всех видов работ и материалов.

Все эти особенности реальных производственных процессов создают дополнительные требования к метрологическому обеспечению выполнения таких работ.

Метрологическое обеспечение процедуры радиационного контроля сварных соединений крупногабаритных изделий машиностроения и кораблестроения.

Производственные особенности проведения радиационного неразрушающего контроля крупногабаритных изделий требуют не только соблюдения нормативных документов, которые регулируют порядок и способы проведения работ, устанавливают требования к безопасности используемого оборудования, но и выполнение мероприятий по подготовке к проведению контроля, а именно: разработка методики проведения контроля (СТО, Положения организации, Методики выполнения измерений локального уровня), назначение

измерительного оборудования утвержденного типа, зарегистрированного в государственном реестре средств измерений.

Для разработки методики выполнения измерений и проведения контрольных мероприятий радиационного неразрушающего контроля необходимо провести математическое моделирование параметров объекта контроля, оценить источники погрешности измерений, проанализировать суммарное влияние неточности на достоверность результатов, а также принять меры по уменьшению воздействия шумовых эффектов излучения на формируемое изображение.

Кроме того, для широкого применения метода радиационного неразрушающего контроля крупногабаритных изделий необходимо подготовить производство, а именно вывести его метрологическое обеспечение на требуемый уровень: подготовить системы стандартов и методик по проведению контроля, разработать нормативные документы [4], регламентирующие мероприятия по поверке и калибровке используемых средств измерения [5], установить системы взаимодействия между подразделениями организации и метрологической службой, внести контрольные мероприятия гамма-дефектоскопии в технологические процессы изготовления изделий, обеспечить использование средств измерения, установленного типа, и программного обеспечения, сертифицированного для использования на территории Российской Федерации.

Метрологическое обеспечение процедуры контроля требует не только теоретических и прикладных положений о выполнении контрольных мероприятий, но и включает разработку нормативно-правовой документации и мероприятия по организации производства. Основные аспекты метрологического обеспечения процедуры радиационного контроля приведены в блок-схеме на рис. 1.

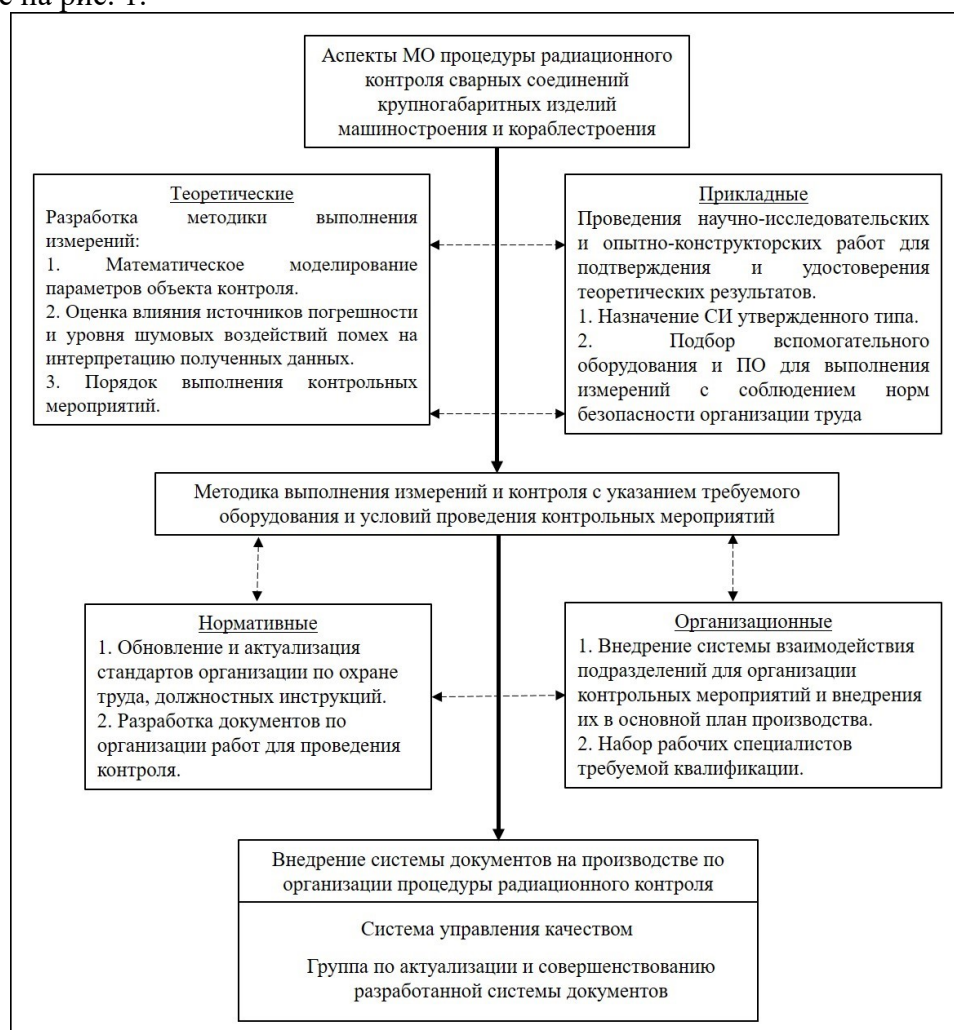


Рис. 1. Аспекты метрологического обеспечения (МО) процедуры радиационного контроля

Согласно разработанной схеме метрологическое обеспечение процедуры контроля не заканчивается на выборе средства измерения и алгоритма проведения контрольных мероприятий, поскольку для внедрения на производстве необходимо подготовить как материально-техническую, так и нормативную базы, выделить рабочие ресурсы и организовать их взаимодействие. После завершения процедуры разработки системы документации, регламентирующей все необходимые направления деятельности при проведении радиационного контроля, остается метрологическое сопровождение принятых стандартов для их совершенствования и повышения эффективности.

Заключение

Сложность реализации полного комплекса метрологических мероприятий в реальных производственных условиях при выполнении работ по радиационному контролю сварных соединений крупногабаритных изделий заключается не только в большом перечне применяемых в настоящее время гамма-дефектоскопов, но и в отсутствии единых методик выполнения данного вида работ, что связано как с различными геометриями объектов, так и с особенностями их размещения на производственных участках. Для повышения эффективности организации и выполнения таких работ целесообразным является разработка на предприятии единой автоматизированной системы метрологического обеспечения и управления качеством работ.

Список литературы

1. ГОСТ 23764-79 Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://gostassistant.ru/doc/e7223e0c-3dc6-4c77-988b-6c01967c48c9> (дата обращения 24.03.2025).
2. Соснин Ф.Р. Радиационный контроль. Том 2 [Текст]: справочник. / Ф.Р. Соснин – М.: Издательство «Машиностроение», 2008 – 559 с.
3. Неразрушающий контроль с источниками высоких энергий [Текст] / [Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Гусев Е. А. и др.]. – Москва.: Энергоатомиздат, 1989. - 175, с.
4. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об обеспечении единства измерений" [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=490078> (дата обращения 27.03.2025).
5. РМГ29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://metrcons.ru/upload/iblock/feb/feb4f18a54120293bf0fe6973539d7e4.pdf> (дата обращения 27.03.2025).

УДК 389.15

ВНЕДРЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ В МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ: ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С.С. Чуйков

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, 625000, Россия,
795348@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы внедрения виртуальной калибровки в метрологическую практику. Особое внимание уделено преимуществам и проблемам, с которыми сталкиваются предприятия при интеграции этих решений в производственные процессы. Анализируются современные подходы к математическому моделированию измерительных систем, использованию алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации калибровочных процедур. Представлены направления применения виртуальной калибровки в таких отраслях, как машиностроение, электроника, медицина и фармацевтика.

Ключевые слова: виртуальная калибровка, метрология, математическое моделирование, искусственный интеллект, цифровизация, инновации.

IMPLEMENTATION OF VIRTUAL CALIBRATION IN METROLOGICAL PRACTICE: INNOVATIONS AND PROSPECTS

S.S. Chuikov

FSBEI HE "Tyumen Industrial University", Tyumen, 795348@mail.ru

Abstract. The article examines the implementation of virtual calibration in metrological practice. Special attention is paid to its advantages and challenges faced by enterprises during the integration of such solutions into production processes. Modern approaches to mathematical modeling of measuring systems, the use of artificial intelligence algorithms and machine learning to optimize calibration procedures are analyzed. Areas of application for virtual calibration in industries such as mechanical engineering, electronics, medicine and pharmaceuticals are presented.

Keywords: virtual calibration, metrology, mathematical modeling, artificial intelligence, digitalization, innovation.

Введение

Цифровизация промышленности и внедрение интеллектуальных технологий являются приоритетными направлениями развития экономики Российской Федерации в рамках государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Особую роль в этих процессах занимает метрологическое обеспечение, как основа обеспечения качества и безопасности выпускаемой продукции. Одним из ключевых процессов в этой сфере является калибровка измерительных приборов – операция по проверке и корректировке их показаний в соответствии с эталонами.

На сегодняшний день традиционная калибровка предполагает использование физического оборудования и эталонных средств измерений, что связано с существенными затратами времени и ресурсов [1]. Однако на ряде предприятий, таких как ПАО «Сбербанк» (при обслуживании инфраструктуры ИТ-оборудования) и ПАО «Газпром нефть», уже ведутся пилотные проекты по интеграции технологий виртуальной калибровки для оптимизации процессов метрологического контроля.

Современные информационные технологии, в том числе математическое моделирование и алгоритмы искусственного интеллекта, позволяют перенести часть функций калибровки в виртуальную среду, что открывает новые возможности для повышения эффективности метрологического обеспечения [2].

Целью данной работы является анализ принципов и преимуществ виртуальной калибровки, а также рассмотрение её применения в различных отраслях. обеспечение играет важную роль в соблюдении точности и надежности измерений, от которых зависит безопасность производства и качество конечной продукции. Одним из ключевых процессов в этой сфере является калибровка измерительных приборов – операция по проверке и корректировке их показаний в соответствии с эталонами. На сегодняшний день традиционная

калибровка предполагает использование физического оборудования и эталонных средств измерений, что связано с существенными затратами времени и ресурсов [1].

1. Принципы виртуальной калибровки

Основой виртуальной калибровки является построение математической модели, способной воспроизводить поведение измерительного устройства с учётом его характеристик и условий эксплуатации [3]. Для разработки подобных моделей применяются методы математической статистики, регрессионного анализа, а также адаптивные алгоритмы обработки данных. Примером такого подхода является создание моделей для датчиков температуры и давления, используемых в производственных системах [4].

Системы виртуальной калибровки используют данные с внутренних сенсоров приборов и внешних источников, таких как эталонные измерители. Эти данные обрабатываются в реальном времени с применением специализированного программного обеспечения, обеспечивающего корректировку показаний устройств и минимизацию ошибок измерений [5].

Одним из направлений развития виртуальной калибровки является внедрение алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения. Такие алгоритмы обеспечивают автоматическое обучение систем на основании исторических данных и позволяют учитывать сложные взаимосвязи между параметрами измерений [6]. Например, нейронные сети успешно применяются для анализа многомерных данных и оптимизации калибровочных процедур [7].

2. Преимущества виртуальной калибровки

Применение виртуальных моделей и алгоритмов обработки данных позволяет снизить потребность в физическом оборудовании, а также сократить расходы на транспортировку и обслуживание измерительных систем [8]. Кроме того, уменьшается время простоя оборудования, поскольку процессы калибровки могут выполняться в автоматическом режиме.

Благодаря математическим моделям и алгоритмам ИИ достигается высокая стабильность и повторяемость результатов калибровки, независимо от внешних факторов и человеческого фактора [9].

Системы виртуальной калибровки способны функционировать автономно, что снижает требования к квалификации персонала и уменьшает вероятность ошибок, связанных с человеческим вмешательством [10].

3. Применение виртуальной калибровки в отраслях промышленности

Высокие требования к точности измерений в машиностроении и авиастроении делают виртуальную калибровку востребованной технологией. Применение моделей позволяет оптимизировать процессы контроля качества деталей и узлов, сократить время тестирования оборудования.

В сфере производства электронных компонентов виртуальная калибровка обеспечивает точность измерений при массовом выпуске изделий, а также снижает затраты на проверку параметров микросхем и датчиков.

Точность калибровки медицинских приборов напрямую влияет на безопасность и эффективность диагностики и лечения пациентов. Виртуальные методы обеспечивают гибкость настройки медицинского оборудования и соответствие его требованиям стандартов. В фармацевтической промышленности виртуальная калибровка применяется для контроля параметров технологических процессов и обеспечения качества лекарственных препаратов.

4. Проблемы и вызовы внедрения виртуальной калибровки

Ограниченная точность моделей может стать источником погрешностей. Для их минимизации необходимо постоянное обновление и адаптация моделей с использованием актуальных данных.

На данный момент отсутствуют унифицированные стандарты, регламентирующие процессы виртуальной калибровки в ряде отраслей. Это затрудняет процедуру сертификации подобных решений.

Эффективное внедрение виртуальной калибровки требует подготовки специалистов с навыками работы в области метрологии, программирования и анализа данных. Ключевыми компетенциями являются знание стандартов международной и национальной метрологии,

таких как ISO 9001 и ISO/IEC 17025, владение методами математического моделирования измерительных процессов, опыт работы с цифровыми двойниками измерительных систем и знание языков программирования, применяемых для разработки программного обеспечения систем калибровки (например, Python или MATLAB). Также важны навыки работы с базами данных и системами машинного обучения, необходимыми для обработки больших массивов калибровочных данных и их последующего анализа. внедрение виртуальной калибровки требует подготовки специалистов с навыками работы в области метрологии, программирования и анализа данных.

5. Перспективы развития виртуальной калибровки

Одним из ярких примеров успешной интеграции виртуальной калибровки с системами ПоТ является проект, реализованный на производственных линиях компании Siemens в рамках концепции «умного завода». В данной системе виртуальная калибровка используется для постоянного мониторинга и автоматической корректировки параметров технологического оборудования в режиме реального времени. Датчики, встроенные в производственные установки, передают данные на облачную платформу, где аналитические алгоритмы на основе машинного обучения обрабатывают информацию и вносят необходимые изменения в настройки оборудования. Это позволяет не только повысить точность измерений, но и значительно сократить время простоя оборудования за счёт предиктивного обслуживания.

Ожидаемые эффекты внедрения подобных решений включают увеличение производительности, снижение затрат на техническое обслуживание, улучшение качества выпускаемой продукции и обеспечение высокой степени адаптивности производственных процессов к изменениям внешней среды.

В будущем виртуальная калибровка станет частью интеллектуальных систем мониторинга и управления производством, что обеспечит автоматическую адаптацию параметров оборудования к изменяющимся условиям [11].

Ожидается появление новых стандартов и регламентов, обеспечивающих правовую основу для применения виртуальной калибровки на международном уровне.

Перспективными направлениями являются квантовые технологии, нанотехнологии, а также биотехнологии, где требуется высокая точность и стабильность измерений.

Заключение

Виртуальная калибровка представляет собой эффективное решение для повышения точности, надежности и экономичности процессов метрологического обеспечения. Её внедрение требует комплексного подхода, включая развитие программного обеспечения, подготовку кадров и создание нормативно-правовой базы.

Список литературы

1. Мастепаненко, М. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие : [16+] / М. Мастепаненко, И. Шарипов, И. Воротников [и др.] ; Ставропольский государственный аграрный университет. — Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет (СтГАУ), 2020. — 144 с. : ил., табл., схем. — Режим доступа : по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=614089> (дата обращения: 16.03.2025).
2. Надкевич, Я. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов / Я. М. Надкевич, А. Г. Схиртладзе. — М. : Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. — 788 с. : ил.
3. Арсенин, В. Я. Математическое моделирование. Нелинейные дифференциальные уравнения математической физики / В. Я. Арсенин, А. А. Тимонов. — М. : Наука, 1987. — 280 с.
4. Захаров, В. А. Метрологическое обеспечение измерительных систем : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1. Принципы построения и вопросы стандартизации автоматизированных измерительных систем / В. А. Захаров, А. С. Волегов ; под общ. ред. В. А. Захарова ; Мин-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 168 с.
5. Соловьева, Н. Интеллектуальные системы : учебное пособие / Н. Соловьева, Е. Н. Чернопрудова. — Оренбург, 2013. — 140 с.
6. Русаков, К. Д. Машинное обучение в распознавании нативных и искусственно сгенерированных ЭЭГ / К. Д. Русаков, Я. А. Туровский, Е. А. Киселев // Информационные процессы. — 2024. — Т. 24, № 3. — С. 190–202.
7. Голубев, С. С. Экономика цифровизации промышленных предприятий / С. С. Голубев, А. Г. Щербаков. — М. : Первое экономическое издательство, 2022. — 232 с.

8. Чуйков, С. С. Разработка рекомендаций по внедрению виртуальной калибровки в метрологическую практику / С. С. Чуйков, Р. С. Чуйков, Е. С. Косырев // Естественные и технические науки. — 2025. — № 1 (200). — С. 181–183.

9. Чуйков, С. С. Внедрение общей базы средств измерений для отслеживания жизненного цикла средств измерений / С. С. Чуйков, М. В. Минухова, Е. О. Притчина // Естественные и технические науки. — 2025. — № 1 (200). — С. 203–205.

10. Петрова, Ю. Н. Инженерное образование в контексте акмеологического подхода / Ю. Н. Петрова, Р. С. Чуйков, Ю. О. Немцева, С. С. Чуйков // Материалы пула научно-практических конференций : Материалы VI Международной научно-практической конференции, IX Международной научно-практической конференции и VI Международной научно-практической конференции. — Керчь, 2025. — С. 1052–1056.

11. Ощепков, А. М. Развитие менеджмента в Индустрии 4.0: переход к киберфизическим организациям и формирование их систем управления [Электронный ресурс] : материалы XI Рос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), г. Пермь, ПГНИУ, 29 нояб. 2018 г. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. — Электрон. дан. — Пермь : ПГНИУ, 2018. — 174 с. — 6 Мб. — Режим доступа: локальная сеть или Интернет.

УДК 681.128.82

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ТОПЛИВА В ТОПЛИВНОМ БАКЕ

А.О. Попов¹, В.В. Никишин²

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, aleksakes5@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия

Аннотация. В данной статье представлена разработка цифровой системы измерения уровня топлива в топливном баке мотоцикла. Целью работы является создание точного и надежного устройства, обеспечивающего цифровую индикацию уровня топлива.

В работе рассмотрены различные типы датчиков уровня топлива, выбран оптимальный датчик и разработан алгоритм обработки сигнала для микроконтроллера.

Ключевые слова: Бензобак, уровень топлива цифровая измерительная система.

DIGITAL FUEL LEVEL MEASUREMENT SYSTEM IN THE FUEL TANK

A.O. Popov¹, V.V. Nikishin²

¹ Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, aleksakes5@gmail.com

"Sevastopol State University", Sevastopol, 299001, Russia,

Abstract. This article presents the development of a digital system for measuring the fuel level in the fuel tank of a motorcycle. The aim of the work is to create an accurate and reliable device that provides a digital indication of the fuel level.

The paper considers various types of fuel level sensors, selects the optimal sensor, and develops a signal processing algorithm for the microcontroller. **Keywords:** Gas tank, fuel level, digital measuring system.

Keywords: Gas tank, fuel level digital measuring system.

Введение

В спортивных и гражданских мотоциклах, где каждая деталь мотоцикла играет важную роль в обеспечении максимальной производительности и надежности, вопрос контроля уровня топлива становится особенно актуальным. Мотоциклы, зачастую не оснащены стандартными системами измерения топлива.

В этой статье описывается прототип цифровой системы измерения уровня топлива в топливном баке мотоцикла. Традиционные методы измерения уровня топлива, основанные на механических поплавковых датчиках, зачастую демонстрируют недостаточную точность, подвержены износу и коррозии, а также не обеспечивают возможности удаленного мониторинга и анализа данных.

В связи с этим, разработка и внедрение цифровых систем измерения уровня топлива представляет собой актуальную задачу, позволяющую существенно повысить точность, надежность и функциональность мониторинга топлива. Цифровые системы, использующие современные сенсоры и технологии передачи данных, позволяют в реальном времени отслеживать уровень топлива в баке, получать данные о его расходе.

Цель разработки – является создание точного и надежного устройства, обеспечивающего цифровую индикацию уровня топлива мотоцикла.

1. Анализ известных методов измерения уровня топлива

Поплавковый датчик: Это наиболее распространенный и традиционный метод измерения уровня топлива. Поплавок, плавающий на поверхности топлива, связан механически с указателем уровня или потенциометром. При изменении уровня топлива поплавок перемещается, вызывая изменение положения указателя или сопротивления потенциометра.

Преимущества: Простота конструкции, низкая стоимость, не требует питания.[1]

Недостатки: Низкая точность, подверженность механическому износу и коррозии, влияние колебаний топлива, отсутствие возможности удаленного мониторинга, сложная калибровка. Погрешность может достигать значительных значений, особенно в условиях вибрации и наклона транспортного средства.

Емкостные датчики: Эти датчики используют изменение диэлектрической проницаемости между двумя электродами, погруженными в топливо. Уровень топлива влияет на емкость между электродами, которая преобразуется в аналоговый сигнал.

Преимущества: Более высокая точность по сравнению с поплавковыми датчиками, меньшая подверженность механическому износу, возможность непрерывного измерения.

Недостатки: Требуется калибровка, чувствительность к изменениям состава топлива, влияние температуры, сложность и стоимость по сравнению с механическими датчиками, необходимость использования электронных схем для обработки сигнала.[1]

Резистивные датчики: Эти датчики используют ряд резисторов, расположенных вдоль вертикальной оси бака. Уровень топлива определяет, какие резисторы находятся в контакте с топливом, изменяя общее сопротивление цепи.

Преимущества: Простота конструкции, относительно низкая стоимость.

Недостатки: Низкая точность из-за дискретного измерения, подверженность коррозии контактов, ограниченный срок службы.[1]

Ультразвуковые датчики: Эти датчики излучают ультразвуковые волны и измеряют время их отражения от поверхности топлива. На основе этого времени определяется расстояние до поверхности и, следовательно, уровень топлива.

Преимущества: Высокая точность, бесконтактный метод измерения, не подверженность износу и коррозии, возможность работы в широком диапазоне температур, возможность удаленного мониторинга.[1]

Недостатки: Более высокая стоимость по сравнению с аналоговыми методами, влияние температуры и давления на скорость звука, сложность обработки сигнала, может быть восприимчив к помехам от других источников ультразвука.

Радарные (микроволновые) датчики: Подобно ультразвуковым, эти датчики используют электромагнитные волны (радиоволны или микроволны) для измерения расстояния до поверхности топлива.

Преимущества: Высокая точность, бесконтактный метод измерения, не подверженность износу и коррозии, меньшая чувствительность к изменениям температуры и давления по сравнению с ультразвуковыми датчиками, возможность работы в сложных условиях.

Недостатки: Наиболее высокая стоимость, сложность обработки сигнала, потенциальная подверженность электромагнитным помехам.[1]

Датчики гидростатического давления: Эти датчики измеряют давление, оказываемое столбом топлива на дно бака. Зная плотность топлива, можно рассчитать его уровень.

Преимущества: Простота конструкции, высокая точность, не подверженность влиянию колебаний топлива.

Недостатки: Требуется точное знание плотности топлива, чувствительность к изменениям температуры и давления, необходимость установки датчика на дне бака.[1]

Функциональная схема отражает работу системы, для измерения уровня топлива и передачи данных на телефон.

Аккумулятор: Это источник питания для всей системы 12 В.

Преобразователь понижающий DC-DC: Преобразует напряжение от аккумулятора 12В в 5В, необходимое для питания микроконтроллера и других компонентов. Это важно, потому что микроконтроллер и датчик обычно требуют более низкого напряжения, чем напряжение аккумулятора.

Микроконтроллер ATmega328P: выполняет следующие функции [2]:

Управляет датчиком HC-SR04.[3]

Получает данные от датчика HC-SR04.

Обработывает полученные данные.

Отправляет данные через Bluetooth на телефон.

Датчик HC-SR04: Это ультразвуковой датчик расстояния. Он излучает ультразвуковой сигнал и измеряет время, необходимое для его возвращения после отражения от объекта. На основе этого времени вычисляется расстояние до объекта.

Bluetooth: Модуль беспроводной связи, который позволяет МК ATmega328P передавать данные измеренный уровень топлива на телефон.

Телефон: Получает данные об уровне топлива через Bluetooth. На телефоне установлено приложение, которое отображает данные.

Функциональная схема представлена на рис.1

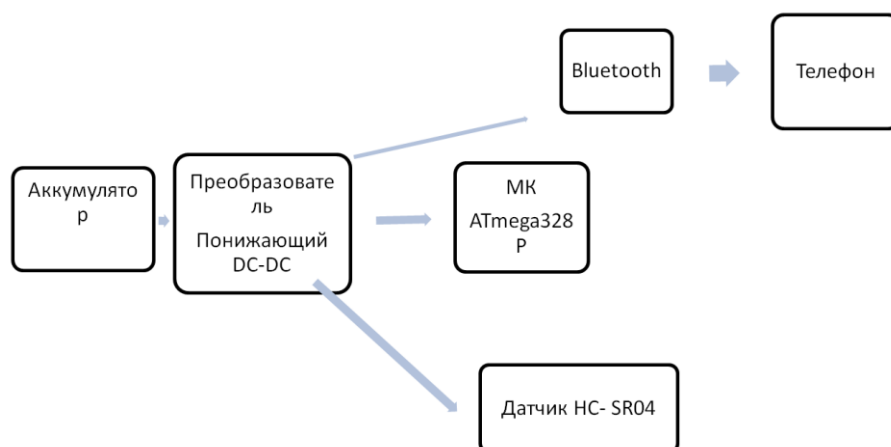


Рис.1. Функциональная схема

Принцип работы цифровой системы измерения уровня топлива в топливном баке

Ультразвуковой датчик HC-SR04 используется для измерения расстояния до предметов с помощью ультразвуковых волн. Его принцип работы отображён на рис 2и основан на отражении звуковых волн и замере времени, необходимого для их возвращения.

Датчик имеет два основных элемента: передатчик, который генерирует ультразвуковой сигнал (частотой 40 кГц), и приемник, который улавливает отраженный сигнал. При запуске измерения, передатчик посылает ультразвуковой импульс в направлении целевого объекта. Ультразвуковой сигнал, достигнув объекта, отражается обратно в сторону датчика.

Приемник фиксирует время, которое прошло с момента отправки сигнала до его возвращения. Этот интервал времени позволяет определить расстояние до объекта по формуле (1)

$$L = V \cdot \frac{t}{2} \quad (1)$$

где: L – расстояние (м)

V – скорость звука в воздухе (м/с)

t – время (с)

Датчик подключается к микроконтроллеру, который обрабатывает измеренные данные и может выводить их на телефон.

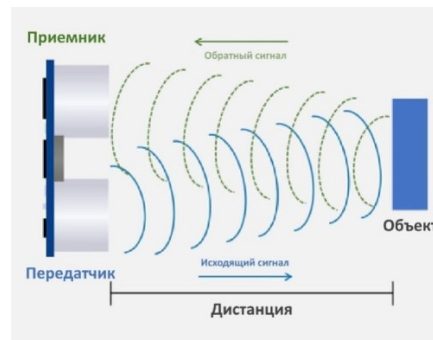


Рис.2. Принцип работы

Заключение

Выбран датчик, разработан алгоритм обработки сигнала и создан прототип устройства, обеспечивающее точную и надежную цифровую индикацию уровня топлива. Перспективы дальнейшего развития включают в себя интеграцию системы с другими бортовыми системами мотоцикла и разработку дополнительных функций, таких как предупреждение о критически низком уровне топлива.

Список литературы

1. Латышенко, К. П. Технические измерения и приборы: методы и средства измерения : учебник для вузов / К. П. Латышенко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 361 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20944-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 4 — URL: <https://urait.ru/bcode/559033/p.4> (дата обращения: 26.03.2025).

2. microchip.com: сайт производителя микроконтроллеров Atmega: сайт. — URL: <https://www.microchip.com/enus/search?searchQuery=ATMEGA328PB&category=ALL&fq=start%3D0%26rows%3D10> (дата обращения 26.03.2025). — Режим доступа: свободный.

3. okystar.com : сайт производителя датчика HC-SR04: сайт. —URL: <https://www.okystar.com/>(дата обращения 26.03.2025). — Режим доступа: свободный.

РАЗРАБОТКА ТЕРМОСТАТА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Г.В. Добровольский¹, В.В. Никишин²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, sevash123456@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, nikishinv@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлена разработка термостата, предназначенного для калибровки средств измерения температуры (СИТ). Рассмотрены основные принципы работы термостата, включая выбор датчиков, нагревательных элементов, а также системы управления. Проведен анализ влияния различных факторов на точность поддержания температуры, таких как тепловые потери и инерционность системы. Описаны методы повышения стабильности температуры и точности калибровки. Представлены результаты экспериментальной оценки разработанного термостата и анализ его применимости для калибровки различных типов СИТ.

Ключевые слова: Термостат, калибровка, средства измерения температуры, точность, стабильность, система управления, тепловые потери.

DEVELOPMENT OF A THERMOSTAT FOR CALIBRATION OF TEMPERATURE MEASURING INSTRUMENTS

G.V. Dobrovolsky¹, V.V. Nikishin²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, sevash123456@mail.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, nikishinv@mail.ru

Abstract. This paper presents the development of a thermostat designed for calibration of temperature measuring instruments (sieves). The basic principles of thermostat operation are considered, including the choice of sensors, heating elements, and control systems. The analysis of the influence of various factors on the accuracy of temperature maintenance, such as heat loss and inertia of the system, is carried out. Methods for increasing temperature stability and calibration accuracy are described. The results of an experimental evaluation of the developed thermostat and an analysis of its applicability for calibration of various types of sieves are presented.

Keywords: Thermostat, calibration, temperature measuring instruments, accuracy, stability, control system, heat loss.

Введение

Калибровка термометров и других средств измерения температуры является важным этапом обеспечения точности лабораторных экспериментов и инженерных исследований. Для этих целей широко применяются термостаты, способные поддерживать стабильную температуру в заданном диапазоне. Основная задача данной работы – разработка и создание термостата, предназначенного для использования в учебных лабораториях, с учетом требований к точности, надежности и удобству эксплуатации.

Цель: Создание стабильного устройства, способного поддерживать заданную температуру с минимальными колебаниями.

Конструкция термостата

Разрабатываемый термостат представляет собой устройство которое поддерживает заданную температуру. Основные элементы конструкции:

1. Микроконтроллер Atmega 328p;
2. МОС3061 – оптопара симисторная;
3. BT137 - симистор;
4. ПИД-регулятор;
5. DS18B20 - цифровой термометр с программируемым разрешением;
6. ТЭН — трубчатый электронагреватель.

Подключение и запуск

В этом проекте будет использован ПИД-регулятор для управления нагревателем на основе данных, получаемых от цифрового термометра DS18B20 (рис.1).

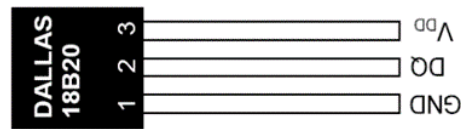


Рис.1. Датчик DS18B20

ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор) отвечает за управление выходным сигналом, чтобы поддерживать заданную температуру. Он реализован на базе микроконтроллера ATmega328P. Этот микроконтроллер достаточно мощный для обработки данных, получаемых от термометра, и для вычисления управляющего воздействия на ТЭН в реальном времени. [1]

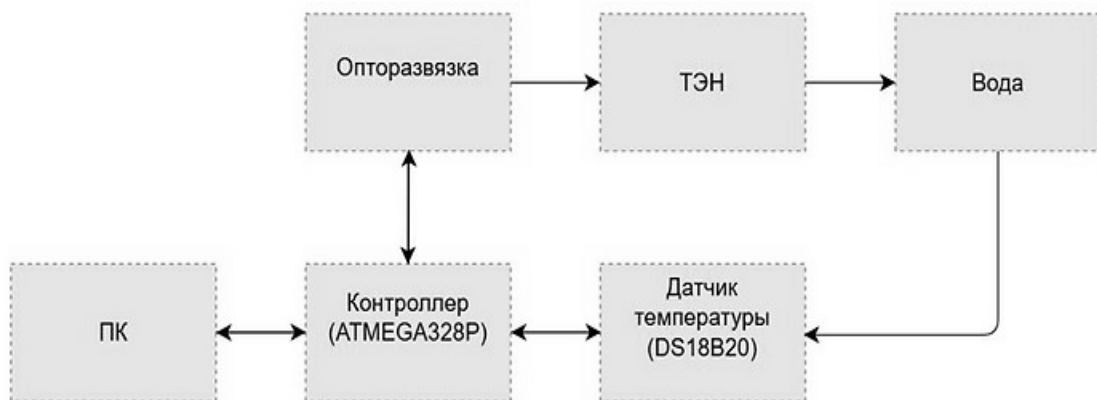


Рис.2. Функциональная схема термостата

МОС3061 (Рис.3), используемый в качестве оптопары, будет обеспечивать электрическую изоляцию между высоковольтной частью схемы и её низковольтным контроллером. Это критически важно для безопасности, особенно когда дело касается работы с сетевым напряжением. Оптопара позволяет управлять ключом, обеспечивая изоляцию при передаче управляющего сигнала от микроконтроллера к симистору. [2]

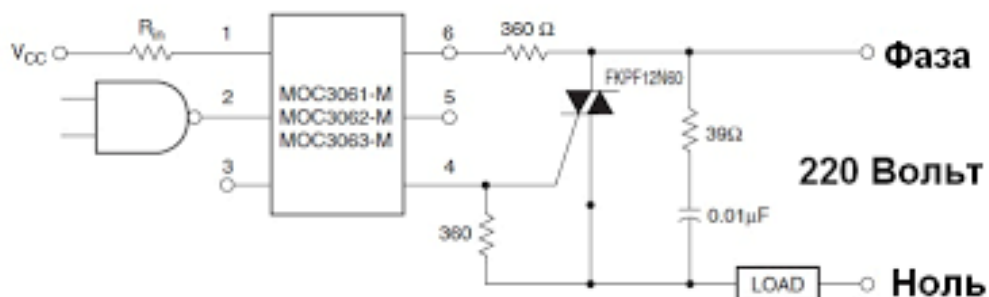


Рис. 3. Принципиальная схема МОС3061

Симистор BT137 (Рис.4), который будет использоваться в этой схеме, предназначен для управления мощностью, которая подводится к ТЭНу. В зависимости от выходного сигнала, полученного от ПИД-регулятора, BT137 будет открываться или закрываться, тем самым регулируя мощность, передаваемую на нагреватель. Это нужно для того, чтобы поддерживать необходимую температуру без колебаний.



Рис. 4. Симистор BT137



Рис. 5. ТЭН (трубчатый электронагреватель)

DS18B20 будет измерять текущую температуру в системе. Этот цифровой термометр характеризуется высокой точностью и простотой подключения. Он работает по одному проводному интерфейсу и позволяет легко интегрировать его с микроконтроллером. Считывая температуру, микроконтроллер будет сравнивать текущее значение с заданным, что позволит ему вычислять ошибку и контролировать температуру.

ТЭН (трубчатый электронагреватель) (Рис.5) будет нагревать жидкость в емкости. Мощность ТЭНа, определяется ПИД-регулятором, посредством ШИМ сигнала[3]

DS18B20 подключается к соответствующим пинам микроконтроллера, входной терминал МОС3061 подключается к одному из выходов микроконтроллера а выходной контакт будет служить управляющим сигналом для BT137.

BT137, в свою очередь, будет подключаться к сетевому питанию 220 Вольт и к ТЭНу, позволяя регулировать подводимую к нагревателю мощность.

Для микроконтроллера написано программное обеспечение, которое включает в себя алгоритм ПИД-регулятора, считывание данных с DS18B20, отображение текущей и заданной температуры, а также соответствующее управление выходным сигналом через оптопару и симистор.

Методика испытаний

Для оценки характеристик разработанного термостата были проведены экспериментальные исследования. В ходе испытаний измерялась стабильность поддержания температуры, временной отклик системы на изменение заданных параметров, а также точность воспроизведения температуры.

Результаты испытаний

Эксперименты показали, что термостат обеспечивает отклонение температуры не более $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ [4] от заданного значения в диапазоне 10–100 $^{\circ}\text{C}$. Время выхода на установившийся режим не превышает 5 минут.

Заключение

Разработанный термостат демонстрирует высокую точность поддержания и воспроизведения температуры, что делает его эффективным инструментом для калибровки термометров и других средств измерения температуры. Устройство может быть успешно использовано в учебных лабораториях для изучения студентами методов и средств измерения температуры.

Список литературы

1. ГОСТ Р 71050-2023. Микросхемы интегральные оптоэлектронные и оптопары. Система параметров. — Москва : Стандартинформ, 2024. — 9 с.
2. ГОСТ 9988-84. Устройства регулирующие пневматические гсп. Общие технические условия. — Москва : Госстандарт СССР, 1990. — 18 с.
3. ГОСТ 19108-81. Электронагреватели трубчатые (ТЭН) для бытовых нагревательных электроприборов. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2). — Москва : Госстандарт СССР, 1990. — 20 с.
4. ГОСТ 6651 - 2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. - Москва : Стандартинформ, 2009. — 25 с.

УДК 543.27.-8

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

М.А. Олиниченко¹, Е.Ф. Бариева², В.В. Никишин³

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299000,
Россия, olinichenko.7746@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299000,
Россия, EFBarieva@sevsu.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299000,
Россия, VVNikishin@sevsu.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос разработки и внедрения системы мониторинга концентрации углекислого газа. В работе дан анализ существующих методов мониторинга и предложена комплексная система для отслеживания концентрации углекислого газа в режиме реального времени. Эта система предоставляет данные для анализа и решение по оптимизации городской инфраструктуры и снижению воздействия на окружающую среду углекислого газа. Практические результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегии устойчивого развития городов и повышения качества жизни населения.

Ключевые слова: датчик, концентрация, мониторинг, система, углекислый газ.

SYSTEM FOR MONITORING CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN URBAN ENVIRONMENTS

M. A. Olinichenko¹, E. F. Barieva², V.V. Nikishin³

¹FSBEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299000, Russia,
olinichenko.7746@mail.ru

²FSBEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299000, Russia, EFBarieva@sevsu.ru

³FSBEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299000, Russia, VVNikishin@sevsu.ru

Abstract. This article discusses the development and implementation of a carbon dioxide concentration monitoring system. The paper provides an analysis of existing monitoring methods and suggests a comprehensive system for monitoring carbon dioxide concentrations in real time. This system provides data for analysis and a solution to optimize urban infrastructure and reduce the environmental impact of carbon dioxide. The practical results of the study can be used to develop a strategy for sustainable urban development and improve the quality of life of the population.

Keywords: sensor, concentration, monitoring, system, carbon dioxide.

Введение

Одной из практических задач является создание системы мониторинга, позволяющая отслеживать концентрацию CO₂ в режиме реального времени и предоставлять данные для анализа и принятия решений, которые направлены на оптимизацию городской инфраструктуры и снижение выбросов. В данной статье рассмотрены методы мониторинга, дан анализ их преимуществ и недостатков. Помимо этого, предложена комплексная система мониторинга, адаптированная к условиям городской среды. Система может способствовать более эффективной регулировке выбросов и принятию мер по сокращению уровня углекислого газа в атмосфере, что в свою очередь может способствовать борьбе с изменением климата [1].

Цель исследования – разработка системы мониторинга концентрации углекислого газа в городской среде.

1. Анализ существующих методов измерения концентрации углекислого газа

Проведя анализ существующих методов измерения концентрации углекислого газа, было установлено, что фактически существующие методы не позволяют в достаточной мере раскрыть проблему измерения данного параметра. В качестве анализа была использована статья «Наблюдение снижения концентраций CO₂ на дорогах в Пекине ввремя COVID-19» в которой исследуется влияние ограничений, введенных в Пекине во время пандемии COVID-19, на концентрации углекислого газа (CO₂) на дорогах города. Были использованы

мобильные платформы для проведения замеров CO_2 до, во время и после периода ограничений. Исследователи учитывали влияние погодных условий и фоновых концентраций CO_2 для более точного оценивания влияния снижения трафика.

В данной статье рассматриваются методы и испытания, которые были использованы в исследовании. На дорогах Пекина применялись мобильные платформы, предназначенные для сбора данных о содержании углекислого газа (CO_2). Чтобы исключить влияние погодных условий, измерения проводились в дни с похожими погодными условиями. Для уменьшения влияния фоновых колебаний использовался метод «усиления» позволяющий рассчитывать разницу между концентрацией CO_2 на дороге и фоновым уровнем CO_2 . Для определения значимости изменений в концентрациях CO_2 проводился статистический анализ. Также использовались данные дистанционного зондирования для оценки изменений в интенсивности движения транспорта.

Сравнив и выявив все преимущества разработанной в пандемийный период системы, встал вопрос разработки системы мониторинга концентрации углекислого газа в городской среде, так как в больших городах, мегаполисах с интенсивным трафиком движения и промышленным производством особо остро стоит вопрос определения и контроля концентрации данного параметра.

2. Преимущества системы мониторинга концентрации углекислого газа в городской среде

Полная автономность и независимость от электросети:

1) Мобильность - аккумулятор позволяет размещать систему в любых локациях, где отсутствует доступ к электросети. Автономной работа от аккумулятора делает данную систему оптимальной для мониторинга качества воздуха в уличных условиях, где использование традиционных стационарных решений затруднено или нерентабельно.

2) Компактность - миниатюризация: использование Atmega328p [2] и CCS811 [5] позволяет создать достаточно компактное устройство, которое значительно расширяет возможности его размещения в различных точках города. Автономность: DC-DC преобразователь обеспечивает эффективное питание от портативных источников, к которым относятся аккумуляторы, позволяющие создавать автономные узлы мониторинга. Мобильность: встроенный GPS-модуль позволяет отслеживать перемещение системы и автоматически привязывать данные о CO_2 к географическим координатам [3]. Это даёт возможность для мониторинга в движении и установки системы на общественном транспорте.

Беспроводная передача данных и централизованный мониторинг:

1) Непрерывный мониторинг: модуль Sim800L [4] обеспечивает передачу данных о концентрации CO_2 и местоположении в режиме реального времени. После этого эти данные поступают на центральный сервер для анализа и визуализации. Это позволяет отслеживать изменения в концентрации CO_2 в динамике и оперативно реагировать на аномальные ситуации.

2) Широкий охват: Sim800L обеспечивает связь практически в любой точке города, где есть сотовая связь, позволяя развернуть сеть датчиков на большой территории.

3) Удаленный доступ к данным: данные с системы мониторинга доступны через интернет, которые позволяют специалистам получать информацию о состоянии воздуха из любой точки мира.

Интеллектуальный анализ данных:

1) Геопространственный анализ: объединение данных о CO_2 с GPS-координатами позволяет проводить геопространственный анализ и выявлять зоны повышенной концентрации CO_2 .

2) Интеграция с другими данными: данные о CO_2 позволяют интегрировать с другими источниками информации, такими как данные о погоде, трафике и промышленных выбросах, для более полного понимания факторов, влияющих на качество воздуха.

3. Функциональная схема

Данная схема представляет работу системы мониторинга концентрации углекислого газа (CO_2) в городской среде. Она построена на базе датчика CCS811, микроконтроллера Atmega328p, понижающего DC-DC преобразователя, GPS-модуля и Sim800L и обладает рядом уникальных особенностей и преимуществ, делающих её эффективным инструментом для анализа качества воздуха.

Функциональная схема представлена на рис.1.

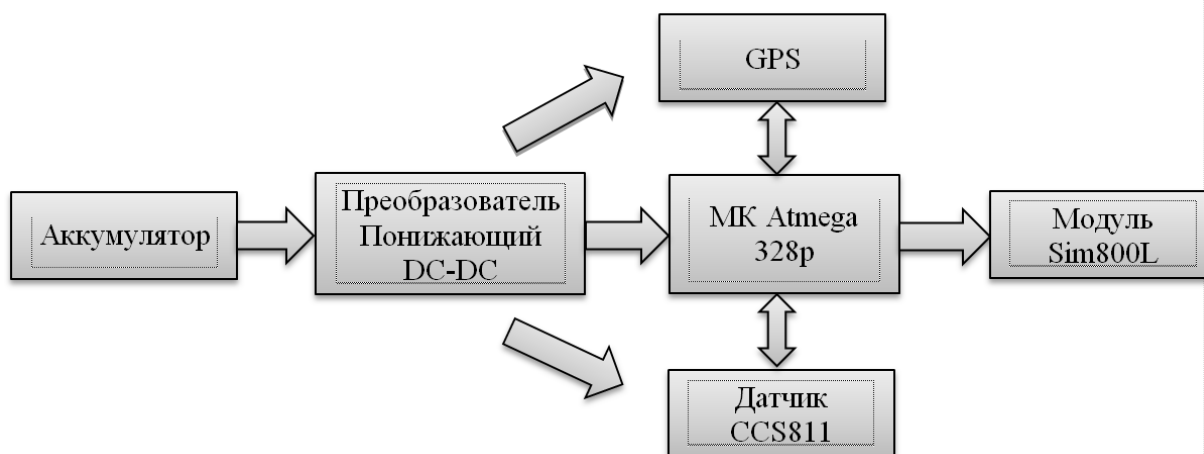


Рис.1. Функциональная схема

Принцип работы системы - измерение CO_2 . Датчики CCS811 непрерывно измеряют концентрацию углекислого газа в воздухе. Эти данные передаются на микроконтроллер, который принимает данные от датчиков, проверяет их достоверность и преобразует в удобный для передачи формат. Через выбранный интерфейс связи данные отправляются на сервер или другое устройство для хранения и анализа. GPS-модуль фиксирует координаты местоположения устройства, чтобы связать измерения CO_2 с конкретной точкой на карте. Аккумулятор обеспечивает непрерывную работу системы, а преобразователь понижающий DC стабилизирует напряжение для безопасной работы всех компонентов.

Таким образом, система мониторинга концентрации углекислого газа в городской среде представляет собой комплекс взаимосвязанных устройств, которые предназначены для сбора, обработки и передачи данных о качестве воздуха.

Заключение

Разработанная система мониторинга концентрации углекислого газа представляет эффективное и экономичное решение для анализа качества воздуха в городской среде. Её основные преимущества – автономность, компактность, мобильность, беспроводная передача данных и возможности интеллектуального анализа – делают ее ценным инструментом для регулярного мониторинга, позволяющего выявлять зоны повышенного загрязнения, оценки эффективности мер по сокращению выбросов и прогнозирования возможных экологических рисков.

Используя современные технологии, такие как сенсоры, беспроводные сети и аналитика данных, такая система способна оперативно собирать, обрабатывать и передавать информацию о содержании CO_2 в атмосфере. Таким образом, система мониторинга концентрации углекислого газа в городской среде представляет собой важный инструмент для оценки состояния окружающей среды и управления качеством воздуха в городах, позволяющий принимать обоснованные решения по улучшению экологической ситуации.

Список литературы

1. Чурсина М.А. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / М. А. Чурсина, О. П. Негрбов. — Воронеж: ВГУ, 2016. — 162 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/165257> (дата обращения: 27.03.2025)
2. Производитель микроконтроллеров Atmega: официальный сайт. - 1998-2025. — URL: <https://www.microchip.com> (дата обращения: 26.03.2025)
3. Производитель датчика Gps Neo-6: официальный сайт. - 1997-2025. — URL: <https://www.u-blox.com/en/product/neo-6-series> (дата обращения: 27.03.2025)
4. SIM800H/L Hardware Design Manual. Version 2.01. Shanghai, China: SIMCom Wireless Solutions Co., Ltd., 2018.
5. CCS811 Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality. Data Sheet. Rev. 1-00. Bosch Sensortec, 2016.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

С.Л. Гаврисенко¹, М.Н. Белая²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, slgavrisenko@sevsu.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, belaya_079@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности современных подходов к разработке и внедрению системы экологического менеджмента на радиационно-опасных объектах, как одного из элементов интегрированной системы менеджмента. Представлен алгоритм разработки системы экологического менеджмента с учётом современных требований экологической безопасности и стандартов серии ГОСТ Р ИСО 14000. Описаны основные принципы построения системы экологического менеджмента с учетом требований стандарта ГОСТ Р ИСО 14001.

Ключевые слова: атомная станция, радиационно-опасный объект, устойчивое развитие, экологическая безопасность, экологическая политика, экологический менеджмент

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM AT RADIATION-HAZARDOUS FACILITIES

S.L. Gavrisenko¹, M.N. Belaya²

¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, slgavrisenko@sevsu.ru

²Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, mnbelaya@sevsu.ru

Abstract. The article considers the features of modern approaches to the development and implementation of an environmental management system at radiation-hazardous facilities as one of the elements of an integrated management system. An algorithm for the development of an environmental management system is presented, taking into account modern environmental safety requirements and GOST R ISO 14000 series standards. The basic principles of building an environmental management system are described, taking into account the requirements of the GOST R ISO 14001 standard.

Keywords: nuclear power plant, radiation-hazardous facility, sustainable development, environmental safety, environmental policy, environmental management.

Введение. Современные условия эксплуатации опасных производных объектов требует повышенного внимания к экологической безопасности. Для данной цели создаётся и внедряется система экологического менеджмента согласно стандарта ГОСТ Р ИСО 14001. Представляет интерес рассмотреть особенности внедрения данной системы на радиационно-опасных объектах и определить основные подходы к данному процессу.

Цель – обосновать необходимость создания системы экологического менеджмента на радиационно-опасных объектах Российской Федерации и выделить основные подходы к её разработке и внедрению.

В условиях запроса современного общества на безопасные условия окружающей среды важным направлением является выработка единых требований к экологической безопасности объектов, представляющих потенциальную угрозу для условий жизнедеятельности.

В перечне таких объектов особое место занимают предприятия, эксплуатирующие источники ионизирующего излучения для различных целей, начиная от выработки энергии и заканчивая проведением научных исследований. Сейчас мы наблюдаем ренессанс ядерной энергетики с точки зрения изменения отношения современного общества к такому виду генерации энергоресурсов. Поэтому главной задачей на пути повышения доверия общества к использованию ядерной энергии является декларирование экологической безопасности радиационно-опасных объектов (далее – РОО).

По мнению Аркадова Г.В. в условиях рыночных отношений привлекательность предприятия определяется не только экономическими показателями его производственной деятельности, но и уровнем организации природопользования, охраны окружающей среды и безопасности.

В своей работе «Состояние и направление развития экологического менеджмента в ядерной энергетике» он обосновывает применение стандарта ISO 14001, как основу создания системы экологического менеджмента (далее – СЭМ) для целей обеспечения повышения качества работы атомной отрасли России. Так как мировая энергетика лидирует среди других отраслей промышленности в разработке и сертификации СЭМ и экологического менеджмента атомных станций на соответствие стандартам ISO 9001 и ISO 14001. В настоящее время уровень сертификатов соответствия этим стандартам имеет свыше 80% всех атомных станций мира [1].

Таким образом, наблюдается глобальный тренд на применение стандартов серии ISO 14000 для достижения уменьшения деструктивного воздействия на окружающую среду. Реализация данной серии стандартов должна осуществляться на международной, национальном и корпоративном уровне, через повышение качества экологического менеджмента по средствам внедрения регулирующих документов, а также исполнение национальных нормативно-правовых актов в области экологической безопасности.

Главным документом серии стандартов ISO 14000 является стандарт ISO 14001, который рекомендует организациям подход для защиты окружающей и природной среды и реагирования на изменяющиеся экологические условия в балансе с социально-экономическими потребностями. Он устанавливает требования, позволяющие организациям достигать намеченных результатов, которая она установила для ее СЭМ [2].

Предприятия атомной отрасли Российской Федерации объединены в структуре государственной корпорации по атомной энергии Росатом. Ключевые предприятия которой прошли сертификацию на соответствие СЭМ требованиям стандарта ISO 14001. Это позволило создать отраслевой нормативный документ в области охраны окружающей и природной среды «Единая отраслевая экологическая политика Госкорпорации Росатом».

Важнейшим подходом к реализации экологической политики, является система стратегического планирования на основе которой создается комплексный план реализации экологической политики Госкорпорации Росатом. Для этих целей ведущие предприятия атомной отрасли каждые три года создают планы реализации экологической политики. Важным аспектом реализации экологической политики является создание и ведение публичной экологической отчетности.

По мнению Сухонос О.Ф., общая цель публичных отчетов в атомной отрасли является повышение открытости и прозрачности Росатома, укрепление имиджа, деловой репутации и конкурентоспособности, информационная поддержка продвижение продуктов и услуг в Российской Федерации и за рубежом [3].

Принципиальным моментом на данном пути является подход на основе стандартов подготовки экологической отчетности является использование международного стандарта интегрированной отчетности и стандарта ACCOUNTABILITY серии AA1000, а также Руководства по отчетности в области устойчивого развития GRI G4.

Данные подходы позволяют устанавливать уровни прозрачности и открытости достижения целей экологического менеджмента на радиационно-опасных объектах.

Важнейшей составляющей интегрированной системы менеджмента качества РОО должна стать система экологического менеджмента, как современный подход к учёту приоритетов охраны окружающей среды при планировании и осуществлении деятельности РОО.

Этапы разработки СЭМ, согласно со стандартом ГОСТ Р ИСО 14001 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Алгоритм разработки СЭМ на РОО

Номер этапа	Название этапа
Этап 1	Анализ внешней и внутренней среды организации
Этап 2	Планирование действий (выработка стратегии) по отношению к экологическим рискам
Этап 3	Формирование экологических целей и путей их достижения
Этап 4	Анализ средств обеспечения системы экологического менеджмента
Этап 5	Планирование управления системой экологического менеджмента
Этап 6	Оценка результатов работы системы экологического менеджмента
Этап 7	Аудит функционирования системы экологического менеджмента
Этап 8	Разработка плана улучшения функционирования системы экологического менеджмента

При внедрении СЭМ, следует ориентироваться на значимые в сфере экологической безопасности подходы, которые позволяют выработать стратегию реализации экологической политики отрасли и государства.

В основу стандарта ГОСТ Р ИСО 14001 положен процессный подход, который построен на интеграции современных экологических критериев и норм в требования ко всем стадиям жизненного цикла РОО начиная от проектирования и заканчивая выводом из эксплуатации, и утилизации [4].

Данный подход предполагает управление экологическими аспектами через оптимизацию всех процессов на предприятиях. Контроль внедрения экологических стандартов на каждом этапе производства, а также постоянный мониторинг и улучшения процессов для снижения экологического воздействия. Базой для внедрения данного подхода является цикл Деминга или цикл PDSA [5-8].

Для достижения глобальных целей организации, в том числе предприятий, эксплуатирующие источники ионизирующего излучения является использование системного подхода, который предполагает рассмотрение организации, как части «глобальной экосистемы», где все процессы взаимосвязаны

При этом важно учитывать экологические аспекты на всех стадиях жизненного цикла радиационно-опасного объекта. Генеральной же задачей данного подхода является интеграция экологических целей в общую стратегию организации, эксплуатирующая радиационно-опасные объекты.

Для обеспечения предупреждения рисков необходимо использовать риск-ориентированный подход. Риск-ориентированный подход направлен на идентификацию и предупреждение экологических рисков до их возникновения, а также разработку плана действий в чрезвычайных ситуациях. Данный подход должен осуществляться исходя из принципа проактивности.

На пути достижения целей СЭМ важно коррелировать экологическую политику организации с целями устойчивого развития. Данный подход предполагает баланс между экономическими, социальными и экологическими аспектами деятельности РОО.

Следующим важным подходом является адаптивный подход, который предполагает создание динамической системы управления экологическими рисками, в условиях, изменяющихся внешней и внутренней среды РОО.

Вывод. Разработка СЭМ на РОО, а также использование описанных нами подходов, позволяет существенно улучшить качество функционирования и безопасности объектов атомной энергетики и предприятий, эксплуатирующих источники ионизирующего излучения.

Список литературы

1. Аркадов Г.В., Иванов Е.А., Серов Г.П. Состояние и направления развития экологического менеджмента в ядерной энергетике // Атомная энергия. - 2006. - №3, том 101. - С. 239-241.
2. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. – Введ. 01.03.2017. – М: Стандартиформ, 2018. – 40 с.
3. Суханос, О. Ф. Обзор систем экологического менеджмента на российских и зарубежных АЭС / О. Ф. Суханос, Д. А. Смирнова Нп // Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики : Материалы IV научно-практической конференции, Калининград, 18–19 октября 2017 года / Под ред. М.И. Орловой, Е.Е. Ежовой. – Калининград: ООО "Издательский дом "РОСТ-ДОАФК", 2017. – С. 200-204.
4. Гаврисенко, С. Л. Особенности разработки системы экологического менеджмента как элемента интегрированной системы менеджмента качества на радиационно-опасном объекте / С. Л. Гаврисенко, М. Н. Белая // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, посвященной 60-летию ТИУ : Сборник статей конференции. В 3-х томах, Тюмень, 21–23 ноября 2024 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2025. – С. 259-261.
5. Герасимова, Е. А. Анализ нормативно-правовой документации, регламентирующей планирование и проведение экологического аудита / Е. А. Герасимова, М. Н. Белая // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 16 апреля 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 65-69.
6. Белая, М. Н. Особенности проектирования лаборатории для измерения параметров окружающей и рабочей сред / М. Н. Белая, Д. Т. Джаманакоева, А. В. Калугина // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 19 мая 2022 года / Под научной редакцией Б.Н. Гузанова. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2022. – С. 11-17.
7. Белая, М. Н. Нормативное обеспечение разработки, внедрения, поддержания и сертификации интегрированных систем менеджмента / М. Н. Белая // Актуальные проблемы социально-экономического развития общества : Сборник статей участников IV Национальной научно-практической конференции, Феодосия, 17 февраля 2022 года / Редколлегия: Е.П. Губанов [и др.]. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. – С. 18-22.
8. Белая, М. Н. Техническое регулирование техносферной безопасности / М. Н. Белая // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2018 : сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Севастополь, 24–27 сентября 2018 года / под ред. Л. И. Лукиной, Н. А. Бежина, Н. В. Ляминой. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2018. – С. 166-170.

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ: ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ

Д.Т. Джаманакова¹, М.Н. Белая²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, jamanakova42@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, belaya_079@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые аспекты, подлежащие анализу для определения текущего состояния метрологической лаборатории, методологии их выявления и оценки. В статье поднимается вопрос сложности внедрения системы менеджмента качества лаборатории и рассматриваются процедуры во избежание возникновения данной ситуации. Рассмотрена важность процессов системы менеджмента качества и системы менеджмента качества в целом. Предлагается описать представленные этапы разработки системы менеджмента качества для конкретной метрологической лаборатории.

Ключевые слова: документы, записи, метрологическая лаборатория, персонал, процессы, ресурсы, система менеджмента качества

THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF THE METROLOGICAL LABORATORY: STAGES OF DEVELOPMENT

D.T. Djamanakova¹, M.N. Belaya²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, jamanakova42@gmail.com

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, belaya_079@mail.ru

Abstract. The article discusses the key aspects to be analyzed to determine the current state of the metrological laboratory, the methodology for their identification and evaluation. The article raises the issue of the complexity of implementing a laboratory quality management system and discusses procedures to avoid this situation. The importance of the processes of the quality management system and the quality management system as a whole is considered. It is proposed to describe the presented stages of the development of a quality management system for a specific metrological laboratory.

Keywords: documents, records, metrological laboratory, personnel, processes, resources, quality management system.

Введение

Метрологические лаборатории, выполняющие работы по поверке и (или) калибровке обязаны обеспечить точность и достоверность полученных результатов измерений.

Для подтверждения этих показателей возникает необходимость разработки и внедрения системы менеджмента качества (СМК), которая описывает и систематизирует процессы лаборатории. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 дает классическое понимание и представление СМК [1].

Цель исследования – сформировать основные этапы разработки системы менеджмента качества для метрологических лабораторий, выполняющие работы по поверке и (или) калибровке средств измерений.

Лаборатории, выполняющие работы по калибровке могут выбирать один из вариантов системы менеджмента качества, которые устанавливаются в ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [2]:

- по варианту А: необходимо разработать и внедрить основные процессы по: управлению документами СМК, управлению записями СМК, действиям, управлению рисками и возможностями, улучшению, управлению корректирующими действиями, управлению внутренними аудитами, анализу со стороны руководства;

- по варианту В: необходимо разработать и внедрить СМК в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001 [3], т.е. СМК должна включать действия, с помощью которых лаборатория устанавливает свои цели и определяет процессы и соответствующие ресурсы, требуемые для достижения желаемых результатов; СМК должна состоять из

управляемых и взаимодействующих процессов, требуемые для обеспечения ценности и реализации результатов для соответствующих заинтересованных сторон.

Актуальность разработки и внедрения СМК метрологических лабораторий, выполняющие работы по обеспечению единства измерений в сфере государственного регулирования, в соответствии с федеральным законом «Об обеспечении единства измерений», обосновывается выполнением критериев аккредитации [4] по разработке и внедрению СМК.

1. Анализ текущего состояния лаборатории

Важным этапом при разработке СМК лаборатории является анализ и проведение аудита лаборатории для выявления возможных ошибок и слабых сторон. Результаты аудита четко дают понять какие требования нужно соблюдать и чего не хватает для соблюдения этих требований.

Первоначально необходимо определить область деятельности лаборатории и исходя от этого определить границы системы менеджмента качества и охватываемую ею деятельность, чтобы установить область ее применения.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [3] лаборатория должна определять процессы, необходимые для СМК, и их применение в лаборатории, а также [5-10]:

- а) определить входы и выходы процессов;
- б) определить последовательность и взаимодействие всех процессов;
- в) определить и применить критерии и методы (включая мониторинг, измерения и соответствующие показатели результатов деятельности), необходимые для обеспечения результативного функционирования этих процессов и управления ими;
- г) определить ресурсы, необходимые для процессов, и обеспечить их доступность;
- д) распределить обязанности, ответственность и полномочия в отношении процессов;
- е) учесть риски и возможности;
- ж) оценить процессы и полученные результаты;
- з) улучшить процессы и СМК в целом.

Следующим этапам разработки СМК является определение перечня документов и записей СМК. Необходимо составить реестр необходимых документов, требование которых должна соблюдать лаборатория, так как документация является основой СМК.

В перечень документации может входить: руководство по качеству, политика в области качества, политика конфиденциальности и беспристрастности, положения, процедуры, регламенты, инструкции и т.д.

К записям относятся документы, подтверждающие выполнение процессов, или отдельных этапов процессов СМК.

Например, к записям лаборатории могут относиться: первичные протоколы измерений, протоколы измерений, журналы, акты, учетные карточки оборудования, учетные карточки компетентности персонала и т.д. Лаборатория самостоятельно определяет перечень и формы записей СМК.

Формы записей необходимо задокументировать и определить ответственных за их ведение.

2. Проведение обучения работников

Обучение персонала – это ключ, к становлению любой лаборатории или организации в целом, это основа, без которой невозможно представить успешное функционирование системы менеджмента качества [6].

Не стоит забывать о важности применения правильных методов и подходов, что повысит эффективность обучения и адаптации работников к новой системе.

На данном этапе необходимо проанализировать текущие знания и навыки работников, то есть выявить какие пробелы необходимо заполнить.

Следующим этапом является разработка программы обучения. Программа должна быть простой, понятной и охватывать все аспекты деятельности лаборатории, т.е. основные процессы (например, проведение поверки, проведение калибровки), а также обучение в

области управления качеством в рамках реализации СМК. Разработанная программа поможет не только поддерживать нужный объем знаний и навыков работников, а также потребуются при обучении новых сотрудников. Обучение сотрудников может проводиться в виде внешних и (или) внутренних семинаров, вебинарах, тренингов, практических занятий.

К примеру, лаборатория может провести небольшие лекции (семинары) для своих работников, на которых помогут разобрать текущие ошибки при заполнении протоколов испытаний, что в дальнейшем сократит количество ошибок при проведении этих работ.

Для правильного и успешного функционирования СМК необходимо, чтобы все работники лаборатории понимали все ее процессы, принципы и умели работать с ней.

3. Внедрение системы менеджмента качества

Разработанную систему менеджмента качества стоит внедрять пошагово, начиная с отдельных процессов, так как это позволит работникам лаборатории лучше адаптироваться к новым изменениям. Также пошаговое внедрение СМК позволит минимизировать ошибки при ее реализации, выявить недочеты в отдельных процессах и быстро их скорректировать. При внедрении новых процедур важно отслеживать их эффективность.

К примеру, лаборатория может внедрить СМК на отдельный вид работы или работы с оборудованием. Затем после адаптации и оптимизации процессов СМК можно распространить на всю деятельность лаборатории.

4. Мониторинг и совершенствование

Недостаточно просто внедрить СМК в лабораторию, необходимо проводить систематический мониторинг и совершенствование системы менеджмента качества. В ходе работы могут возникнуть ситуации, при которых те или иные процедуры окажутся лишними, что может снизить эффективность функционирования всей системы.

Важно отслеживать каждый процесс, так как это поможет оптимизировать работу всей лаборатории в целом.

Мониторинг позволит проводить качественный контроль при проведении задач в соответствии с утвержденной документацией и предупредить о потенциальных рисках, связанных с неправильным выполнением задач. Систематическое отслеживание позволит не только минимизировать ошибки, но совершенствовать текущие процессы, которые будут соответствовать ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и (или) ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

Заключение

Система менеджмента качества является основой для планирования, выполнения, мониторинга и улучшения результатов деятельности в области менеджмента качества. Система менеджмента качества не должна быть сложной, но должна точно отражать потребности лаборатории.

Рассмотренные этапы разработки СМК лаборатории представляют укрупненные шаги для первоначального восприятия СМК.

Для понимания СМК необходимо детальное рассмотрение представленных этапов разработки СМК для конкретной лаборатории.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Техэксперт» – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124393>
2. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : Межгосударственный стандарт : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июля 2019 г. N 385-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2019 г. – Текст электронный // КонсультантПлюс : справ. правовая система. — 1992. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332887/ (дата обращения: 25.03.25). — Режим доступа: из локальной сети Севастопольского государственного университета
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Техэксперт» – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394>
4. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя,

аккредитованного лица критериям аккредитации» – Текст электронный // КонсультантПлюс : справ. Правовая система. — 1992. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367928/ (дата обращения: 23.03.25). — Режим доступа: из локальной сети Севастопольского государственного университета.

5. Налбандян, Э. М. К вопросу об управлении рисками и возможностями в условиях метрологической лаборатории / Э. М. Налбандян, Э. М. Денисова, М. Н. Белая // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, посвященной 15-летию Института промышленных технологий и инжиниринга : Сборник статей конференции. В 3-х томах, Тюмень, 16–18 ноября 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 253-255.

6. Денисова, Э. М. Разработка алгоритма процедуры управления персоналом в условиях измерительной лаборатории / Э. М. Денисова, Е. А. Герасимова // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 15–18 апреля 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 387-391.

7. Налбандян, Э. М. Разработка процедуры системы менеджмента качества "Управление рисками и возможностями" в условиях поверочной лаборатории / Э. М. Налбандян // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 15–18 апреля 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 399-404.

8. Калугина, А. В. Формирование требований беспристрастности для поверочной лаборатории / А. В. Калугина, М. Н. Белая // Современные технологии и реверс-инжиниринг : Сборник статей Всероссийских научно-практических конференций, Севастополь, 17 апреля – 12 2023 года / Гл. редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 119-121.

9. Денисова, Э. М. Метрологическая прослеживаемость поверочных работ / Э. М. Денисова, М. Н. Белая // Современные технологии и реверс-инжиниринг : Сборник статей Всероссийских научно-практических конференций, Севастополь, 17 апреля – 12 2023 года / Гл. редактор О.В. Мухина. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 122-124.

10. Садвокасов Б. С., Темербаева Ж. А. Разработка и внедрение системы менеджмента качества на предприятии // Вестник науки. 2020. №4 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-vnedrenie-sistemy-menedzhmenta-kachestva-na-predpriyatii> (дата обращения: 28.03.2025).

УДК 534.21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАТЕРИАЛАХ И КОНСТРУКЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ ВОЛН РЭЛЕЯ

И.В. Ерофеева^{1,2}, В.М. Родюшкин¹

¹Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова – Грехова Российской академии наук», г. Нижний Новгород, 603024, Россия, erofeewa.ira2014@yandex.ru, vlkn2005@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, 603022, Россия, erofeewa.ira2014@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования акустоупругого эффекта, возникающего при распространении в поле изгибных статических напряжений поверхностных ультразвуковых волн, называемых волнами Рэлея. На примере образца из стали Ст20 показано, что количественный эффект акустоупругости различен при сжатии и при растяжении. Для поверхностных волн Рэлея построен градуировочный график, который позволяют использовать волны Рэлея для контроля напряжений при изгибе, что при объемном зондировании невозможно.

Ключевые слова: Ультразвуковая поверхностная волна, модуль упругости, напряжение, акустоупругость.

DETERMINATION OF BENDING MECHANICAL STRESSES IN MATERIALS AND STRUCTURES USING RAYLEIGH WAVES

I.V. Erofeeva^{1,2}, V.M. Rodyushkin¹

¹«Federal Research Center A.V. Gaponov – Grekhov Institute of Applied Physics of RAS»,
Nizhny Novgorod, 603024, erofeewa.ira2014@yandex.ru, vlkn2005@yandex.ru

²FSAEI HE «National Research Lobachevsky State University», Nizhny Novgorod, 603022, Russia,
erofeewa.ira2014@yandex.ru

Abstract. The results of an experimental study of the acoustoelastic effect arising from the propagation of ultrasonic waves called Rayleigh waves in the field of bending static stresses are presented. Using a sample of St20 steel as an example, it is shown that the quantitative effect of acoustoelasticity is different under compression and tension. A calibration graph is constructed for Rayleigh surface waves, which allows using Rayleigh waves to control bending stresses, which is impossible with volumetric probing.

Keywords: Ultrasonic surface wave, elastic modulus, stress, acoustoelasticity.

Введение

Многие знают об успешном применении ультразвука в медицине. А можно ли использовать ультразвук в технике, например для определения величины механических напряжений, действующих в элементах конструкции инженерных сооружений?

Известно, что, измеряя скорость ультразвука в напряженном материале и сравнивая ее с той, что отвечают его «спокойному» состоянию, можно определить величину внутреннего напряжения без какого-либо повреждения испытуемого материала [1]. Существует нормативный документ, определяющий основные положения неразрушающего метода контроля за механическими напряжениями, основанного на эффекте акустоупругости [2]. Однако в большинстве публикаций, включая вышеназванные, исследованию подвергаются листовые материалы, то есть элементы с плоскопараллельными плоскостями. В этом случае измеряемые напряжения есть усредненные величины по объему ультразвукового пучка, определяемого поперечными размерами зондирующего луча и толщиной материала. Упругоакустические коэффициенты определяют при проведении испытаний на растяжение плоских образцов, не рассматривая, видимо в силу малой востребованности состояния сжатия элементов конструкций и необходимости измерения сжимающих напряжений. В силу вышеназванных особенностей метода при определении изгибных механических напряжений в материалах и конструкциях измерения с помощью ультразвука, основанные на эффекте акустоупругости, будут некорректными. Измерение напряжений неразрушающим методом [3] крайне важно для целого ряда применений, поскольку появление их в материале приводит к появлению и росту внутренних дефектов, что может привести затем к его разрушению.

Цель исследования – демонстрация того, что изгибные механические напряжения могут быть определены методом акустоупругости с использованием ультразвуковых поверхностных волн Рэлея.

8. Объемные и поверхностные волны. Эффект акустоупругости

Известно, что важнейшими характеристиками напряженно-деформированного состояния твердого тела являются деформация (ε), тензор напряжения (σ), вызванное деформацией и перемещение (u) той или иной точки объема, вызванное деформацией.

При упругом поведении материала напряжение и деформация связаны законом Гука:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга.

Первая публикация английским физиком Робертом Гуком закона (1) датирована 1678 годом, но автор в том сочинении указал, что еще за 18 лет до издания книги он открыл основной закон теории упругости. Желая получить патент на его приложения, он не опубликовал тогда его, а скрыл в анаграмме, напечатанной на полях другой своей книги

(более ранней): *ceiinossstut*, которая должна обозначать *ut tension sic vis*, т.е. «каково растяжение, такова и сила» [4].

Деформации, входящие в закон Гука, подразделяются на деформации расширения-сжатия, отвечающие за изменение объема твердого тела при неизменной его форме и деформации сдвига, отвечающие за изменение формы твердого тела при неизменном его объеме.

Если на твердое тело оказано динамическое воздействие, деформации в его материале будут распространяться в виде упругих волн: волны расширения-сжатия и волны сдвига.

Скорость волны расширения-сжатия определяется по формуле:

$$c_l = \sqrt{E(1 - \nu)/(1 + \nu)(1 - 2\nu)\rho}, \quad (2)$$

где ρ – плотность материала, ν – коэффициент Пуассона.

Скорость волны сдвига определяется по формуле:

$$c_\tau = \sqrt{E/2(1 + \nu)\rho}. \quad (3)$$

Скорости волн (1) и (3) постоянны для каждого материала, причем, c_l всегда больше, чем c_τ .

В 1885 г. английский ученый лорд Рэлей теоретически показал, что вдоль плоской границы твердого упругого полупространства с вакуумом или достаточно разреженной средой (например, с воздухом) могут распространяться волны, амплитуда которых быстро спадает с глубиной. Эти волны были названы впоследствии поверхностными волнами Рэля. Поверхностная волна распространяется медленнее, чем каждая из объемных волн.

В 1959 году Бенсон Р. и Рилсон В. [5] экспериментально обнаружили, что скорости сдвиговых волн c_τ , распространяющиеся в образцах одного и того же материала, отличаются друг от друга в зависимости от того, был образец свободен от нагрузки или подвергался сжатию. Значит, формула (3) верна только для скорости сдвиговой волны, распространяющейся в ненагруженном образце, а для нагруженного образца скорость будет зависеть от напряжения. Это означает, что, вычисляя по формуле (3) скорость волны в ненагруженном образце и сравнивая ее со скоростью волны, измеренной в нагруженном образце, можно определить имеющиеся в материале напряжения.

Позднее обнаружилось, что и значения скорости волны расширения-сжатия, и значения скорости поверхностной волны Рэля, распространяющихся в нагруженных образцах, будут отличаться от тех значений, которые задаются формулами (2) и (3). Значит и волны расширения-сжатия, и волны Рэля можно, как и волны сдвига, использовать для измерения механических напряжений в материалах и элементах конструкций. Зависимость скорости распространения упругой волны в материале от напряжений принято называть эффектом акустоупругости [3, 6, 7].

С помощью объемных волн расширения-сжатия и сдвига хорошо измеряются напряжения, вызванные растягивающими или сжимающими воздействиями, но напряжения, вызванные изгибом образца, эти волны отследить не могут. Волны показывают напряженное состояние, усредненное по толщине образца. Но если образец материала подвергался изгибу, то все его продольные волокна, находящиеся выше срединной линии поперечного сечения, будут растягиваться, а все продольные волокна, находящиеся ниже срединной линии, будут сжиматься. Объемные волны в таком случае покажут, что напряжения в образце отсутствуют, но это не так. Значит для определения напряжений, вызванных изгибом, нужно использовать такие волны, которые покажут не среднее значение по сечению, а максимальные значения напряжений. Максимальные значения изгибных напряжений будут на поверхности образца и такие напряжения должна позволить измерить поверхностная волна Рэля.

9. Проведение экспериментальных исследований и обсуждение их результатов

Экспериментальное исследование взаимосвязи скорости распространения волны Рэля и уровня изгибных напряжений проводилось в калибровочном образце (КО) из стали 20 размерами 370x8x30 мм.

В качестве жесткой заделки использовался захват испытательной машины, куда одним концом устанавливался КО – упругий элемент с постоянным сечением. Другой конец упругого элемента оставался свободен. Путем контролируемого перемещения свободного

конца упругого изгибаемого элемента создавалось поле изгибных деформаций. Поверхностная волна Рэлея создавалась пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) фирмы «Алтес» – П121-2,0-90S на частоте колебания 2МГц. Длина волны при скорости распространения примерно 3000 м/с равна 1,5 мм, что позволяет использовать ее для контроля за изгибными напряжениями на образце 8 мм, т.к. глубина проникновения поверхностной волны внутрь материала составляет 1,5-2 длины волны [8].

Излучающий и приемный ПЭП устанавливались на фиксированное расстояние друг от друга с помощью механического устройства УКП2, изображенного на рис.1. Возбуждение излучающего ПЭП осуществлялось с помощью дефектоскопа А1214, с приемного ПЭП сигнал поступал на измеритель временных интервалов, в качестве которого использовался осциллограф Tektronix TDS2022 с разрешением по времени 1 нсек.



Рис. 1. Внешний вид комплексного акустического датчика

Процедура измерений состояла в следующем: комплексный акустический датчик крепился на поверхности КО, где будет происходить сжатие поверхностного слоя; на экране наблюдалась осциллограмма сигнала от прошедшего по поверхности образца импульса упругих поверхностных волн; определялась отсчетная (реперная) точка в сигнале с приемного ПЭП с помощью Tektronix TDS2022 с разрешением по времени 1 нсек. при отсутствии отклонения свободного конца упругого элемента от его ненапряженного положения; задавалось перемещение свободного конца упругого изгибаемого элемента, контролируемое измерительным инструментом в мм; фиксировался сдвиг осциллограммы относительно опорной точки: Δt в нсек с помощью осциллографа. Для каждого значения перемещения δ мм. проводились 5 наблюдений Δt в нсек. представленные в таблицу 1. Установив акустический тензометр (ПЭП) на поверхности КО, где будет происходить растяжение поверхностного слоя, осуществляем аналогичные вышеописанным действия и заносим результаты наблюдений в таблицу 2.

Таблица 1. Сжатие. Задержка увеличивается

δ , мм		0	2	3	5	7	
Δt , нсек	1	0	5	5	9	15	
	2	0	5	6	8	13	
	3	0	5	6	8	10	
	4	0	4	6	8	11	
	5	0	4	6	8	13	
среднее		-	0	4,6	5,8	8,2	12,4

Таблица 2. Растяжение. Задержка уменьшается

δ , мм		0	2	3	5	7	
Δt , нсек	1	0	1	1	3	6	
	2	0	1	1	3	4	
	3	0	0	1	2	4	
	4	0	1	1	2	4	
	5	0	1	1	2	4	
среднее		-	0	0,8	1	2,4	4,4

Искомая величина – напряжение изгиба в точке установки акустического тензометра (ПЭП) определяются по формуле (1), где деформации ε определяются путем пересчета измеряемого перемещения свободного конца упругого изгибаемого элемента (прогиба δ) [9]

$$\varepsilon = \frac{3ah}{2l^3} \delta, \quad (4)$$

где ε – деформация в месте установки тензорезистора вдоль консоли; δ – перемещение свободного конца упругого изгибаемого элемента; a – расстояние от свободного конца изгибаемого элемента до места установки тензометра; l – длина изгибаемого элемента; h – толщина изгибаемого элемента.

Таблица 3. Результаты определения изгибных механических напряжений с помощью ультразвука

δ , мм	ε	σ , МПа
2	$8,0 \cdot 10^{-5}$	16,0
3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	24,0
5	$2,0 \cdot 10^{-4}$	40,0
7	$2,8 \cdot 10^{-4}$	56,0

На испытательной машине Tinius Olsen получена диаграмма растяжения образца из материала Ст20, из которой следует: предел прочности материала равен 463 МПа, модуль упругости $E = 211,0$ ГПа.

Из сравнения таблиц 1 и 2 с таблицей 3 получаем связь между измеряемым параметром – задержкой: времени распространения упругого импульса волн Рэлей в поверхностном слое, находящимся под воздействием изгибных напряжений, и подлежащим измерению параметром – напряжению изгиба. Удобно вышеупомянутое сравнение отобразить в виде графика для изгибных напряжений, представленного на рис.2.

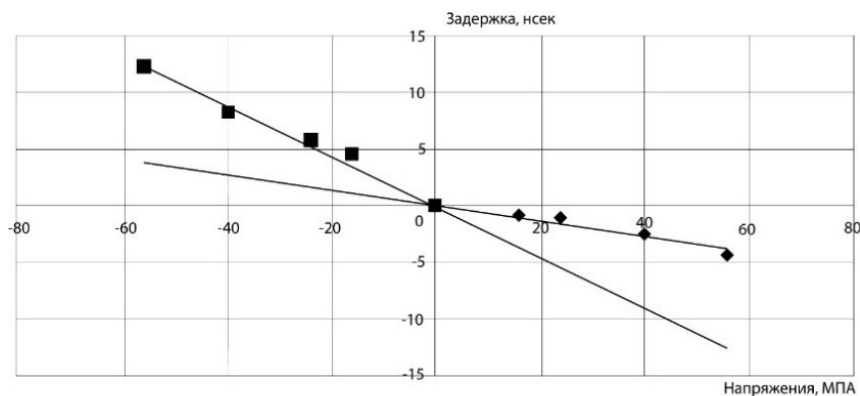


Рис. 2. Градуировочный график для изгибных напряжений

Как видим, линейная функция с вероятностью более 90% описываются полученные данные, что согласуется с выводами большинства исследователей акустоупругости о линейном характере зависимости относительного изменения времени распространения объемных и поверхностных ультразвуковых волн от приложенного напряжения. Следует заметить, что задержка – время распространения поверхностных ультразвуковых волн на фиксированной базе между ПЭП определяется не только напряжениями, но и геометрией поверхности образца. Плоская поверхность между приемным и излучающим ПЭП за счет изгиба получает некую вогнутость, тем самым увеличивая пробег ультразвука, в то время как расстояние между ПЭП остается равно хорде, удерживающей точку ввода и приема ультразвука. Используя уравнения для смещения поверхности консоли [9] – один конец которой жестко закреплён, а второй отклоняется на максимальную в нашем эксперименте величину (7 мм), проведена оценка разности траекторий: по хорде (147 мм) и по выгнутой поверхности между ПЭП. Величина «геометрической» задержки составила 0,7 нсек. Очевидно, что при меньших изгибах и меньшей базе между ПЭП эта величина становится исчезающе малой.

Заключение

3. Количественный эффект акустоупругости различен при сжатии и при растяжении.
4. При напряжениях сжатия и растяжения акустоупругие коэффициенты имеют противоположные знаки.
5. При соответствующей тарировке поверхностные волны Рэля позволяют контролировать напряжения при изгибе, что при объемном зондировании невозможно.

Список литературы

1. Гузь А.Н., Махорт Ф.Г., Гуца О.И. Введение в акустоупругость. – Киев: Наукова думка. 1977. – 152 с.
2. ГОСТ Р 56664-2015 Контроль неразрушающий. Определение напряженного состояния материала изделий машиностроения методами акустоупругости. Общие требования. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2015 г. № 1615-ст. – М.: Стандартинформ. 2016. – 15 с.
3. Неразрушающий контроль. Том 4. Справочник. Под общ. ред. В.В. Клюева / Кн. 1. В.А. Анисимов, Б.И. Каторгин, А.Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. – М.: Машиностроение. 2004. – 736 с.
4. Введение в математическое моделирование. Учебное пособие. Под ред. П. В. Трусова. – М.: Логос. 2004. – 440 с.
5. Benson R.W., Raelson V.J. From ultrasonics to a new stress-analysis technique. Acoustoelasticity // Production Engineering. 1959. – Vol. 30. – P.56–59.
6. Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения. – Нижний Новгород: ТАЛАН, 2005. – 208 с.
7. Углов А.Л., Ерофеев В.И., Смирнов А.Н. Акустический контроль оборудования при изготовлении и эксплуатации / ответственный редактор академик Ф.М. Митенков. – М.: Наука, 2009. – 280 с.
8. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. – М.: Наука. 1966. – 168 с.
9. Салахутдинов Ш.А. Перемещения при изгибе. Методические указания для студентов. – Екатеринбург: УГЛТУ. 2010. – 44 с.

УДК 006.91

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАЛИБРОВОЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ: ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ И НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

А.В. Суходуб¹, М.Н. Белая²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, anastaciasuhodub@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299001, Россия, belaya_079@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются основные законодательные и нормативные документы, регулирующие метрологическое обеспечение лабораторий, осуществляющих калибровку средств измерений. Метрологическое обеспечение является важным аспектом деятельности лабораторий, проводящие работы в области обеспечения единства измерений. Законодательная база и нормативные акты регулируют различные аспекты этой деятельности, начиная от требований к квалификации персонала до правил проведения калибровки и оформления результатов.

Ключевые слова: аккредитация, калибровка, лаборатория, метрологическое обеспечение, обеспечение единства измерений, средство измерений, требование.

METROLOGICAL SUPPORT FOR THE ACTIVITIES OF CALIBRATION LABORATORIES: LEGISLATIVE AND REGULATORY REQUIREMENTS

A.V. Suhodub¹, M.N. Belaya²

¹FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, anastaciasuhodub@yandex.ru

²FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol, 299001, Russia, belaya_079@mail.ru

Abstract. The article discusses the main legislative and regulatory documents regulating the metrological support of laboratories that calibrate measuring instruments. Metrological support is an important aspect of the activities of laboratories that carry out work in the field of ensuring the uniformity of measurements. The legislative framework and regulations regulate various aspects of this activity, ranging from personnel qualification requirements to the rules for calibration and registration of results.

Keywords. accreditation, calibration, laboratory, metrological support, ensuring the uniformity of measurements, measuring instrument, requirement

Введение

В условиях стремительного развития технологий и увеличения требований к точности измерений, проблема метрологического обеспечения лабораторий, занимающихся калибровкой средств измерений, становится особенно актуальной [1-4]. Неправильные или неточные измерения могут привести к серьезным последствиям в различных отраслях, от медицины до промышленности, что подчеркивает необходимость строгого соблюдения законодательных и нормативных требований в этой области.

Цель исследования – определение основных законодательных и нормативных требований к метрологическому обеспечению лабораторий, выполняющие калибровку средств измерений.

1. Законодательная база

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» устанавливает правовую основу для обеспечения единства измерений в Российской Федерации. Закон определяет основные понятия в области обеспечения единства измерений (ОЕИ), устанавливает обязательные сферы государственного регулирования в области ОЕИ и определяет формы государственного регулирования в области ОЕИ и требования к данным формам ОЕИ [5]. В соответствии со статьей 11 ФЗ № 102-ФЗ калибровка средств измерений не относится к формам государственного регулирования в области ОЕИ. Во главе 4 ФЗ № 102-ФЗ устанавливаются требования к процедуре калибровки средств измерений. В соответствии с данной главой, средства измерения, которые не предназначены для применения в сферах государственного регулирования могут подвергаться калибровке при необходимости по желанию заявителя (производителя продукции, исполнителя услуг и т.д.).

Постановление Правительства РФ № 879 от 31 октября 2009 года «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации» играет важную роль в установлении правовых основ метрологии в стране. Оно направлено на обеспечение единства измерений и гармонизацию российских стандартов с межгосударственными и международными требованиями.

2. Нормативная база

Основные положения к метрологическому обеспечению отражаются в стандарте ГОСТ Р 8.820-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения». Данный стандарт направлен на деятельность организаций и предприятий, выпускающих продукцию, выполняющих работы или предоставляющих услуги в различных сферах деятельности. Применение стандарта в условиях калибровочной лаборатории направлено на определение предмета метрологического обеспечения калибровки (МОК), цели МОК, объектов МОК, элементов и процессов МОК.

Лаборатории, претендующие на аккредитацию в области выполнения работ по калибровке средств измерений должны соблюдать требования стандарта ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» устанавливает требования к компетентности и качеству работы лабораторий, выполняющих испытания и калибровку. Стандарт служит основой для лабораторий, претендующих на аккредитации в национальной системе аккредитации. Для организации деятельности калибровочной лаборатории и систематизации процессов и документированных процедур лаборатории целесообразно применять на добровольной основе требования данного стандарта, т.к. применение данного стандарта позволит лабораториям описать всю деятельность лаборатории с последующим внедрением и отработкой данных

требований в лабораторной деятельности. Стандарт определяет требования к [6]: беспристрастности и компетентности лаборатории; структуре лаборатории; ресурсам (в зависимости от специфики лаборатории, к ресурсам можно отнести не только персонал, средства измерения, а также испытательное оборудование, вспомогательное оборудование и стандартные образцы); метрологической прослеживаемости; продукции и услугам (в данном случае продукцией могут быть закупаемые средства измерения, оборудование, стандартные образцы. Под услугами можно понимать поверку или аттестацию, а также повышение квалификации или переподготовку персонала лаборатории и т.д.); процессу, т.е. требования к калибровке (от рассмотрения запросов до оформления результатов калибровки и выдачи сертификатов калибровки (при положительных результатах калибровки)); процессу выбора, верификации (при необходимости к процессу валидации) методов или методик калибровки; требования к всему процессу калибровки начиная с приема СИ на калибровку и заканчивая оформлением результатов калибровки; записям калибровки, в том числе техническим; требования расчету и оцениванию неопределенности; предоставлению жалоб; управлению несоответствующей работой; управлению данными и информацией, при подготовке к калибровке, проведению калибровки и оформлению результатов калибровки; системе менеджмента качества (СМК).

Требования к системе менеджмента качества, в обязательном порядке, должны включать установленный перечень документов системы менеджмента качества, а также процедуры управления документами СМК, записями СМК, управление рисками и возможностями лаборатории, управление улучшениями и корректирующими действиями, управление внутренними аудитами СМК и анализ со стороны высшего руководства.

Для реализации требований аккредитации лаборатории необходимо выполнять требования в отношении неопределенности при калибровках и требования по прослеживаемости результатов измерений. Следовательно, система менеджмента качества калибровочной лаборатории должна отражать положения нормативных документов Р 50.1.109-2016 «Политика ИЛАК в отношении неопределённости при калибровках» и Р 50.1.108-2016 «Политика ИЛАК по прослеживаемости результатов измерений».

Калибровка средств измерений проводится по методикам калибровки. Методики калибровки разрабатываются и утверждаются лабораторией или руководством организации, в состав которой входит калибровочная лаборатория, учитывая требования ГОСТ 8.010-2013, ГОСТ Р 8.563-2009 и ГОСТ Р 8.879-2014.

При разработке методик по расчету неопределенности измерений учитывают рекомендации ГОСТ 34100.1-2017 и ГОСТ 34100.3-2017.

Проверить квалификацию лаборатории можно через участие и (или) проведение межлабораторных сличений измерений при соблюдении требований и методических рекомендаций для проверки качества калибровочных работ в соответствии с Р 50.2.050-2005 «Государственная система обеспечения единства измерений. Средства поверки одинакового уровня точности. Проверка качества поверочных и калибровочных работ посредством межлабораторных сличений. Алгоритмы обработки результатов измерений». Необходимо отметить, что для лабораторий, претендующих на аккредитацию, или лабораторий подтверждающие свою компетентность в системе национальной аккредитации межлабораторные сличения измерения являются обязательным критерием аккредитации [7].

В рамках организации метрологического обеспечения калибровочных работ и при разработке документации по метрологическому обеспечению целесообразно применять РМГ 29-2013 и РМГ 120-2013 устанавливающие единую терминологию и общую процедуру калибровки средств измерений [8].

3. Требования к персоналу

Важным элементом метрологического обеспечения калибровочных работ является квалификация персонала. Согласно нормативным документам, сотрудники лабораторий должны обладать необходимыми знаниями и навыками для проведения калибровочных работ. Это включает понимание принципов работы используемых средств измерений, знание соответствующих стандартов и умение правильно использовать полученные данные.

Требования к квалификации устанавливаются каждой лабораторией самостоятельно, учитывая требования профессионального стандарта «Специалист по метрологии», а также учитывая, выполняемые задачи лабораторией [9]. Например, если лаборатория планирует проходить аккредитацию в национальной системе аккредитации, то целесообразно рассмотреть требования к персоналу, установленные в критериях аккредитации для организаций, оказывающие услуги в области обеспечения единства измерений.

Проблемы и перспективы

Несмотря на наличие развитой нормативно-правовой базы, существует ряд проблем, связанных с внедрением современных технологий и автоматизацией процессов метрологического обеспечения. Одной из таких проблем является недостаточная интеграция информационных систем между различными участниками цепочки поставок услуг по калибровке. Другая проблема заключается в сложности адаптации существующих стандартов к новым технологиям и методикам измерений.

Также необходимо отметить сложность при проведении (организации) межлабораторных сличений. Так как лабораторные сличения проводятся аккредитованными провайдерами, то в настоящее время, наблюдается недостаток в количестве аккредитованных провайдеров на проведение калибровочных работ специализированных средств измерений.

Заключение

Анализ законодательной и нормативной документации по метрологическому обеспечению показал полноту и высокую степень регламентации метрологических требований к калибровочным работам. Однако существуют некоторые проблемы, связанные с внедрением новых технологий и адаптацией стандартов к современным условиям, наличие аккредитованных провайдеров на отдельные виды измерений.

Список литературы

1. Налбандян, Э. М. К вопросу об управлении рисками и возможностями в условиях метрологической лаборатории / Э. М. Налбандян, Э. М. Денисова, М. Н. Белая // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, посвящённой 15-летию Института промышленных технологий и инжиниринга : Сборник статей конференции. В 3-х томах, Тюмень, 16–18 ноября 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 253-255.
2. Чепкова И.Ф., Крейнин С.В., Пономарева О.И. Межлабораторные сравнительные (сличительные) испытания как доказательная база компетентности лабораторий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. - № 84(2). - С. 70-72. -. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-2-70-72
3. Джаманакowa, Д. Т. Анализ и выявление рисков в калибровочной лаборатории / Д. Т. Джаманакowa, М. Н. Белая // Ресурсосберегающие технологии в контроле, управлении качеством и безопасности : Сборник научных трудов XI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, Томск, 08–10 ноября 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 61-65.
4. Гоголева, Д. Д. Анализ рисков работ метрологической службы / Д. Д. Гоголева, М. Н. Белая // Ресурсосберегающие технологии в контроле, управлении качеством и безопасности : Сборник научных трудов XI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, Томск, 08–10 ноября 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 51-54.
5. Федеральный закон № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений". - Текст: электронный // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума "Кодекс": официальный сайт - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902107146> (дата обращения: 20.03.2025).
6. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. - Текст: электронный // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума "Кодекс": официальный сайт - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166732>
7. Калугина, А. В. Разработка алгоритма проверки качества испытаний посредством межлабораторных сличений / А. В. Калугина // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 15–18 апреля 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 395-398.
8. Гоголева, Д. Д. Система управления рисками и возможностями в работе метрологической службы / Д. Д. Гоголева, М. Н. Белая // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева : сборник статей Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева, Тюмень, 24–26 ноября 2022 года. Том 2. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 365-368.
9. Денисова, Э. М. Разработка алгоритма процедуры управления персоналом в условиях измерительной лаборатории / Э. М. Денисова, Е. А. Герасимова // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 15–18 апреля 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 387-391.

БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИА.А. Хромушина¹, А.А. Крансуцкая²

¹ ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, 105005, Россия,
khromushinaaaa@student.bmstu.ru

² ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, 105005, Россия,
kranutskaya@bmstu.ru

Аннотация. Предложено решение для контроля шероховатости деталей, изготовленных селективным лазерным плавлением, непосредственно при процессе наращивания. Показан измерительный канал предлагаемой системы машинного зрения и рассчитана точность системы.

Ключевые слова: Машинное зрение, контроль поверхности, селективное лазерное плавление (СЛП), измерительный канал, шероховатость.

NON-CONTACT SURFACE ROUGHNESS CONTROLА.А. Khromushina¹, А.А. Kransutskaya²

¹ FSAEI HE « Bauman Moscow State Technical University », Moscow, 105005, Russia,
khromushinaaaa@student.bmstu.ru

² FSAEI HE « Bauman Moscow State Technical University », Moscow, 105005, Russia,
kranutskaya@bmstu.ru

Abstract. A solution is proposed to control the roughness of parts made by selective laser melting directly during the build-up process. The measuring channel of the proposed machine vision system is shown and the accuracy of the system is calculated.

Keywords: Machine vision, surface measurements, selective laser melting (SLM), measuring channel, roughness.

Введение

Современные промышленные установки селективного лазерного плавления (далее – СЛП) являются закрытыми «черными ящиками», которые позволяют изготовить детали с использованием нескольких отобранных порошков и фиксированными рабочими параметрами, соответствующими данному порошку. Интеграция в оптическую систему установки СЛП дополнительных измерительных приборов является дорогостоящим и трудоемким процессом, но без знаний о процессах, происходящих в зоне консолидации порошка под воздействием лазерного излучения, затруднительно повысить производительность технологии СЛП и качество изготавливаемых объектов.

Одним из ключевых аспектов, влияющих на эксплуатационные характеристики деталей, является шероховатость поверхности, которая определяет такие параметры, как трение, износостойкость и адгезия. Процесс СЛП может приводить к различным дефектам поверхности, что делает необходимым внедрение систем контроля качества в реальном времени. В данной статье рассматривается разработка системы контроля шероховатости поверхности деталей, изготовленных методом СЛП, с использованием технологий машинного зрения [1].

Цель исследования – улучшение метрологического обеспечения производства деталей селективного лазерного плавления при помощи системы машинного зрения на базе бесконтактного контроля.

1. Измерительный канал

Разрабатываемая система машинного зрения используется для сбора информации о поверхности детали и контроля ее качества. Она работает на основе компьютерного зрения и позволяет системе распознавать дефекты, определять их форму, размер, цвет и т.д.

Функциональная схема системы (рис. 1), которая состоит из устройства управления лазером (УУ), лазера (ОУ), прибора (термогигрометр), который измеряет условия в помещении, и системы машинного зрения (СМЗ), которая контролирует шероховатость поверхности изготавливаемой лазером детали, представляет собой комплексную систему, которая используется для контроля качества и точности изготовления деталей с помощью лазерной технологии.

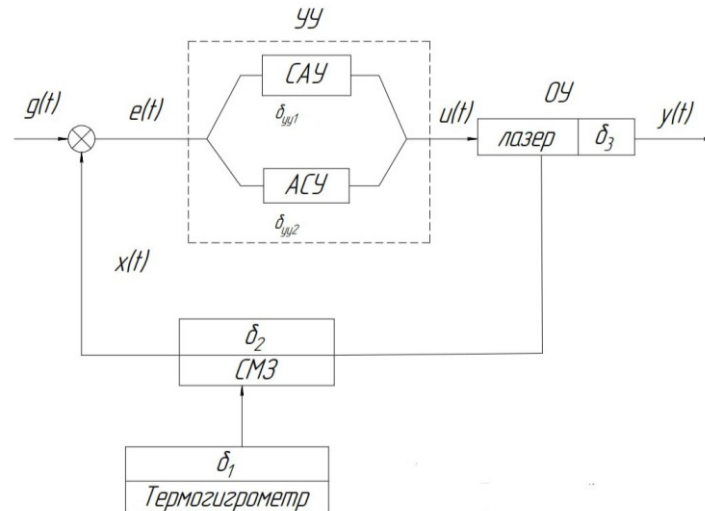


Рис. 1. Функциональная схема, где δ_1 – погрешность от воздействия окружающей среды на систему машинного зрения; $\delta_{yy1}, \delta_{yy2}$ – погрешности устройства управления лазером; δ_2 – погрешность системы машинного зрения; δ_3 – погрешность лазера; УУ – устройство управления; САУ – устройство управления лазером, включающее воздействие на систему оператором; АСУ – полностью автоматизированная система управления; ОУ – объект управления; СМЗ – система машинного зрения; $g(t)$ – опорное значение шероховатости поверхности; $e(t)$ – значение шероховатости, передаваемое устройству управления лазером; $u(t)$ – значение шероховатости, передаваемое лазеру; $y(t)$ – действительное значение шероховатости поверхности; $x(t)$ – разница между опорным и действительными значениями шероховатости.

Устройство управления лазером используется для генерации лазерного излучения, которое направляется на поверхность детали. Лазер работает на определенной длине волны, которая позволяет собирать информацию о физических свойствах материала детали, таких как его форма, размер, текстура и т.д.

Прибор, который измеряет условия в помещении, используется для сбора информации о физических условиях в рабочей зоне, таких как температура, влажность, освещенность и т.д. Этот прибор может быть снабжен различными датчиками, которые позволяют измерять различные параметры.

Контроль шероховатости поверхности детали является важной частью процесса изготовления деталей с помощью лазерной технологии. Шероховатость поверхности может влиять на качество и функциональность детали. Система машинного зрения позволяет автоматически контролировать шероховатость поверхности детали и принимать меры по ее улучшению, если необходимо.

Группы погрешностей комплексной системы и причины их возникновения:

- Погрешности от влияния окружающей среды: влияние температуры Δ_t , влияние давления Δ_p , влияние влажности Δ_ϕ .
- Погрешности системы машинного зрения: влияние освещения $\Delta_{осв}$, влияние отсчитывания $\Delta_{отсч}$, влияние точности считывания темных участков Δ_t , влияние разрешения камеры Δ_p , влияние частоты кадров и экспозиции Δ_d
- Погрешности установки СЛП,
- Погрешность системы сканирования,
- Погрешность перемещения бункера,
- Погрешности линий связи $\Delta_{л.с.}$,

- Погрешность контроллера Δ_k ,
- Погрешность компаратора $\Delta_{\text{комп}}$,
- Погрешность вычислительного устройства $\Delta_{\text{в.ч.}}$.

Таким образом, суммарная погрешность измерительного канала:

$$\Delta_i = \Delta_t * \Delta_p * \Delta_\varphi * \Delta_{\text{осв}} * \Delta_{\text{отсч}} * \Delta_T * \Delta_p * \Delta_d * \Delta_{\text{л.с.}} * \Delta_k * \Delta_{\text{комп}} * \Delta_{\text{в.ч.}}, \quad (1)$$

Возьмем участок схемы, изображенной на рис. 1 и построим измерительный канал для системы машинного зрения (рис. 2).

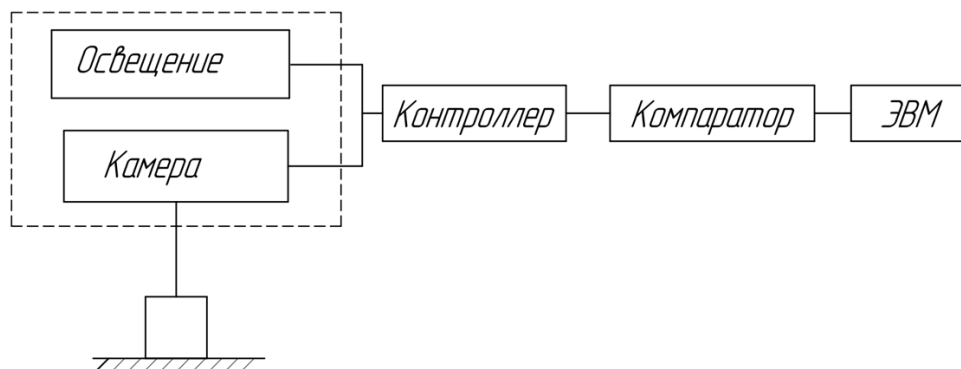


Рис. 2. Измерительный канал системы машинного зрения

В данной работе остановимся на расчете погрешностей, связанных с первичным преобразователем, т.е. камерой.

Влияние отсчитывания

Для оценки погрешности отсчитывания необходимо рассчитать величину расстояния между двумя максимально удаленными друг от друга границами области разрешения, определяющими ее длину ΔW . В результате ΔW может быть вычислено согласно выражению [2]:

$$\Delta W = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Z^2} \quad (2)$$

$$\Delta W = \sqrt{0,02^2 + 0,02^2} = 0,028 \text{ мм}$$

В этом случае величина погрешности отсчитывания может быть найдена как половина угловой величины поля зрения одного пикселя фотоприемного устройства в соответствии с выражением:

$$\sigma_{\text{отсч}} = \pm 0,5 \Delta W \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{отсч}} = \pm 0,014 \text{ мм}$$

Для перевода в относительную форму примем опорное значение за значение шероховатости из паспорта образца $Ra = 1100 \text{ мкм}$.

$$\delta_{\text{отсч}} = \frac{0,014}{1,1} = 1,3 \%$$

Влияние разрешения камеры

Для определения погрешности разрешения камеры необходимо провести расчет соотношения пиксель на метр PPM [3]. Первый шаг – определить границы зоны обзора камеры. Согласно таблице 9, ширина видимой области - 9,95 м. Разрешение камеры системы машинного зрения 3264x2448 пикселей. Таким образом, соотношение пиксель на метр равно

$$\text{PPM} = \frac{1920}{9,95} = 193 \text{ пикселей/м.}$$

Переведем пиксели и метры в миллиметры [4].

$$\frac{193 \cdot 0,2636}{1000} = 0,051 \text{ мм.}$$

В этом случае величина погрешности от разрешения камеры может быть найдена как половина соотношения пиксель на метр в соответствии с выражением:

$$\sigma_p = \pm 0,5 \text{ PPM} \quad (4)$$

$$\sigma_p = \pm 0,025 \text{ мм}$$

Для перевода в относительную форму примем опорное значение за значение шероховатости из паспорта образца $Rz = 1100 \text{ мкм}$.

$$\delta_p = \frac{0,025}{1,1} = 2,3 \%$$

Влияние частоты кадров и экспозиции

Погрешность, связанная с неточностью определения длительности временного интервала, называется погрешностью дискретности.

Примем, что первый счетный импульс и начало измеряемого временного интервала совпадают.

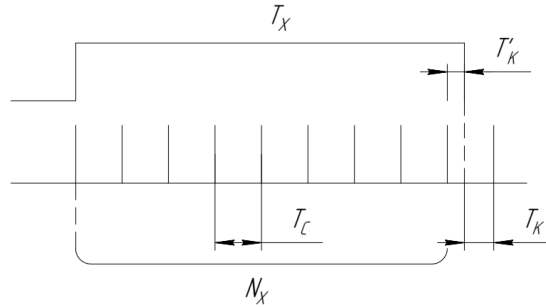


Рис. 3. Счетный импульс

На рис. 3 видно, что при таком способе измерения длительности временного интервала появляется методическая погрешность, т.к. остается неучтенный остаток T'_K .

$$T'_K = T_c \cdot N_X \quad (5)$$

T'_K — это временной интервал, являющийся аналоговой величиной, а величина $T_c \cdot N_X$, стоящая справа — дискретная величина. Из данного выражения следует, что число импульсов, попавших в интервал T_X равно

$$N_X = \frac{T'_X}{T_c} = f_c \cdot S_T \cdot X' = S_N \cdot X' \quad (6)$$

В выражении (6) X' — это измеряемая величина, f_c — частота следования счетных импульсов, S_T — некоторый коэффициент преобразования измеряемой величины во временной интервал; $S_N = f_c \cdot S_T$, т. е. число сосчитанных импульсов пропорционально измеряемой величине. Из (6) следует:

$$X' = \frac{1}{S_N} N_X \quad (7)$$

Если $N_X = 1$, то $X' = \frac{1}{S_N} = x_1$ — это минимально возможная измеряемая величина. С учетом этого (7) принимает вид

$$X' = x_1 N_X \quad (8)$$

При таком измерении появляется погрешность дискретности. x_1 — это шаг дискретизации. T'_X — результат измерения реальной величины, который только приближенно совпадает с действительной величиной. $T'_X \approx T_X$, $X' \approx X$. Таким образом действительное значение временного интервала равно:

$$T_X = T'_X - \Delta_T \quad (9)$$

Из рис. 3 видно, что

$$T_X = T_c(N_X - 1) + T'_K = T_c N_X - (T_c - T'_K) = T_c N_X - T_K \quad (10)$$

В (10) $T_c N_X = T'_X$, следовательно $T_K = \Delta_T$ — случайная погрешность (погрешность дискретизации), которая лежит в интервале $0 \leq \Delta_T = T_K \leq T_c$. При этом закон распределения Δ_T равномерный. Погрешность дискретизации состоит из систематической и случайной части:

$$\Delta_T = \theta_T + \varepsilon_T \quad (11)$$

В выражении (11) систематическая часть погрешности дискретизации $\theta_T = M[\Delta_T] = T_c/2$. Граничные значения погрешности дискретизации [5]:

$$-\frac{T_c}{2} \leq \varepsilon_T \leq \frac{T_c}{2} \quad (12)$$

Из выражения для СКО равномерного распределения $\sigma = \varepsilon_T/\sqrt{3}$ следует, что СКО погрешности дискретизации будет $\sigma_T = T_c/(2\sqrt{3})$ или

$$\sigma[X] = \sigma_d = \frac{x_1}{2\sqrt{3}} \quad (13)$$

$$\sigma_d = \frac{0,033}{2\sqrt{3}} = 0,0095 \text{ с}$$

Для перевода в относительную форму примем опорное значение за 1с.

$$\delta_d = \frac{0,0095}{1} = 1 \%$$

Суммирование погрешностей

Для оценки границ интервалов допускаемых относительных погрешностей при доверительной вероятности $P = 0,95$ воспользуемся формулой:

$$\delta_{\text{камеры}} = \pm 1,1 \sqrt{\delta_{\text{отсч}}^2 + \delta_p^2 + \delta_d^2} \quad (14)$$

$$\delta_{\text{камеры}} = \pm 1,1 \sqrt{1,3^2 + 2,3^2 + 1^2} = \pm 3,1\%$$

2. Конструкция системы

Конструкция (рис. 4) представляет собой установку СЛП, в которой происходит выращивание деталей послойно. Она включает в себя лазерный источник, сканирующую систему, бункеры охлаждения. Сбоку от корпуса СЛП располагается корпус камеры. Корпус служит для размещения в нём камеры машинного зрения, а также лампы подсветки. Для того чтобы обезопасить объектив камеры, между корпусом камеры и установкой СЛП предусмотрено смотровое окно. Крепление корпуса камеры, а также крепление освещения с камерой используются стандартные винты М5 с углубление под шестигранник.

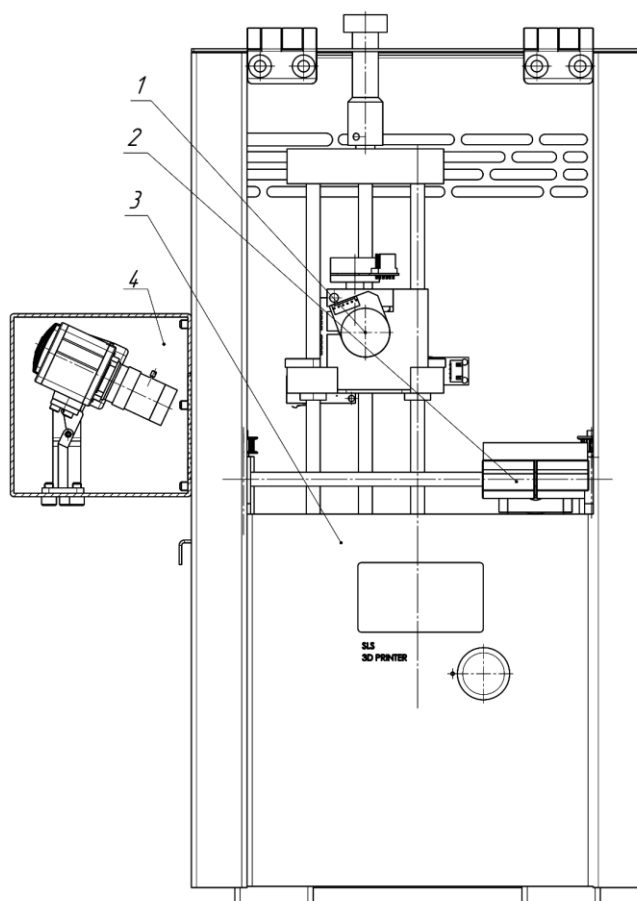


Рис. 4. Конструкция системы, где 1 – сканирующая система с лазером, 2 – нож, 3 – корпус бункера, 4 – система машинного зрения

Заключение

Предложенная разработанная система машинного зрения позволяет быстро оценивать шероховатость поверхности детали СЛП непосредственно в процессе изготовления с точностью порядка $\pm 3\%$. Это повышает эффективность производственного процесса и снижает затраты на контроль качества. Будущие исследования могут сосредоточиться на оптимизации алгоритмов обработки изображений и разработке новых методов анализа, что поможет улучшить системы контроля.

Список литературы

1. Котобан Д.В., Жирнов И.В., Протасов К.Э., Конов С.Г. Влияние стратегии сканирования на температуру в зоне обработки при селективном лазерном плавлении / Котобан Д.В. – М.: Вестник МГТУ им. «СТАНКИН» №4 (39), 2016. – 63-66 с.
2. Зубарь А.В., Хамитов Р.Н., Кайков К.В. Имитационная модель оценки погрешности системы технического зрения / Зубарь А.В. — Томск: Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2021. — С. 181-191.
3. Алгоритм перепроецирования растровых изображений средствами программного комплекса "Топографический калькулятор" // Киберленинка : сайт. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-pereproetsirovaniya-rastrovyh-izobra-zheniy-sredstvami-programmnogo-kompleksa-topograficheskiy-kalkulyator/viewer>
4. Калькулятор справочный портал: сайт. – URL: <https://www.calc.ru/piksel-v-millimetr.html> (дата обращения: 12.03.2024)
5. Останков А. В. Дискретизация сигналов с заданной погрешностью восстановления : учебное пособие / А. В. Останков, А. Б. Токарев. – Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. – 129 с.

СЕКЦИЯ № 9

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ

УДК 664.861

ПЕРЕРАБОТКА ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ В ПИЩЕВЫЕ ПОРОШКИ

А.Е. Снигерева, В.И. Яровая

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660037, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31*

Аннотация. В статье рассматривается способ получения порошков, основные методы сушки плодов и овощей, преимущество пищевых порошков, их применение. Авторы исследуют характеристики и состав пищевых порошков и прогнозируют перспективы развития отрасли.

Ключевые слова: переработка, питательные вещества, пищевые порошки, плодовоовощное сырье, сушка.

PROCESSING OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS INTO FOOD POWDERS

A.E. Snigereva, V.I. Yarovaya

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation*

Abstract. The article discusses the method of obtaining powders, the main methods of drying fruits and vegetables, the advantages of food powders, and their application. The authors examine the characteristics and composition of food powders and predict the prospects for the development of the industry.

Keywords: food powders, fruit and vegetable raw materials, drying, nutrients, processing.

Постановка проблемы. Переработка плодов и овощей в пищевые порошки представляет собой эффективный способ обеспечения продуктов питания высокими концентрациями питательных веществ, удобством хранения и транспортировки, а также расширением спектра применения продуктов. Технология превращения свежих фруктов и овощей в порошковую форму позволяет не только сохранить витамины, минералы и аромат, но и значительно увеличить срок хранения продукции, что особенно важно для обеспечения продовольственной безопасности. Это также открывает новые возможности для использования плодов и овощей в различных отраслях, включая пищевую, фармацевтическую и косметическую промышленность.

Существует несколько методов переработки плодовоовощного сырья в порошки, включая сушку, лиофилизацию, а также технологии, основанные на механическом и химическом воздействии. Однако каждый из этих методов имеет свои особенности, преимущества и ограничения, такие как сохранение питательных веществ, степень изменения структуры и текстуры, а также экономические затраты на производство.

Целью данного исследования является комплексное изучение различных методов получения пищевых порошков из плодов и овощей. Будет проведен анализ их преимуществ и недостатков, оценка питательной ценности и характеристик получаемых продуктов, а также рассмотрены перспективы развития этой технологии в пищевой промышленности. Особое внимание будет уделено изучению экономической целесообразности производства пищевых порошков, а также их влияния на экологию и потенциала для использования в других отраслях, таких как фармацевтика.

Изложение основного материала. Производство порошка из плодовоовощного сырья обычно включает несколько этапов. Первый этап – подготовка сырья. Сырье (фрукты, овощи) промывается и очищается от загрязнений, после нарезается или измельчается для дальнейшей обработки. Следующим этапом является сушка плодов и овощей. Вид сушки выбирают тот, в

котором можно получить желаемые качества. В таблице 1 можно увидеть плюсы и минусы каждого вида сушки[1].

Таблица 1. Преимущества и недостатки определенного вида сушки

Вид сушки	Краткая информация	Плюсы	Минусы
Термическая сушка	Процесс основан на подвергании продукта высокой температуре, что позволяет удалять влагу, обеспечивает быстрое высушивание продукта.	Быстрый процесс сушки; Относительно низкая стоимость оборудования; Широко используется в промышленности.	Высокие температуры могут приводить к потере питательных веществ; Возможна деградация вкусовых качеств продукта.
Замораживание	Овощи и плоды замораживаются, а затем сублимируются лед в вакууме. Это позволяет удалять воду без расплавления льда, сохраняя пищевые качества.	Помогает сохранить питательные вещества и вкус продукта; Удобно для длительного хранения.	Требует специализированного оборудования; Процесс может быть более затратным.
Вакуумная сушка	Продукты помещают в камеру, где создается вакуум, что позволяет воде испаряться при низкой температуре, сохраняя питательные вещества.	Позволяет сохранить питательные вещества и вкус продукта; Происходит при низких температурах, что уменьшает потери качества.	Требует специализированного оборудования; Процесс может быть длительным.
Спрей-сушка	Продукт распыляется на горячий воздух, в результате чего происходит моментальное испарение влаги, что приводит к образованию порошка.	Высокая производительность; Процесс быстрый и эффективный; Позволяет сохранить аромат и вкус продукта.	Возможны потери питательных веществ; Требует определенной технической подготовки.
Фриз-драй (лиофилизация)	Продукт замораживается, а затем влага удаляется в результате сублимации, обеспечивая высокое качество порошка и сохранение питательных компонентов.	Сохранение максимум питательных веществ и вкуса продукта; Порошок обладает отличными характеристиками растворимости.	Высокая стоимость оборудования; Длительный процесс.

После сушки сырье обычно измельчается до состояния порошка, после просеиваться, чтобы избежать попадания крупных кусков высушенного сырья. Используется специализированное оборудование, например мельницы или дробилки, для размолла. Регулирование параметров процесса размолла позволяет добиться желаемой фракции порошка, сохранить питательность и органолептические характеристики продукта. Полный цикл производства порошков можно увидеть на рисунке 1 [2].



Рис 1. Технологическая схема производства пищевого порошка

Уже готовые пищевые порошки обладают рядом преимуществ. Они легкорастворимые в воде, что делает их удобными для использования в кулинарии и пищевой промышленности. Порошки содержат высокую концентрацию витаминов, минералов и других питательных веществ, обеспечивая организм полезными элементами. Пищевые порошки находят широкое применение в пищевой промышленности и в фармацевтике[3].

Порошки обладают питательным составом, который зависит от исходного сырья и технологии производства. В составе пищевых порошков содержатся витамины и минералы, что делает их ценным источником питательных веществ, также в составе содержатся пищевые волокна, они важны для нормального функционирования желудочно-кишечного тракта и общего здоровья. Ещё многие плодовоовощные порошки обладают высоким содержанием антиоксидантов, что помогает бороться с свободными радикалами и предотвращает окислительный стресс в организме. Некоторые порошки содержат органические кислоты, такие как яблочная или лимонная, которые могут способствовать улучшению пищеварения и общего состояния организма[4].

Пищевые порошки могут быть добавлены в различные продукты для улучшения их пищевой ценности, вкусовых качеств, а также для придания им уникальных свойств. Благодаря порошкообразным ингредиентам возможно создание удобных, легко хранящихся и транспортируемых продуктов, это способствует развитию внешней торговли и увеличению доходов от экспорта. Постоянное же развитие технологий сушки и переработки позволит улучшить качество производимых порошков, сохранить больше питательных веществ и создавать продукты с высокими вкусовыми характеристиками; они способствуют снижению потерь продукции из-за продления срока хранения, а также уменьшению отходов пищевой промышленности, что соответствует современным принципам устойчивого развития[5].

Выводы. В результате анализа процесса получения порошков можно заключить, что это эффективный и перспективный способ переработки сырья, который обладает рядом преимуществ. Применение технологий переработки плодов и овощей в порошок позволяет сохранить питательные вещества и биологическую ценность сырья, обеспечивая длительный срок хранения готового продукта. Пищевые порошки являются удобным ингредиентом в пищевой промышленности, обогащая продукты полезными компонентами. С учетом растущего спроса потребителей на функциональные и здоровые продукты, производство пищевых порошков имеет большие перспективы для развития в пищевой отрасли в целом.

Список литературы

1. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов. - М.: Пищепромиздат, 1960.-683с
2. Гуляев В.Н., Кац З.А. Справочник технолога пищевого концентратного и овощесушильного производства. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.-488 с.
3. Технология производства пищевых продуктов [Электронный ресурс] URL: https://ozlib.com/810844/tovarovedenie/tehnologiya_proizvodstva_pischevyh_poroshkov?ysclid=ltq689ebmg256882766
4. Жарова С.Н., Попкова Е.И., Старостенко И.Э. Заготовка и хранение плодов. Л.: Лениздат, 1987. -160 с.
5. Получение пищевых порошкообразных продуктов из растительного сырья [Электронный ресурс] URL: <https://tekhnosfera.com/poluchenie-pischevyh-poroshkoobraznyh-produktov-iz-rastitelnogo-syrya>

УДК 663.52

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СПИРТА С ПОМОЩЬЮ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

А.Н. Пикурина, В. И. Яровая

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, 660037, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, a.pikurina@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается эффективность использования ректификационных колонн, их технология, значение в производстве спиртных напитков и особенности работы. Автор исследует отличительные свойства колонн в производстве спирта, которые влияют на их надежность и качество.

Ключевые слова: ректификационные колонны, производство спирта, повышение эффективности.

INCREASING EFFICIENCY IN ALCOHOL PRODUCTION USING DISTILLATION COLUMNS

A.N. Pikurina, V. I. Yarovaya

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31, Krasnoyarskii rabochii prospekt,
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, a.pikurina@mail.ru

Abstract. The article discusses the effectiveness of the use of distillation columns, their technology, their importance in the production of alcoholic beverages and the specifics of their work. The author explores the distinctive properties of columns in the production of alcohol, which affect their reliability and quality.

Keywords: distillation columns, alcohol production, efficiency improvement.

В современной промышленности производства спиртных напитков высокоэффективные ректификационные колонны приобретают все большее значение. Растущий спрос на чистый, качественный спирт и повышенное внимание потребителей к качеству алкогольной продукции стимулируют производителей внедрять передовые технологии очистки и разделения компонентов.

Высокоэффективные ректификационные колонны отвечают современным требованиям, обеспечивая получение высококачественного спирта с минимальными потерями сырья. В условиях конкурентного рынка это позволяет производителям снижать затраты, повышать производительность и конкурентоспособность, эффективно используя ресурсы. Кроме того, современные колонны соответствуют экологическим нормам и требованиям безопасности, предотвращая загрязнение окружающей среды и обеспечивая безопасность производства.

Ректификация – это процесс тепло- и массообмена, используемый для разделения жидких смесей на основе разницы температур кипения их компонентов. Основная цель ректификации в производстве спирта – очистка этилового спирта от примесей и получение ректификата стандартной крепости. Процесс осуществляется в ректификационных колоннах – высоких вертикальных цилиндрических аппаратах.

Ректификационная колонна – устройство, которое разделяет компоненты жидкой смеси на отдельные фракции по температуре кипения [1]. Внешне выглядит как цилиндр постоянного или переменного сечения, с расположенными внутри контактными элементами – тарелками или насадками.

Под ректификацией предполагается процесс многократного взаимодействия пара и жидкости в ректификационной колонне. Часть пара и жидкости, движущихся в противоположных направлениях, возвращается обратно в колонну, обеспечивая непрерывный тепло- и массообмен до достижения равновесия на каждой стадии взаимодействия. Этот процесс позволяет эффективно извлекать и концентрировать целевой компонент, потребляя при этом сравнимое с дистилляцией количество тепла. Благодаря своей эффективности,

ректификация широко применяется как в промышленности, так и в лабораторных условиях [2].

Важно понимать, что ректификационная колонна не является полной заменой дистиллятора, а скорее служит дополнительной ступенью очистки, аналогичной повторной дистилляции. Колонну можно использовать в режиме дистиллятора, перекрыв подачу воздуха и открыв узел отбора хвостовых фракций. При этом важно следить, чтобы не были перекрыты все штуцеры, во избежание повышения давления и риска взрыва. Стабильная работа колонны характеризуется постоянной температурой в течение 10 минут. После достижения стабильного состояния начинают отбор начальной фракции (голов), содержащей вредные примеси, такие как эфиры, альдегиды и метанол. Преимущество ректификации заключается в возможности извлечения практически всего спирта без потери качества. Кроме того, "головы" и "хвосты", полученные при дистилляции, можно переработать на ректификационной колонне для получения безопасного этилового спирта [3].

Ректификационные колонны представлены на рынке в широком разнообразии, однако некоторые типы выделяются повышенной эффективностью и обеспечивают высокую степень очистки спирта. Среди наиболее распространенных и эффективных можно выделить:

1. Пузырьковые колонны: разделение компонентов основано на разнице в их летучести. Отличаются высокой производительностью и хорошо подходят для очистки спирта от примесей.

2. Пластинчатые колонны: благодаря системе параллельных пластин, через которые проходит пар, обеспечивается интенсивное смешение пара и жидкости, что способствует высокой степени очистки.

3. Шахтные колонны: разделение происходит на основе разницы в плотности компонентов. Демонстрируют высокую производительность и эффективность при работе с различным сырьем. Также следует упомянуть трубчатые колонны, отличающиеся высокой производительностью и эффективностью.

Также не стоит забывать и о том, что выбор производителя играет важную роль. Среди лидеров рынка, предлагающих высококачественные ректификационные колонны для спирта, можно отметить следующих:

Alfa Laval известны высоким качеством материалов и изготовления, что гарантирует получение чистого спирта. Ректификационные колонны от GEA ценятся за надежность и эффективность, являясь предпочтительным выбором многих производителей. А от Krones отличаются уникальными технологиями, позволяющими производить спирт высочайшего качества.

Выбор ректификационной колонны для производства спирта — ответственная задача, требующая учета объема производства, требований к качеству конечного продукта и бюджета. Правильный выбор и надлежащее обслуживание колонны способствуют существенному повышению эффективности производства. Ключ к оптимальному результату и высокому качеству спирта — подбор колонны, точно соответствующей конкретным производственным задачам.

Ректификационная колонна играет важнейшую роль в процессе производства спирта, обеспечивая его очистку от примесей и повышение качества. Применение колонн позволяет достичь высокой степени очистки и получить спирт повышенной чистоты, что подтверждается анализом готового продукта.

Ректификация обеспечивает высокую концентрацию спирта в конечном продукте и минимизирует содержание примесей, расширяя возможности его применения в различных отраслях промышленности. Таким образом, высокая эффективность ректификационных колонн в производстве спирта неоспорима. Их использование гарантирует высокое качество и чистоту спирта, повышая его конкурентоспособность на рынке.

Список литературы

1. Елена Ашотовна Оганесян, Юлия Валерьевна Колесниченко, Галина Алексеевна Срослова Прогрессивные схемы и способы получения спирта-ректификата, применяемые в России и за рубежом // Природные системы и ресурсы. 2021. Т. 11. № 2 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/progressivnye-shemy-i-sposoby-polucheniya-spirta-rektifikataprimenyaemye-v-rossii-i-za-rubezhom/viewer> (дата обращения: 20.03.2025).
2. Патент № RU 2 667 286 C1. Ректификационная колонна и способ очистки спирта с ее применением: № 2018110338: заявл. 2018.03.23 : опубл. 2018.09.18 / Малыхин Н.В. – 13 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2667286C1_20180918
3. Принцип работы ректификационной колонны – как получить спирт [Электронный ресурс] URL: <https://alcofan.com/sxema-raboty-rektifikacionnoj-kolonny.html> (дата обращения 20.03.2025).

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Сборник статей
Всероссийской научно-практической конференции
для аспирантов, студентов и молодых ученых
15 - 17 апреля 2025 года*

Главный редактор: канд. техн. наук, PhD, доц. О.В. Мухина

Изд. № 125/2025. Объем 33,5 п.л. Усл. печ. л. 31,15. Уч.-изд. л. 32,83.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»