

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ»

X INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "INNOVATIONS IN VOCATIONAL AND FURTHER EDUCATION"

<i>Великите, Н. Я., Кривко, И. П.</i> Квест как форма организации профориентационных мероприятий для школьников в рамках IT-специальностей по профилю «Информационная безопасность».....	5
<i>Власов, Д. В.</i> Современные подходы к преподаванию основ машинного обучения и анализа данных: от базовых концепций до практического применения	9
<i>Власова, Е. З.</i> Подготовка преподавателей среднего профессионального образования, осуществляющих обучение по программе «Информатика и искусственный интеллект в образовании»	18
<i>Волков, Е. Л., Терлыч, С. В.</i> Повышение эффективности подготовки специалистов морской отрасли в свете компетентностных требований кодекса ПДНВ-78	23
<i>Новоселов, К. А.</i> Технология профессиографического мониторинга: результаты применения	31
<i>Резникова, Т. Н.</i> Лингводидактический профиль учащихся подготовительного факультета как методикометрический инструмент языковой подготовки	35
<i>Рудаченко, С. В., Рудаченко, Т. В.</i> Создание системы тестового контроля графической подготовки студентов технических специальностей	39
<i>Семенова, А. П.</i> Научная работа студентов и курсантов как средство повышения профессионального уровня подготовки будущих специалистов.....	45

IX НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

IX NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION "ADVANCED TECHNOLOGIES, MACHINES AND MECHANISMS IN ENGINEERING"

<i>Агеев, О. В., Самойлова, Н. В., Егорова, К. В.</i> Исследование и расчет машины для поштучного разделения рыбы с вакуумным захватом.....	52
<i>Герасимов, А. А., Александров, И. С., Крейза, Ю. А.</i> Теплофизические свойства перспективных веществ – аккумуляторов теплоты. Теплопроводность н-октадекана	59
<i>Лещинский, М. Б., Лещинская, Г. И.</i> Макет устройства для бесконтактного возбуждения сварочной дуги.....	65
<i>Михайлюченко, А. В., Перетятко, С. Б., Якимов, В. С.</i> Применение композитной печати для изготовления малоразмерной технологической оснастки	69
<i>Перетятко, С. Б., Шихалева, Ю. Н., Казановский, А. С.</i> Верификация математических моделей стационарных плазменных двигателей	74

<i>Самойлова, Н. В., Агеев, О. В.</i> Анализ современного состояния теории резания материалов в пищевом машиностроении	79
<i>Соколова, И. А.</i> Особенности размещения и эксплуатации 3D-оборудования в помещениях машиностроительного производства.....	89
<i>Сукиасов, В. Г.</i> Исследование напряженного состояния мальтийского механизма	96
<i>Хромушин, Д. И., Николаев, И. В., Величко, В. В.</i> Модернизация технологических процессов производства мелкоразмерных деталей двигателей спутников.....	103
<i>Цветков, А. Н., Сенютин, Ю. В., Горелов, В. А.</i> Модернизация производственных цехов для изготовления малоразмерных деталей.....	108
<i>Целиков, П. В., Кисель, А. Г.</i> Обзор типов конструкций клапанов однократного действия.....	113

III НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОТРАСЛЕВЫХ И СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ»

III NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY-SPECIFIC AND RELATED FIELDS"

<i>Zhao Shenglei, Wang Enyuan, Wang Jinxin</i> Acoustic emission and electromagnetic radiation signal adaptive denoising based on intelligent optimization algorithm.....	118
<i>Ампилогов, В. А., Степанова, К. В.</i> Анализ аргументов Курта Гёделя, Лукаса-Пенроуза о невычислимости человеческого интеллекта в контексте параконсистентных формальных систем.....	127
<i>Васильев, Д. Е., Ершов, Ю. А., Шагин, Н. В.</i> Применение технологий искусственного интеллекта в процессе классификации типов субстратов dna по данным с многолучевого эхолота	133
<i>Гоконев, М. В.</i> Компонентный анализ трудового потенциала работников рыбохозяйственного комплекса	138
<i>Лобачева, Л. В., Щербакова, Д. М.</i> Применение программных систем моделирования для оценки миграции загрязнений объектов захоронения твердых коммунальных отходов	147
<i>Ражев, А. О., Недоступ, А. А.</i> Определение параметров математической модели поведения гидробионтов в установке замкнутого водоснабжения с применением технологий машинного зрения	153
<i>Розен, Н. Б.</i> Цифровые технологии в анализе факторов при выборе места трудоустройства студентов КГТУ	163
<i>Снытников, А. В.</i> Реализация на Pytorch расчета столкновений частиц методом Монте-Карло для моделирования плазмы методом частиц в ячейках	168
<i>Снытникова, Т. В.</i> Алгоритм полного перебора на реализации ассоциативного процессора cuSTAR.....	175

**V НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ПРОИЗВОДСТВ»**

**V NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
"AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES
AND PRODUCTION"**

<i>Берг, А. А., Долгий, Н. А.</i> Управление вакуумной сушкой пищевых продуктов	182
<i>Будченко, И. С., Будченко, Н. С., Долгий, Н. А.</i> Математическая модель по каналу регулирования температуры зерносушильной установки VESTA-30	187
<i>Будченко, И. С., Будченко, Н. С., Долгий, Н. А.</i> Система автоматизированного управления газомоторным компрессором 10ГКН	194
<i>Будченко, И. С., Будченко, Н. С., Долгий, Н. А.</i> Система управления расстойным шкафом при производстве пшеничного хлеба	200
<i>Онучин, А. Л.</i> Диспетчеризация инженерных систем Школы будущего.	205
<i>Онучин, А. Л.</i> Построение автоматизированной системы моделирования корпусной мебели	211
<i>Румянцев, А. Н.</i> Автоматизация установки сублимационной сушки пищевых продуктов	215
<i>Румянцев, А. Н.</i> Применение искусственного интеллекта в автоматизации пищевой промышленности	222

**II НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО
И ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ»**

**II NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
"ARCHITECTURE, CONSTRUCTION
AND INFRASTRUCTURE"**

<i>Карпенко, А. В., Кулишкин, А. В.</i> Вторичное использование материалов при ведении строительства хозяйственным способом	228
<i>Савкин, Г. В., Любишина, С. А.</i> Выбор цементов по показателям прочности при проектировании состава бетонов	235
<i>Смирнов, Г. С., Курочкин, Е. Ю.</i> Обеспечение герметичности стыковых соединений систем вентиляции.....	239
<i>Хомякова, И. В., Концедаева, Ж. Г.</i> Кинетика коррозионных процессов в бетоне и арматуре в условиях проатмосферы инженерных сооружений	243
<i>Хомякова, И. В., Узунова, Л. В.</i> Методы усиления и расчёт строительных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах	249
<i>Шестаков, Р. А., Матвеева, Ю. С.</i> Моделирование работы газораспределительных сетей низкого давления при проведении ремонтных работ	256

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«БАЛТИЙСКИЙ ЯНТАРЬ И СМОЛЫ МИРА»**

**II INTERNATIONAL
RESEARCH AND PRACTICAL CONFERENCE
"BALTIC AMBER AND RESINS OF THE EARTH"**

Булычев, А. Г., Воротников, Б. Ю., Якута, С. А., Богданова, Е. С., Мещеряков, А. Н. Балтийский янтарь: реальность и перспективы использования неликвидного сырья в РФ	263
Воротников, Б. Ю., Булычев, А. Г., Марковцева, Ю. С., Сыркина, А. А. Коллекция спектров ископаемых смол на примере Балтийского янтаря, практика применения	270
Воротников, Б. Ю., Устич, В. И. Перспективы научного туризма янтарной отрасли	279
Жванько, В. В. Новые экспонаты музея янтаря как иллюстрация воссоздания технологий прошлого	284
Костяшова, З. В. Елена Градинарова: творческий портрет мастера (1959–2009)	291
Кривонос, И. А. Бусы «восковухи»	297
Лемешко, В. Д., Воротников, Б. Ю. Инновационный тренд здорового образа жизни – «Янтарное шампанское»	302

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ»

X INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "INNOVATIONS IN VOCATIONAL AND FURTHER EDUCATION"

УДК 004.62

КВЕСТ КАК ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФОРИЕНТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ В РАМКАХ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПО ПРОФИЛЮ «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

¹Великите Наталья Яронимо, канд. физ.-мат. наук, доцент,
доцент кафедры информационной безопасности

²Кривко Ирина Петровна, канд. филол. наук, доцент, доцент кафедры иностранных языков

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹natalya.velikite@klgtu.ru; ²irina.krivko@klgtu.ru

Описывается опыт организации профориентационного мероприятия для школьников в форме квеста, направленного на привлечение внимания к ИТ-специальностям в ВУЗе. Отмечается актуальность подобных мероприятий, поскольку спрос на ИТ-специалистов неуклонно растет. Формат квеста объединил 10 этапов, связанных общей сюжетной линией знакомства с особенностями специальности «Информационная безопасность автоматизированных систем». Высокий спрос со стороны школ города и посещаемость мероприятия подтверждает важность проведения подобных событий для школьников на базе ВУЗов.

Актуальность проблемы ранней профориентации школьников не вызывает сомнения. Профессиональное самоопределение начинается с самых ранних лет и длится на протяжении всего трудового пути профессионала. Различные программы, направленные на профориентацию молодого поколения регламентируются документами Правительства РФ такими как:

- Положение о профессиональной ориентации и психологической поддержке населения в Российской Федерации, утвержденное Постановлением Минтруда РФ от 27.09.1996 № 1;
- Федеральная целевая программа развития образования на 2016–2020 гг., утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.12.2014 № 2765-р;
- Послание Президента Федеральному Собранию от 001.03.2018, включающее запуск проекта ранней профориентации школьников «Билет в будущее».

Ситуация в мире, а также вызовы, с которыми сталкивается общество, диктуют определённый запрос на раннюю профессиональную ориентацию школьников. Спрос на специалистов технических специальностей, работников сферы информационных технологий, защиты данных, как никогда велик в России.

По оценке Минцифры, в августе 2023 года дефицит кадров в ИТ-отрасли составлял порядка 500–700 тыс. человек. В ИТ-отрасли РФ занято около 740 тыс. специалистов. Другими словами, на одного кандидата приходится полторы–две вакансии, что доказывает востребованность проведения профориентационных мероприятий именно в русле технических специальностей [1].

Темой данной статьи является опыт разработки квестовых заданий с использованием программного обеспечения кафедры информационной безопасности и проведение профориентационных мероприятий в Институте цифровых технологий ФГБОУ ВО «КГТУ».

Квест «Цифровой прорыв» был организован в рамках программы профориентационных квестов «Планета университет» в Калининградском государственном техническом университете.

В мероприятии приняли участие 67 школьников 9-10 классов из 8 школ г. Калининграда. Заявок от школ было гораздо больше, но формат квеста и количество станций не предполагал присутствие более 10 команд на площадке квеста.

Формат квеста был выбран не случайно. Квест (от англ. «Quest – поиск») – это интерактивная игра с сюжетной линией, которая заключается в решении различных головоломок и логических заданий. Долгое время популярным развлечением молодежи были онлайн-квесты, сейчас все больший интерес вызывают так называемые живые квесты в реальности.

В связи с тем, что задания к КВЕСТу «Цифровой прорыв» были подготовлены сотрудниками кафедры «Информационная безопасность» при активном участии студентов специальности 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем» («ИБАС»), то и направленность этих заданий, объединённых темой «Цифровой прорыв» была ориентирована на область знаний, которая связана с информационной безопасностью.

Стоит отметить, что применение активных методов обучения как одного из компонентов развития профессионального образования и повышения интереса школьников к такой области знаний как информационная безопасность является широко используемой в разных образовательных Вузах страны. В качестве примера можно сослаться на непосредственный личный обмен опытом, который происходил в рамках IV Международной научной конференции в рамках секции «Инновации в профессиональном, общем и дополнительном образовании», Балтийского морского форума [2].

Образовательный квест, как интерактивная технология, позволяет решить следующие задачи: образовательную – вовлечение учеников в активный познавательный процесс, развивающую – развитие интереса к обучению, раскрытие своих способностей, воспитательную – воспитание командного духа и личной ответственности за конечный результат [3].

Квест имеет цели и задачи, общую канву и «декорации» развития событий, которые приводят участника к результату. Полагаем, что формат квеста в наибольшей степени вовлекает школьников в познавательную активность, которая непринужденно знакомит его с особенностями профессии.

В рамках профориентационного квеста «Цифровой прорыв» организаторами мероприятия были заданы условия на прохождение независимых станций с заданиями:

- количество (локаций) станций 10

- время на прохождение каждой станции было ограничено 5 минутами.

Данные условия были заданы с целью привлечения к профориентационным мероприятиям максимального количества учащихся. Квест рассчитан на 100 школьников, организованных в 10 команд.

КВЕСТ бы сконструирован таким образом, чтобы школьники смогли познакомиться с особенностями обучения по специальности «Информационная безопасность автоматизированных систем» и представлял собой набор станций для решения различных головоломок, логических заданий, вопросов, которые были объединены тематикой в области информационной безопасности в рамках общего названия «Цифровой прорыв».

Задания включали в себя информацию из некоторых дисциплин учебного плана или областей знаний, которые используются студентами специальности 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем» в учебном процессе.

Ниже приведены задания по 10 локациям. Эти задания тестировались на предмет корректности выполнения заданий и на предмет ограничения по времени (5 минут) студентами 3 курса специальности 10.05.03 «ИБАС».

Два задания на станциях Криптография «Энигма» и «Система контроля управления данными» были выполнены на виртуальном программном обеспечении компании DoKiSan Systems, которое используется в учебном процессе кафедры. Ещё одно задание по криптографии было возможно к выполнению с использованием онлайн калькулятора по шифру Цезарь. Задание на станции «Стеганография» было подготовлено к выполнению в компьютерном классе кафедры. В кратком пояснении к выполнению было предложена последовательность действий, выполнив которую школьник должен был найти сокрытый в изображении файл и, открыв его, должен был увидеть пароль и воспользоваться им для входа в учётную запись КВЕСТ на кафедральном компьютере, тогда задание считалось выполненным. В рамках станции «Техническая защита информации (ТЗИ)», которая была локализована в лаборатории «Технические средства защиты информации и

автоматизированных систем в защищённом исполнении» необходимо было найти приборы и средство контроля территории и записать их точные названия, пользуясь подсказками, которые были выданы школьникам при прохождении задания. На одной из станций, которая была названа шуточно «пароле, пароле, пароле...» фактически школьники могли применить свои математические знания «Человек-знаковая система» и провести оценку стойкости парольной защиты по одному критерию. Следующие две станции «Вопросы, вопросы, вопросы...» и «Правила кибергигиены» предполагают минимальные знания по специфическим вопросам, которые касаются рассмотрения рекомендаций по защите эл. почты, мобильных устройств, банковских карт, данных в целом, а также нужно было перечислить признаки появления вредоносного программного обеспечения на персональном компьютере. При оценке ответов на данных станциях студенты-волонтёры, которые заполняли регистрационные листы, подходили к данной работе не с помощью механической проверки правильного ответа, а непосредственного взаимодействия с командой школьников в беседе и фиксируя ответы-формулировки. И последние две станции «Логотипы, логотипы, логотипы» и «Жаргонизмы» предполагали использование, в какой-то степени, общеизвестных знаний в области информационных технологий. Например, необходимо было, используя цветные карандаши нарисовать логотипы известных мессенджеров и антивирусов, а также провести соответствие по картинке и записать в маршрутном листе слова-жаргонизмы («Чайник», «БАГ», «Флаг», «Песочница», «Кряк» и т.д.)

Приведем в качестве примера одно из заданий Квеста «Цифровой прорыв»:

Станция - «КРИПТОГРАФИЯ 1 (ЭНИГМА)»

Программное обеспечение уже загружено на ноутбук, рядом находятся подробные методические указания по работе с роторной шифровальной машиной в виде методических указаний по выполнению лабораторной работы № 1. Они используются для студентов первого курса специальности «Информационная безопасность автоматизированных систем» по дисциплине «Введение в специальность».

Задание для выполнения квеста:

1. Используя виртуальный тренажёр «Программные средства криптографии» Набрать КЛЮЧ: DZKG, а на роторах «ЭНИГМЫ», выставить 6 цифр, которые соответствуют цифрам специальности «Информационная безопасность автоматизированных систем».

2. При правильном выполнении задания декодированное сообщение мы увидим в белой области. Это английская аббревиатура.

3. Данное сообщение записать в маршрутном листе команды при прохождении данной станции, причём записать английский вариант, что вы увидели и вариант аббревиатуры на русском языке. Аббревиатуру расшифровать.

Найти шифр специальности «ИБАС» можно было на официальном сайте ФГБОУ ВО «КГТУ», а для этого, можно было воспользоваться мобильным Интернетом.

Студент-волонтёр в маршрутном листе поставит отметку о выполнении задания при правильной расшифровке аббревиатуры.

Если ориентироваться на огромное количество квестов и также в области Информационной безопасности можно акцентировать внимание будущих абитуриентов на интерактивных Веб-квестах, которые также разделены по определённым областям, например: Кибербуллинг, опасность в сети Интернет, кибербезопасность, персональные данные и др.

Полагаем, что подобные мероприятия приведут к большей заинтересованности школьниками информационными технологиями, повысит мотивацию к изучению точных наук, а также, приведет к увеличению числа выпускников школ, выбирающих технические специальности для дальнейшего изучения.

Особенность заданий в рамках мероприятий проводимых в институте цифровых технологий ФГБОУ ВО «КГТУ» в том, что они были ориентированы на командное взаимодействие, знания, интерактив, который задействует не только навыки использования математических знаний, навыков участия в компьютерных играх, умения пользоваться источниками из сети Интернет, но ещё и перемещение по лабораториям кафедры, использование специализированного программного обеспечения кафедры, что как раз и отличает эти квестовые задания от остальной массы разнообразных веб-квестов и квестов, проводимых в других Вузах страны. Наиболее яркие моменты квеста «Цифровой прорыв» представлены на фотографиях (рис.1).



Рис.1. Яркие моменты квеста

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Издательский дом «Коммерсантъ»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6161948> (дата обращения: 2.09.2024).

2. Ищукова, Е.А. Применение игры в формате «квест» для повышения интереса к профессии специалиста по защите информации / Е. А. Ищукова, Е. А. Маро // Балтийский морской форум: материалы VI Междунар. Балт. мор. форума, 3-6 сент. 2018 г. [Электронный ресурс]: в 6 т. - Калининград: БГАРФ, 2018. - Т. 6. «Инновации в профессиональном, общем и дополнительном образовании», IV Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – 1 электрон. опт. Диск.

3. Сафонова, Е. В. Образовательный квест: смысл, содержание, технологические приёмы / Е. В. Сафонова. – Текст: электронный // Народное образование. – 2018. – № 1-2. – С. 83-87. // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: сайт. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrazovatelnyy-kvest-smysl-soderzhanie-tehnologicheskie-priyomy> (дата обращения: 02.09.2024).

QUEST AS A FORM OF ORGANIZING CAREER GUIDANCE EVENTS FOR SCHOOLCHILDREN WITHIN IT SPECIALTIES ON "CYBER SECURITY" PROFILE AT UNIVERSITY

¹Velikite Natalya Jaronimo, PhD, Cand. Sc. Physics and Mathematics, docent, Assistant Professor of Cyber Security Department

²Krivko Irina Petrovna, PhD, Cand. Sc. Philology, docent, Assistant Professor of Foreign Languages Department

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹natalya.velikite@klgtu.ru; ²irina.krivko@klgtu.ru

The article describes the experience of organizing a professional guidance event for schoolchildren in the form of a quest, aimed at attracting attention to IT programs at a university, in particular cyber security. The authors highlight the relevance of such events, since the demand for IT specialists is steadily growing. The quest format included 10 stages connected by a storyline aimed at revealing the features of the program "Cyber Security of Automated Systems". High demand from city schools and attendance of the event confirms the importance of organizing such events for schoolchildren based on university's facilities.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕПОДАВАНИЮ ОСНОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ: ОТ БАЗОВЫХ КОНЦЕПЦИЙ ДО ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Власов Дмитрий Викторович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных технологий и электронного обучения кафедры

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: dmitry-v-vlasov@mail.ru

Преподавание дисциплин в области современных ИТ неразрывно связано с обработкой больших данных. Применение результатов этой обработки встречается в различных машинных моделях, которые используются в разнообразных задачах регрессии, предсказания, классификации и кластеризации. В связи с этим, изучение начал анализа данных и базовых машинных моделей является актуальной задачей для студентов, обучающихся по специальности информатика и вычислительная техника. Изложена программа дисциплин «Основы машинного обучения» и «Математические основы глубокого обучения», преподаваемых обучающимся соответствующей инженерной специальности.

Современное образование в области информационных технологий требует интеграции передовых знаний и практических навыков, особенно в таких быстроразвивающихся областях, как машинное обучение и анализ данных [1, 2]. Эти направления деятельности формируют основу для развития искусственного интеллекта и автоматизированных систем, которые находят применение в самых разнообразных сферах – от медицинской диагностики и финансового прогнозирования до персонализированных рекомендаций.

Все больше внимания уделяется внедрению искусственного интеллекта и в сфере образования. Важным понятием здесь выступает образовательная аналитика [3]. Она включает в себя сбор, обработку и анализ данных цифрового следа учащегося или преподавателя с целью понять и улучшить образовательный процесс. В идеале, цифровой след помогает создавать персонализированные образовательные траектории, повышать качество преподавания и обучения в университете, а также улучшать результаты студентов. Существует четыре типа образовательной аналитики: описательная, диагностическая, предсказательная и предписывающая (которая поддерживает принятие решений и автоматизирует этот процесс). Все перечисленные типы образовательной аналитики тесно связаны с различными моделями машинного обучения и методами математической статистики.

В рамках преподавания основ машинного обучения студентам ИВТ в педагогическом вузе, обучение методам описательной аналитики данных становится ключевым элементом подготовки будущих специалистов. Овладение необходимыми навыками в этой сфере позволяет студентам не просто пассивно следить за своей вовлеченностью в учебный процесс, но также активно анализировать и интерпретировать данные, такие как частота выполнения лабораторных работ, участие в онлайн-дискуссиях или успеваемость в заданиях по машинному обучению. Эти методы дают преподавателям возможность наглядно демонстрировать студентам, как собранные данные могут выявлять тренды и аномалии в их академической активности. Студенты, в свою очередь, учатся применять эти аналитические инструменты для мониторинга различных процессов, как в сфере образования, так и в других областях человеческой деятельности. Это может способствовать более глубокому пониманию дисциплины и развитию умения принимать информированные решения на основе анализа данных. Описательная аналитика в этом контексте становится не просто способом измерения вовлеченности, но и мощным образовательным инструментом, который позволяет обучающимся самостоятельно оценивать свои успехи и корректировать подходы к обучению, формируя у них уверенность в работе с данными и их интерпретацией.

Диагностическая аналитика направлена на то, чтобы помочь студентам разобраться в глубинных причинах полученных результатов, выявить, почему модель ведет себя именно так, а не иначе. Диагностическая аналитика – это своего рода медицинский осмотр для данных, который позволяет понять,

какие именно факторы влияют на итоговые показатели. Студенты учатся применять статистические методы для кластеризации и классификации данных, детализировать их структуру, выявлять скрытые корреляции и измерять близость данных – например, сравнивать отклики преподавателей и студентов на различные аспекты учебного процесса. Эти методы позволяют не просто увидеть проблему, но и понять, что именно привело к возникновению той или иной ситуации. Например, при анализе неудачных прогнозов в задаче по предсказанию спроса на образовательные продукты, студенты могут обнаружить, что низкая точность модели вызвана неучтенными переменными или недостаточно репрезентативным набором данных. Диагностическая аналитика поможет им понять, что проблема кроется в том, что сезонные факторы не были учтены, или в том, что данные, использованные для обучения, содержат аномалии, которые исказили результаты. Другой пример: если группа студентов показывает слабые результаты по теме, связанной с деревьями решений, диагностическая аналитика может выявить, что причиной этому стало недостаточное количество практических примеров или неудачно подобранные материалы для самостоятельного изучения. Таким образом, преподавание методов диагностической аналитики позволяет студентам не просто решать задачи, но и глубже понимать, что лежит в основе тех или иных выводов, развивая у них аналитическое мышление и умение находить причины и следствия в данных. Это критически важно для будущих специалистов в сфере машинного обучения, где правильная интерпретация данных и понимание их природы играют ключевую роль в успешной реализации проектов.

В контексте преподавания основ машинного обучения и математических основ глубокого обучения, предиктивная аналитика играет ключевую роль. Она используется для прогнозирования будущих событий на основе анализа текущих и прошлых данных. Эта методика обучения включает в себя разнообразные подходы из областей математической статистики, математического и статистического моделирования, а также машинного обучения. Студенты учатся использовать эти методы для того, чтобы на основе имеющейся информации спрогнозировать, например, какие темы или аспекты в обучении потребуют дополнительного внимания, что может включать в себя изменение учебного плана или увеличение времени на определенные задачи. Один из примеров применения предиктивной аналитики в образовательной практике – определение риска низкой успеваемости у студентов до того, как это станет значительной проблемой. Например, анализируя результаты прошлых семестров и текущую активность студентов, можно предсказать, кто из них может столкнуться с трудностями по определенным дисциплинам. Это позволяет заранее организовать дополнительные сессии или менторские встречи, чтобы помочь студентам справиться с предстоящими задачами. Другой пример – использование предиктивной аналитики для оценки потенциального воздействия новых учебных методов или технологий на успеваемость студентов. На основе данных о влиянии предыдущих изменений в курсе, можно сделать выводы о том, какие нововведения будут наиболее эффективны и как они могут повлиять на образовательные результаты. В целом, предиктивная аналитика в программе по машинному обучению не только помогает студентам лучше понять и применять математические и статистические модели, но и предоставляет им инструменты для планирования и адаптации своих учебных стратегий, что способствует повышению общей успеваемости и удовлетворенности учебным процессом.

Наконец, прескриптивная аналитика может стать ценным инструментом для формирования эффективных учебных стратегий. Этот вид аналитики, используя методы машинного обучения и искусственного интеллекта, не только анализирует данные, но и предлагает конкретные действия для улучшения, в частности, образовательного процесса. Прескриптивная аналитика в учебной среде может быть направлена на оптимизацию подходов к обучению. Например, на основе анализа прошлых и текущих результатов студентов, система может предложить, какие темы или нуждаются в более глубоком изучении. Подобные системы могут также выдавать рекомендации относительно целых учебных планов [4]. Также если, к примеру, данные показывают, что студенты систематически сталкиваются с трудностями в понимании концепций глубокого обучения, прескриптивная аналитика может предложить внедрение дополнительных интерактивных модулей или практических заданий по этой теме. Другой пример – использование прескриптивной аналитики для адаптации сложности заданий в реальном времени. Исходя из текущего уровня подготовки студентов, машинные модели, разрабатываемые ими же или преподавателями в рамках практических занятий, могут предложить упростить или усложнить следующие задания, а также рекомендовать проведение дополнительных семинаров по сложным темам. Это поможет студентам лучше подготовиться к более

сложным аспектам курса, таким как нейронные сети или машинное обучение с подкреплением. Прескриптивная аналитика также может быть использована для оптимизации групповой работы. Анализируя прошлые взаимодействия в групповых проектах, система может предложить наиболее эффективные способы разделения задач между студентами в зависимости от их навыков и предыдущих достижений, обеспечивая тем самым более сбалансированное и продуктивное сотрудничество. В итоге, это позволяет преподавателям более целенаправленно и оперативно реагировать на учебные потребности студентов, обеспечивая высокий уровень персонализации образовательного процесса.

Обучение применению различных видов аналитики, таких как описательная, предиктивная, диагностическая и прескриптивная, в образовательных программах по машинному обучению и глубокому обучению позволяет не только анализировать и оптимизировать учебный процесс, но и формирует основу для разработки глубокого понимания технологий искусственного интеллекта среди студентов.

Важно, чтобы наряду с практико-ориентированным подходом шло надлежащее параллельное изложение математических основ методов обработки больших данных, тестирования гипотез с применением разнообразных статистических тестов и задач оптимизации. Это является фундаментом для успешного применения моделей искусственного интеллекта. В процессе преподавания важно уделять внимание не только продвинутым техникам, но и базовым методам исследовательского анализа данных (EDA), таким как визуализация данных (в контексте описательной аналитики), обработка пропущенных значений и исследование корреляций. Эти навыки критически важны для того, чтобы студенты могли правильно подготовить данные для последующего моделирования.

В созданной учебной программе по рассматриваемым двум дисциплинам подробно рассматриваются, прежде всего, базовые модели машинного обучения, такие как линейная и логистическая регрессия, деревья решений и ансамблевые алгоритмы (типа случайного леса). Также преподаются базовые модели глубокого обучения, включая простые нейронные сети. Понимание этих моделей позволит студентам развить фундаментальные навыки, необходимые для более сложных задач искусственного интеллекта.

Для эффективного преподавания и практических занятий необходимо использовать современные инструменты и технологии. Технология Jupyter Notebooks предоставляет возможности для кодирования, тестирования и визуализации данных в интерактивной среде. Такие фреймворки как SciKit Learn, предоставляют мощные инструменты для базового машинного обучения и анализа данных. В то же время фреймворки типа TensorFlow обеспечивает поддержку при работе с более сложными алгоритмами глубокого обучения (с нейронными сетями).

В контексте обучения студентов по специальности ИВТ, с акцентом на практическую ориентацию и необходимость совмещения учёбы с работой, преподавание основ машинного обучения и математических основ глубокого обучения требует особого подхода. Эти курсы должны быть сконструированы таким образом, чтобы они максимально отвечали потребностям и условиям студентов, обладающих ограниченным временем и нуждающихся в непосредственно применимых знаниях. На практических занятиях по основам машинного обучения студентам предлагается ряд базовых заданий, направленных на освоение ряда тем, которые подробнее изложены ниже.

Начала практических занятий по дисциплине основы машинного обучения начинается с прививания студентам базового понимания того, чем является машинное обучение. В качестве рабочего определения постулируется, что *машинное обучение* – это область искусственного интеллекта, в которой создаются алгоритмы и модели, позволяющие компьютерам обучаться на основе данных и улучшать свои функции *без явного интенсивного программирования*. Студентам даётся понимание, что существуют готовые машинные алгоритмы, которые могут «обучаться» и анализировать данные, выявлять закономерности и использовать их для прогнозирования или принятия решений. Таким образом, делается намеренный акцент на то, что изучаемая студентами новая для них дисциплина позволяет либо частично, либо в значительной степени отказаться от трудозатратного ручного программирования, по крайней мере, в области аналитики данных и машинного обучения.

Далее, в качестве отправной точки при прохождении дисциплины «Основы машинного обучения» студентам подробно рассказывается суть модели разработки (подхода к разработке) CRISP-DM [5] (The Cross Industry Standard Process for Data Mining). CRISP-DM – это структурированный

подход к решению задач анализа данных и машинного обучения, который включает шесть основных фаз: понимание бизнеса, понимание данных, подготовка данных, моделирование, оценка качества машинной модели и ее развертывание. Этот процесс циклический и итеративный, что позволяет адаптироваться к изменениям в данных или в требованиях к проекту по мере их возникновения. Подробнее этот подход показан на рис. 1.

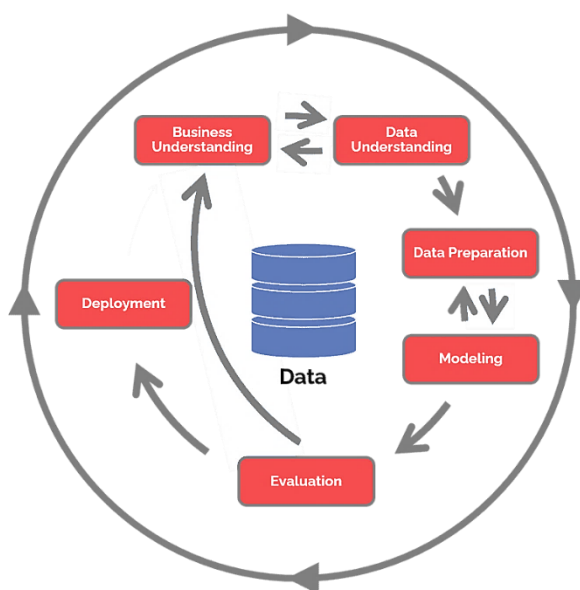


Рис 1. Модель разработки CRISP-DM [5].

При этом важно сделать сравнение с другим популярным подходом в современной разработке программного обеспечения – Agile. Сравнивая CRISP-DM с Agile, студентам поясняется, что Agile – это более общий методологический подход к разработке программного обеспечения, который тоже включает итерации, гибкость в управлении изменениями и постоянное взаимодействие с заказчиком для удовлетворения его потребностей. При этом, несмотря на схожесть в итеративности и гибкости, CRISP-DM имеет ряд особенностей, делающих его более подходящим для задач анализа данных и машинного обучения. Студентам объясняется, что CRISP-DM предлагает более целенаправленный и адаптированный подход к управлению проектами анализа данных и машинного обучения, что делает его предпочтительным выбором в сравнении с Agile для таких задач. Таким образом, это приводит к разделению команд разработки на классических разработчиков ПО и на специалистов в области Data Science и машинного обучения. Дополнительно подчёркивается, что такое разделение тем более обосновано в силу некоторого экспериментального, научного характера работ в области науки о данных. Все дальнейшие практические работы, таким образом, делаются студентами по схеме CRISP-DM. При этом важным пунктом на этапе моделирования является создание так называемой baseline (базовой, наивной) модели. Модели данного типа являются намеренно упрощёнными и предназначены для сравнения их метрик качества обучения с метриками качества более сложных машинных моделей, которые в конечном итоге и развёртываются на той или иной облачной или серверной инфраструктуре [6].

После подробного пояснения контекста, в котором студентам предстоит изучать основы машинного обучения, начинается изучение первой темы – разведочный анализ данных (EDA). В эту тему входят практические примеры и задачи, которые затрагивают вопросы:

1. Визуализация данных с использованием библиотек Python, таких как Matplotlib, Seaborn, Bokeh и HoloViews.
2. Обработка пропущенных значений (пропусков).
3. Обработка выбросов и аномалий.
4. Основы работы с числовыми и категориальными данными (признаками).
5. Основы тестирования гипотез и виды статистических тестов.

Соответствующая практическая работа посвящена анализу и визуализации данных об отметках учеников за выпускной экзамен по математике. Рассматривается влияние различных факторов

(признаков или колонок из исходного набора данных об учениках) и их возможные взаимосвязи. К факторам, которые рассматриваются в этой работе, относятся, в частности, количество плохих отметок в целом, состав семьи, уровень образования каждого родителя, их тип занятости, тип местности (городская или сельская), время пути до школы и т. д. Также проводится работа по устранению пропусков, анализ выбросов и их удаление из исходного набора данных (например, ученики с аномально большим возрастом). Результатом работы студента является файл Jupyter Notebook со всеми необходимыми фрагментами кода на Python, диаграммами, корреляциями и текстовыми комментариями к каждому этапу практической работы.

Следующей обширной темой являются базовые модели машинного обучения. В неё входят:

1. Линейная регрессия для предсказания простых явлений и процессов. Метрики качества линейной регрессии. Feature engineering (разработка новых), полиномиальная регрессия, понятие о переобучении и недообучении машинной модели. Мультиколлинеарность и регуляризация. Разделение выборки на обучающую и тестовую.

2. Деревья решений, алгоритм CART, переобучение/недообучение деревьев и ансамблевые модели (бэггинг и случайные леса, бустинг и т. д.) для решения задач классификации и регрессии.

3. Оценка моделей с использованием метрик качества, таких как точность, полнота, F-мера и других. Матрица ошибок в задаче классификации. Баланс значений метрик. Дилемма смещения и разброса.

4. Автоматический перебор гиперпараметров машинных моделей для улучшения метрик качества. Применение стандартных классов GridSearchCV и RandomizedSearchCV библиотеки SciKit Learn, использование библиотек Optuna и Hyperopt.

5. Кросс-валидация, виды кросс-валидации, валидационная выборка.

По данной теме предусмотрено несколько практических работ. Первая из них посвящена завершению предыдущей практической работы с датасетом оценок за итоговый экзамен по математике. На основе проведенного разведочного анализа данных и после его предобработки студенты формируют итоговый набор данных и подбирают модели линейной, либо полиномиальной регрессии в зависимости от разработанных признаков. Также студентам предлагается превратить задачу регрессии в задачу классификации, введя проходной балл для экзамена и создав тем самым новую целевую переменную. Подбор машинных моделей для классификации предлагается выполнить самостоятельно.

Вторая практическая работа также посвящена задаче регрессии на примере прогнозирования времени, необходимого студентам для завершения онлайн-курса. Эта задача поможет образовательной платформе вуза персонализировать учебные планы и ресурсы в зависимости от потребностей каждого студента. Признаки, которые в частности задействованы в датасете: возраст и пол, образовательный уровень студента, количество одновременно изучаемых курсов, длительность курса, сложность курса, средняя оценка, полученная предыдущими студентами. Практическая работа выполняется на основе предоставленной выборки данных, собранных на основе электронных опросов.

Третья практическая работа является задачей классификацией студентов по стилю обучения – визуального, аудиального, кинестетического. Для решения этой задачи студенты могут пройти электронный опрос, используя специальную анкету, включающие вопросы, направленные на выявление различных аспектов стиля обучения каждого студента. Анкета также включает вопросы об образовательных (курс, специальность) и демографических (возраст, пол) данных каждого студента. Полученный набор данных далее подвергается предобработке и используется в ансамблевых алгоритмах на основе решающих деревьев.

Отдельная тема, рассматриваемая в дисциплине основы машинного обучения – это временные ряды. Рассматриваемые понятия и определения, касающиеся временных рядов, включая их прикладное значение и особенности:

1. Основные понятия и определения временных рядов, включая их прикладное значение и особенности.

2. Компоненты временных рядов: тренды, сезонность, циклические и случайные изменения.

3. Стационарность временных рядов: определение, тестирование ряда на стационарность (тест Дики-Фуллера) и методы достижения стационарности (дифференцирование).

4. Моделирование временных рядов: авторегрессионные модели (AR), модели скользящего среднего (MA), ARIMA, SARIMA, модели векторной авторегрессии (VAR), и ARFIMA.

5. Волатильность и гетероскедастичность: обзор методов моделирования изменчивости и неоднородности дисперсии временных рядов, таких как ARCH и GARCH модели.

6. Прогнозирование: стратегии, методы и оценка точности (MAE, MSE, RMSE).

7. Применение машинного обучения к временным рядам, включая использование готовых моделей нейронных сетей, таких как Prophet, но без детального разбора механизма их работы.

8. Применение деревьев решений и их ансамблей для временных рядов.

9. Практические аспекты: обработка данных, построение и валидация моделей на реальных наборах данных, принципы предотвращения утечек данных (избегание неявного «перетекания» данных из будущего в прошлое при выполнении алгоритмов машинного обучения).

Название соответствующей практической работы – мониторинг и прогнозирование посещаемости занятий. Студентам предлагается разработать модель машинного обучения для анализа и прогнозирования тенденций посещаемости занятий студентами. Найденные удачные машинные модели могут помочь образовательным учреждениям идентифицировать потенциальные периоды снижения активности студентов и планировать меры по повышению их вовлеченности.

Последняя тема дисциплины «Основы машинного обучения» - кластеризация (обучение без учителя). Изучаемые и освещаемые вопросы:

1. Определение и цели кластеризации: введение в кластеризацию, основные определения, и обзор её прикладного значения. Типы алгоритмов кластеризации: описание различий между иерархической кластеризацией и методами на основе разделения (например, k-means, DBSCAN).

2. Алгоритм k-means: подробное объяснение процесса кластеризации, выбора начальных центров и способов определения оптимального количества кластеров.

3. Иерархическая кластеризация: описание алгоритмов агломеративной и дивизивной кластеризации, включая методы объединения и вычисления расстояний.

4. Плотностные методы кластеризации, такие как DBSCAN и OPTICS: особенности методов, основанных на плотности, и их применимость к различным типам данных.

5. Оценка качества кластеризации: методы оценки результатов кластеризации, включая внутрикластерное и межкластерное расстояние, индекс силуэта.

6. Выбор метрик расстояния: обсуждение различных метрик расстояния, таких как Евклидово расстояние, Манхэттенское расстояние, косинусная близость, расстояние Говера, и их влияние на результаты кластеризации.

7. Работа с высокоразмерными данными и уменьшение размерности: использование методов уменьшения размерности, таких как PCA (метод главных компонент) и UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection), для улучшения эффективности и интерпретируемости кластеризации.

8. Другие алгоритмы кластеризации: EM-алгоритм, Gaussian Mixture, StepMix.

9. Практические приложения кластеризации: примеры использования кластеризации в реальных задачах, таких как сегментация рынка, анализ социальных сетей, биоинформатика, биология и образование.

Соответствующая практическая работа посвящена кластеризации студентов вуза по данным их анкетирования о качестве обеспечиваемого преподавателями учебного процесса. Датасет анкеты составлен как набор простых бинарных признаков (вопросов типа да – нет). Это помогает проверить, как часто студенты имеют надлежащий уровень проведения занятий, организуемых преподавателями, по целому ряду отдельных аспектов. Часть вопросов также посвящена актуальности каждого такого отдельного аспекта для студентов, то есть нужны ли они им. Многочисленные бинарные признаки (переменные) заставляют обучающихся искать подходящие типы расстояния между объектами выборки (студентами вуза), а также подходящий нелинейный алгоритм снижения размерности задачи (например, UMAP).

В конце обучения по основам машинного обучения предусмотрена практика. Студенты получают возможность применить полученные знания на практике, работая над собственным проектом с самостоятельно выбранным в Интернете или собранном из глобальной сети датасетом. Это задание предоставляет студентам свободу в выборе темы и данных для исследования, что позволяет глубже погрузиться в интересующую их область. Работа может вестись как индивидуально, так и в командах, что добавляет гибкости в процесс обучения и способствует развитию коммуникативных навыков и умения работать в команде. Отдельное внимание уделяется подготовке обученной модели к развертыванию в облаке, что не только расширяет технические навыки студентов, но и делает их проекты более практичными и применимыми в реальных условиях.

Практические занятия по дисциплине «Математические основы глубокого обучения» построены схожим образом. В них также делается акцент на создании практических работ в формате Jupyter Notebooks, которые компактно предваряются изложением надлежащего теоретического материала. С самого начала обучающимся дается определение глубокого обучения и объясняется, чем оно отличается от машинного обучения в целом.

При этом по алгоритму обратного распространения ошибки (backpropagation) теоретический материал дается студентам подробно с последовательным выводом всех рекуррентных формул. Это делается с целью улучшения понимания для всех обучающихся базовых внутренних механизмов корректировки параметров обучаемой многослойной нейронной сети, а также для понимания степени серьезности требований к оборудованию (графические чипы), на котором можно обучать такую нейросеть за приемлемое количество машинного времени. После вывода формул базового алгоритма обратного распространения ошибки (на мини-батчах) приводятся примеры других типов слоев последовательных нейросетей (например, слой нормализации выходов предыдущего слоя), в которых существуют другие обучаемые параметры, которые также могут быть подставлены в основную канву математических выкладок алгоритма. Ниже изложены основные темы и практические работы по данной дисциплине.

Первая тема посвящена логистической регрессии, как основы для нейронных сетей. Эта тема, как правило, дается в общих дисциплинах по машинному обучению и анализу данных. Тем не менее, сама модель логистической регрессии исторически соответствует одной из первых моделей нейронов с сигмоидой в качестве функции активации. Основные излагаемые и обсуждаемые вопросы по этой теме:

1. Основные концепции и определения: введение в логистическую регрессию и различие между линейной и логистической регрессией.

2. Математическая основа: объяснение логит-функции и использование метода максимального правдоподобия для оценки параметров.

3. Интерпретация результатов: Как интерпретировать коэффициенты, шансы, р-значения и доверительные интервалы. Диагностика модели: оценка качества модели, включая мультиколлинеарность и анализ остатков.

4. Оценка точности модели: Использование метрик, таких как ROC-кривая, ассигасу, precision, recall и F-мера. Интерпретация матрицы ошибок.

5. Расширенные аспекты: обсуждение многоклассовой логистической регрессии и использование регуляризации для улучшения модели.

6. Практическое применение: примеры из медицины, банковского дела, маркетинга и образования для иллюстрации использования логистической регрессии.

Практическая работа по теме логистической регрессии посвящена анализу влияния учебных ресурсов на успеваемость студентов. Используя данные анкетирования, студенты исследуют, как доступ к различным учебным ресурсам влияет на вероятность получения студентами высоких оценок на финальных экзаменах. Примеры переменных в датасете: доступ к библиотеке, количество курсов студента, наличие репетиторов, наличие стипендии, количество часов на учебу в неделю, целевая бинарная переменная успешной сдачи финальных экзаменов.

Вторая тема дисциплины – последовательная нейронная сеть с полносвязными слоями. Эта тема включает следующие пункты:

1. Введение в нейронные сети и архитектуры: основы искусственных нейронных сетей, включая определение последовательных и полносвязных сетей, их структуру и принципы работы.

2. Структура и компоненты полносвязного слоя: описание элементов полносвязного слоя, таких как нейроны, веса, активационные функции (ReLU, Sigmoid, Tanh и др.), смещения, и их роль в сети.

3. Процесс обучения сети: методы обучения нейронных сетей, включая алгоритмы градиентного спуска, обратное распространение ошибки, настройки гиперпараметров (скорость обучения, количество эпох, размер мини-пакета).

4. Оптимизация и регуляризация: техники улучшения производительности и уменьшения переобучения модели, включая регуляризацию (L1, L2), метод Dropout, и другие стратегии.

5. Оценка модели: методы оценки производительности модели, включая различные метрики классификации (accuracy, precision, recall, F1-мера и др.), использование валидационных и тестовых данных.

6. Практическое применение и инструменты реализации: примеры реальных приложений полносвязных нейронных сетей в различных областях, включая классификацию, регрессию и прогнозирование; обзор платформ для реализации, таких как TensorFlow и Keras.

7. Применение библиотек типа SciKeras для автоматического перебора гиперпараметров нейронной сети.

Практическая работа состоит в предсказании производительности студентов в зависимости от данных расписания учебных занятий. Студентам предлагается разработать модель последовательной нейронной сети с полносвязными слоями для анализа взаимосвязи между временем проведения учебных конкретных занятий и производительностью студентов, чтобы помочь в оптимизации учебного расписания. Для выполнения этого задания студентам предлагается использовать датасет, который включает данные о времени проведения занятия, уровня посещаемости, типа дисциплины, бинарного признака практического занятия (практика/лекция), уровня удовлетворенности студентов от занятия, доли пройденного или решенного учебного материала. Целевой предсказываемой переменной при этом является уровень производительности студентов.

Третья по счету тема в дисциплине посвящена сверточным нейронным сетям для классификации изображений. Рассматриваются следующие основные вопросы и темы:

1. Основы и архитектура CNN: введение в сверточные нейронные сети, описание компонентов, таких как сверточные слои, пулинговые слои и полносвязные слои, и их роль в извлечении признаков из изображений.

2. Сверточные слои и извлечение признаков: объяснение математического механизма работы сверточных слоев, использование фильтров/ядер, влияние padding и stride на размерность данных.

3. Функции активации и пулинг: роль функций активации, таких как ReLU, и различия между максимальным пулингом и средним пулингом в уменьшении размерности данных. Подбор подходящих функций активации.

4. Классификация и функции активации: интеграция полносвязных слоев для классификации, использование функции softmax для многоклассовой классификации изображений.

5. Обучение и оптимизация CNN: применение методов обучения, таких как обратное распространение, использование оптимизаторов (Adam, SGD и др.), важность регуляризации (Dropout, L2) для предотвращения переобучения.

6. Практическое применение и настройка: примеры построения CNN с использованием TensorFlow или Keras, подбор гиперпараметров (количество и размеры фильтров, глубина архитектуры, размеры пакетов, количество эпох).

7. Оценка производительности и интерпретация: методы оценки производительности, включая точность и матрицу ошибок, визуализация работы сверточных фильтров и интерпретация извлеченных признаков.

Практическая работа по данной теме – классификация учебных материалов по типу содержания на основе изображений. Студентам предлагается разработать модель сверточной нейронной сети для классификации изображений учебных материалов, таких как текстовые страницы, диаграммы, графики и фотографии, используемые в учебном процессе. Обучающимся предлагается создать датасет, собрав электронные изображения учебных материалов, доступных в глобальной сети, в общественных или университетских библиотеках, или использовать открытые ресурсы в интернете. Изображения должны быть классифицированы в предварительно определенные категории, основанные на типе учебного контента.

Последняя тема в дисциплине «Математические основы глубокого обучения» относится непосредственно к самостоятельной программной реализации демонстрационной последовательной нейронной сети с полносвязными слоями. Делается подробный математический разбор алгоритмов прямого и обратного распространения в такой нейронной сети с некоторой заранее выбранной функцией активации (например, сигмоидой).

Выполняемая в данной теме практическая работа – классификация статуса успеваемости студентов по их учебным и социальным активностям. Цель классификации – определить студентов с высоким,

средним и низким уровнем успеваемости по ряду признаков таких как: количество самостоятельно потраченных учебных часов в неделю, процент посещаемости занятий, участие студента в групповых проектах, частота посещения библиотеки, частота работы с онлайн материалами, уровень взаимодействия с образовательной платформой вуза или авторской, участие в неакадемических деятельности и т. д.

Преподавание основ машинного обучения и математических основ глубокого обучения представляет студентам, обучающимся по специальности ИВТ, прежде всего практические навыки работы с ключевыми моделями машинного обучения и глубокого обучения в сфере образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова, Е. З. Большие данные в анализе ИТ-успешности преподавателей университета / Е. З. Власова, Д. В. Власов // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. – 2024. – № 1(67). – С. 7-12. – DOI 10.46845/2071-5331-2024-1-67-7-12.

2. Власова, Е. З. 2.1. Анализ готовности преподавателей высшей педагогической школы к профессиональной деятельности в условиях электронного обучения на основе больших данных / Е. З. Власова, Д. В. Власов // Цифровая экосистема педагогического образования. Актуальные вопросы. Достижения. Инновации. – Санкт-Петербург : ООО "НИЦ АРТ", 2022. – С. 40-52.

3. Власов, Д. В. Цифровой след и перспективы его использования в высшем образовании / Д. В. Власов // Балтийский морской форум : Материалы XI Международного Балтийского морского форума. В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 36-42.

4. Шафорост, Н. В. Анализ алгоритмов машинного обучения для разработки модели рекомендательной системы по созданию учебных планов / Н. В. Шафорост, Д. В. Власов // Современное образование: традиции и инновации. – 2023. – № 2. – С. 226-230. – DOI 10.51623/23132027_2302_226.

5. What is CRISP DM? // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://www.datascience-pm.com/crisp-dm-2/> (дата обращения 30.08.2024).

6. Шафорост, Н. В. Развертывание модели машинного обучения с использованием современного фреймворка FastaAPI / Н. В. Шафорост, Д. В. Власов // Современное образование: традиции и инновации. – 2023. – № 3. – С. 102-106. – DOI 10.51623/23132027_2303_102. – EDN WVICZX.

MODERN APPROACHES TO TEACHING MACHINE LEARNING AND DATA ANALYTICS: FROM BASIC CONCEPTS TO PRACTICAL APPLICATIONS

Vlasov Dmitry Viktorovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Information Technologies and E-learning

The Herzen State Pedagogical University of Russia,
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: dmitry-v-vlasov@mail.ru

The teaching of disciplines in the field of modern IT is inextricably linked to the processing of big data. The application of the results of this processing is found in various machine models, which are used in a variety of regression, prediction, classification and clustering tasks. In this regard, the study of the beginning of data analysis and basic machine models is an urgent task for students majoring in computer science and computer engineering. The paper outlines the program of the disciplines "Fundamentals of Machine Learning" and "Mathematical Foundations of Deep Learning" taught to students for the students of the relevant engineering specialty.

ПОДГОТОВКА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММЕ «ИНФОРМАТИКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ»

Власова Елена Зотиковна, д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и электронного обучения кафедры

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: vip.zavkaf@mail.ru

В настоящее время подготовка инновационно мыслящих и креативно работающих педагогических кадров для среднего профессионального образования является одной из приоритетных задач, значимость которой усиливается высокой динамикой развития технологической и цифровой базы производства. В статье представлена структура и содержание новой образовательной программы «Информатика и искусственный интеллект в образовании» по подготовке педагогов для образовательных организаций, осуществляющих обучение будущих кадров среднего звена.

В настоящее время одним из ключевых направлений современного образования в Российской Федерации является среднее профессиональное образование (СПО). Это обусловлено государственным заказом на скорейшую подготовку рабочих кадров, которые имеют принципиально важное значение для обеспечения развития экономики и промышленного потенциала страны. Темпы экономического роста государства и жизнь населения во многом определяются степенью подготовки современных квалифицированных специалистов среднего звена, которые способны в сжатые сроки овладеть знаниями, умениями, навыками и компетенциями необходимыми для осуществления профессиональной деятельности.

Система среднего профессионального образования – это одно из ключевых звеньев в общей структуре российского образования. Его главные направления развития на данном этапе определены рядом документов. Среди них: Стратегия развития СПО до 2030 года Министерства просвещения Российской Федерации, федеральный проект «Профессионалитет» государственной программы Российской Федерации «Развитие образования», федеральный проект «Молодые профессионалы (Повышение конкурентоспособности профессионального образования)» национального проекта «Образование», «Кадры для цифровой экономики» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации. Именно цифровая трансформация экономики Российской Федерации требует весьма значительного количества высококвалифицированных кадров особенно в таких областях, как разработка высокотехнологичных решений, разработка цифровых сервисов, технологии обработки больших данных и управление на их основе и т.д.

Вместе с тем до сих пор ощущается низкий уровень цифровых компетенций у работников разного квалификационного уровня и, в частности, у кадрового состава среднего звена. Это, безусловно, один из факторов, который тормозит развитие цифровой экономики в России. Решение этого вопроса находится в плоскости, связанной с подготовкой специалистов, у которых будут сформированы востребованные компетенции, обеспечивающие с одной стороны их готовность работать в цифровой сфере, а с другой, постоянно и гибко развиваться в соответствии с цифровыми и технологическими трендами. Налицо противоречие между производственными потребностями и практическими возможностями людей.

В поисках путей преодоления этого противоречия общество обращается к образовательному процессу, видя в нем способ качественного изменения ситуации и защиты личности перед лицом противоречий [1]. Защитная функция образования может быть реализована в том случае, если уровень образованности каждого члена общества обеспечит возможность развития его способностей решать жизненно и профессионально важные проблемы.

Сегодня высшая педагогическая школа и на теоретическом, и на практическом уровне занимается поиском вариантов реализации образовательного процесса с использованием потенциала цифровой образовательной среды и цифровых технологий [2, 3]. В дополнение к этому исследуется вопрос создания требуемых условий обучения педагогов, готовых к реализации программ подготовки специалистов среднего звена с учетом специфики их будущей профессии и направленности на удовлетворение актуальных потребностей рынка труда и работодателей.

Преподаватели, которые занимаются подготовкой кадров для современного общества, производства, системы профессионального образования исходят из того, что специалист 21 века – это всесторонне образованный, нестандартно мыслящий и способный принимать оригинальные решения человек. Он способен самостоятельно добывать знания, целенаправленно овладевать умениями и навыками, грамотно применяя их на практике. Способен решать широкий спектр задач, возникающий в профессиональной деятельности и готов к непрерывному профессиональному росту. Также он обладает широким кругозором и целостными знаниями, как в области общеобразовательных дисциплин, так и профессионально направленных; психологически подготовлен к организации межличностных отношений на основе толерантности и плюрализма; способен к рефлексии, а на ее базе к объективной самооценке с последующей самодостройкой и саморазвитием. Специалист нового века – это профессионал, подготовленный к конструктивной работе по избранной профессии и способный мобильно и компетентно реагировать на меняющиеся и возрастающие потребности общества цифровой экономики и больших данных. Подготовка специалиста с отмеченными качествами требует создания нового образовательного ландшафта с содержательной, процессуальной, технологической и кадровой точек зрения [4].

Этот процесс требует мобильности, динамичности, наукоемкости педагогических исследований, посвященных различным сферам профессиональной деятельности, в том числе и профессиональной подготовке педагогов для системы среднего профессионального образования. При решении этой проблемы следует учитывать, что наряду с повышением уровня фундаментальной подготовки преподавателя СПО следует расширить практическую направленность его образования, усилить инновационный компонент, повысить эффективность педагогической практики студентов. Следует активизировать разработку новых образовательных технологий как катализатора их инновационной подготовки (в том числе и на базе цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта) и направленных на обеспечение готовности педагога к работе в изменяющихся условиях на основе многообразия образовательных программ, учебников и образовательных учреждений [5].

Первостепенная значимость развития и реформирования именно вариантов работы высшей школы по подготовке педагогических кадров для СПО обусловлена тем, что основная нагрузка при решении вопроса подготовки специалистов среднего звена с актуальными профессиональными качествами возлагается на педагога. Естественно, что он сам, в первую очередь, должен быть не только и не столько «человеком знающим», сколько «человеком мыслящим», способным видеть, ставить и решать проблемы, используя альтернативные способы для реализации современной модели образования, отвечающей технологическим, социальным и экономическим вызовам 21 века и умеющим организовать гибкое персонализированное обучение. Такая модель требует новых методов организации образовательного процесса, включая использование цифровых платформ для электронного обучения, интеграции знаний и активного вовлечения обучающихся в процесс их добывания, а также немедленной практической реализации при решении профессиональных задач. Эффективная реализация модели потребует постоянного взаимодействия с представителями профессионального сообщества, бизнесом, а также использования альтернативных источников знаний.

В соответствии с выделенными приоритетами осуществляется совершенствование структуры и содержания высшего педагогического образования, ориентированного на подготовку преподавательского корпуса для системы среднего профессионального образования нашей страны. Задача формирования и развития специалистов с отмеченными качествами поставлена перед вузами Российской Федерации. Она рассматривается в качестве одной из приоритетных, что закреплено в национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» и в Федеральном проекте «Кадры для цифровой экономики».

Решение указанной задачи осуществляется в рамках доминирующей в России образовательной парадигмы, основной идеей которой является повышение практико-ориентированной составляющей образовательного процесса, прежде всего за счет модернизации образовательных программ, обеспечивающих обучающимся:

1. Доступ и использование ресурсов, как вузов, так и профильных промышленных компаний (которые совместно осуществляют образовательную деятельность) на протяжении всего периода обучения.

2. Возможность обучения на сетевых программах, которые объединяют знаниевый, технологический, кадровый потенциал нескольких вузов, компаний, промышленных предприятий (что дает синергетический эффект с точки зрения качества подготовки).

Это обеспечивает обучающемуся возможность более быстрыми темпами получить и теоретическую, и практическую подготовку, овладеть актуальными и востребованными компетенциями на рынке труда. В тоже время данная парадигма обусловила необходимость формирования новых целей обучения в профессиональной системе образования. Они должны отражать как интересы обучающихся (т.к. эффективность профессиональной деятельности зависит в первую очередь от особенностей профессионального самоопределения), так и потребности рынка труда.

Учитывая эти обстоятельства, преподаватели кафедры информационных технологий и электронного обучения РГПУ им. А. И. Герцена разработали новую образовательную программу «Информатика и искусственный интеллект в образовании» по направлению 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)». Эта единственная в образовательном пространстве РФ образовательная программа создана для подготовки современных педагогов информатики для системы СПО. Способных привнести в образовательные учреждения системы среднего профессионального и дополнительного образования актуальные знания, компетенции и навыки для преподавания информатики и дисциплин ИТ профиля. Программа разработана на базе успешного 16-летнего опыта подготовки кафедрой информационных технологий и электронного обучения программистов по программе «Технологии разработки программного обеспечения и обработки больших данных» [6]. Она нацелена на то, что в процессе обучения у студентов будут формироваться компетенции, которые позволят выпускникам выстраивать инновационные процессы в образовании; занять лидерские позиции в образовательных организациях различного типа; превратить результаты научных и научно-методических исследований в востребованные цифровые образовательные технологии и ИТ-разработки.

В процессе обучения студенты научатся формировать новую цифровую грамотность, проектировать и менять образование; разрабатывать мягкие технологии преподавания информатики и адаптивные технологии электронного обучения; проектировать и организовывать адаптивное обучение информатике на основе искусственного интеллекта; планировать образовательный процесс с использованием алгоритмов машинного обучения [7].

Существенное внимание в программе отведено формированию практических навыков у выпускников программы. А именно:

1. Практическим навыкам работы в междисциплинарных командах, профессионального решения сложных комплексных образовательных задач, в том числе в цифровой среде и с использованием технологий искусственного интеллекта.

2. Прикладным и исследовательским навыкам, необходимым для успешной методической деятельности в области электронного, смешанного и гибридного обучения.

3. Практическим навыкам разработки программных продуктов на различных языках программирования в интересах образования и общества.

4. Практическим навыкам проведения эмпирических исследований, принятия обоснованных решений в области ИТ-образования, в том числе на основе обработки больших данных.

5. Практическим навыкам разработки и валидации инструментов измерения (тесты, опросники, сценарии, игры).

6. Практическим навыкам создания собственных образовательных проектов и стартапов на основе цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта.

Реализация программы будет осуществляться при непосредственном участии партнеров – работодателей. Это университеты, ИТ-компании, аналитические центры, колледжи, школы и образовательные учреждения системы дополнительного образования, на базе которых студенты будут проходить практики, онлайн-стажировки, выполнять курсовые и выпускные квалификационные работы в соответствии с темами их исследований.

Знания, полученные во время обучения, помогут выпускникам в практической и научно-педагогической деятельности. Они получают квалификацию специалистов образования по преподаванию ИТ-дисциплин в системе СПО (и школах), работниками системы дополнительного образования. Выпускники могут работать в ИТ-сфере для решения научно-образовательных и социальных задач. Такие специалисты востребованы в связи с развитием рынка программирования, информатизацией государственных структур, открытием ИТ-технопарков и цифровой трансформации бизнеса и образования. Это программа для построения карьеры аналитика, исследователя, эксперта в области образования. Этому способствуют ряд условий, при которых реализуется образовательная программа. Это:

1. Использование разнообразных форматов обучения. Это: мастер-классы, командные проекты, занятия в формате электронного и микрообучения обучения, сторителлинг, обучение через Challenge, co-working и др.

2. Проведение занятий приглашенными лекторами из профессиональной сферы.

4. Построение процесса обучения по принципу активной научной и исследовательской деятельности.

5. Соблюдение баланса в содержании программы. Студенты получают необходимые фундаментальные знания, изучая соответствующие дисциплины (математика, физика, информатика, алгоритмизация, теория вероятностей и математическая статистика, вычислительная математика и т. д.) на первых двух курсах. А уже со второго курса программа погружает студентов в мир разработки программных продуктов образовательного назначения. В последующем обучении студенты наращивают знания, осваивая прикладные и методические дисциплины, выполняя самостоятельные и групповые проекты как в рамках профессионально ориентированных дисциплин, так и курсовых работ.

6. Регулярное проведение презентаций выполненных студентами исследований (предоставляется возможность обсудить свое исследование с ведущими экспертами).

7. Создание комфортной и доброжелательной обстановки для обучения. Обучение в среде единомышленников. Нет искусственных барьеров между студентами и преподавателями, теми, кто работает в отрасли, и теми, кто только входит в профессию.

Структура образовательной программы модульная и обеспечивает практическую и теоретическую подготовку по профилю профессиональной и трудовой деятельности. В результате бакалавр будет иметь достаточную компетенцию, как в педагогической сфере, так и в области информатики и информационных технологий. Общее количество модулей, предлагаемых студентам для освоения - 10. Из них: 7 модулей в обязательной для освоения части и 3 в части, формируемой участниками образовательных отношений. Содержание модулей обеспечивает фундаментальную предметную, педагогическую и методическую подготовку. Поскольку образовательная программа ориентирована на подготовку педагогов для среднего профессионального образования в области информатики и информационных технологий, то в ней представлен широкий спектр дисциплин ИТ-направленности, в частности: программирование (16 з.е.), дискретные модели в информатике (3 з. е.), теоретические основы информатики (4 з.е.), веб-технологии (9 з.е.), Информационные системы и базы данных (5 з.е.), инфокоммуникационные технологии (2 з.е.) и ряд других дисциплин.

Существенный акцент в содержании программы сделан на изучение искусственного интеллекта и возможности его практического применения в образовании. С этой целью учебным планом предусмотрено освоение модуля «Искусственный интеллект в образовании» (18 з.е.). В нем предусмотрено изучение дисциплин, которые как на теоретическом, так и на практическом уровне позволяют студентам погрузиться в освоение основ искусственного интеллекта. Модуль включает семь дисциплин, предусматривающих изучение инженерии знаний, больших данных и инструментов для их обработки, машинного обучения и нейросетей, а также теоретических и практических вопросов использования искусственного интеллекта в образовании. Для освоения содержания этого модуля студенты предварительно изучают цикл фундаментальных и практикоориентированных дисциплин, которые обеспечивают студентам широкий спектр знаний и компетенций в области информатики. Серьезное внимание уделяется изучению языков программирования и веб-технологий. Предметно-содержательная подготовка дополнена методической и психолого-педагогической подготовкой, что обеспечивает студентам получение требуемых компетенций для осуществления преподавательской деятельности в образовательных учреждениях как системы среднего профессионального образования, так и основного общего и среднего общего образования.

Следует отметить, что учебным планом предусмотрена добротная практическая подготовка студентов за счет большого объема разнообразных по содержанию и целевому назначению практик. При реализации образовательной программы предусмотрена также подготовка студентов по вопросам цифровой экономики в образовании. Уделено должное внимание педагогической и гуманитарной составляющей программы для будущих педагогов среднего профессионального образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровая экосистема педагогического образования. Актуальные вопросы. Достижения. Инновации// под научной ред. Власовой Е. З.- СПб.: Издательство: ООО «НИЦ АРТ», 2022.- 148 с.
2. Власова, Е. З. Большие данные в анализе ИТ-успешности преподавателей университета / Е. З. Власова, Д. В. Власов // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. – 2024. – № 1(67). – С. 7-12. – DOI 10.46845/2071-5331-2024-1-67-7-12.
3. Власова, Е. З. 2.1. Анализ готовности преподавателей высшей педагогической школы к профессиональной деятельности в условиях электронного обучения на основе больших данных / Е. З. Власова, Д. В. Власов // Цифровая экосистема педагогического образования. Актуальные вопросы. Достижения. Инновации. – Санкт-Петербург : ООО "НИЦ АРТ", 2022. – С. 40-52.
4. Власов, Д. В. Цифровой след и перспективы его использования в высшем образовании / Д. В. Власов // Балтийский морской форум : Материалы XI Международного Балтийского морского форума. В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 36-42.
5. Власова, Е. З. Адаптивные технологии обучения - инновационный инструмент профессиональной подготовки студента современного вуза / Е. З. Власова // Образовательная инженерия. Понятия. Подходы. Приложения. – Москва : Научно-техническое издательство "Горячая линия-Телеком", 2021. – С. 20-38.
6. Жуков, Н. Н. Подготовка разработчиков программного обеспечения и специалистов по Data Science в условиях цифровой образовательной среды / Н. Н. Жуков, Д. В. Власов // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. – 2023. – № 4(66). – С. 160-169. – DOI 10.46845/2071-5331-2023-4-66-160-169.
7. Шафорост, Н. В. Анализ алгоритмов машинного обучения для разработки модели рекомендательной системы по созданию учебных планов / Н. В. Шафорост, Д. В. Власов // Современное образование: традиции и инновации. – 2023. – № 2. – С. 226-230. – DOI 10.51623/23132027_2302_226.

PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS OF PROFESSIONAL EDUCATIONAL INSTITUTIONS, THOSE WHO CONDUCT TRAINING IN THE PROGRAM "COMPUTER SCIENCE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION"

Vlasova Elena Zotikovna, Doctor of Pedagogical, Professor, the head of the department,
Information technology and e-learning department

The Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: vip.zavkaf@mail.ru

Currently, training innovatively thinking and creatively working teaching staff for secondary vocational education is one of the priorities. Its significance is enhanced by the high dynamics of development of the technological and digital production base. The article presents the structure and content of the new educational program "Computer Science and Artificial Intelligence in Education" for the training of teachers for educational organizations that provide training to future mid-level personnel.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ МОРСКОЙ ОТРАСЛИ В СВЕТЕ КОМПЕТЕНТНОСТНЫХ ТРЕБОВАНИЙ КОДЕКСА ПДНВ-78

¹Волков Евгений Леонидович, канд. техн. наук, доцент

¹Терлыч Станислав Владимирович, канд. техн. наук, доцент

^{1,2}ФГБОУ ВО «Херсонская государственная морская академия», Херсон, Россия,

e-mail: ¹yevvolkov@yandex.ru

Рассмотрена необходимость разработки методики расчета продольной прочности корпуса судна, применимой к использованию на борту судна в условиях его эксплуатации, а также внедрения курса специальной дисциплины при профессиональной подготовке специалистов морской отрасли, прививающего компетенции и навыки в определении нагрузок возникающих в корпусе судна, сечений до-стижения их максимального значения, умение рассчитывать возникающие в корпусе судна усилия и нагрузки, согласно требованиям Конвенции ПДНВ и модельных курсов ИМО № 7.01 и № 7.03. Обоснованно доказано внедрение дополнительного курса «Теория расчета прочности корпуса судна» в процесс подготовки будущего специалиста морской отрасли.

Введение

Статистика гибели морских судов свидетельствует, что одной из самых распространенных причин этого является повреждение корпуса судна и, как следствие, потеря плавучести (Табл. 1.). Такими примерами являются гибель судна "Герои Арсенала", которое затонуло в Черном море 19 апреля 2017 года в результате преломления пополам, в результате чего погибли люди. 7-го февраля 2019 года, в Черном море у северного побережья турецкой провинции Самсун, переломившись пополам, затонуло судно «Волго-Балт 214», погибло 4 моряков. Сухогруз Arvin выполнял рейс из Грузии в Болгарию и затонул вследствие перелома корпуса во время штормовой погоды у берегов турецкой провинции Бартын 17 января 2021 года, на борту находились 12 членов экипажа, шесть из них были спасены.

Возрастная усталость корпуса судна, износ и коррозия, неправильное размещение груза и распределение веса вдоль корпуса судна, перегрузка отдельных частей корпуса – все это является основными причинами разрушения корпуса судна и как следствие потеря плавучести, гибель судна.

Таблица 1

Основные причины гибели судов мирового морского флота

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Всего
Потеря плавучести	64	69	73	61	64	45	55	70	50	63	614
Посадка на мель	29	35	34	23	23	28	26	21	18	12	249
Пожары и взрывы	19	18	16	14	11	8	13	15	6	3	123
Столкновения	23	17	12	13	10	3	5	2	2	3	90
Повреждения машин	11	14	8	7	4	6	15	2	5	2	74
Повреждения корпуса	4	11	4	7	4	3	6	1	4	2	46
Другое	1	3	1	2	6	1	1	1	2		18
Наваливание	2	2	1	1			2		1		9
Нападение пиратов		1		1	2	1					5
Пропали без вести	1	1			1						3
Всего	154	171	149	129	125	95	123	112	88	85	1231

Анализ подготовки морского специалиста в свете требований Кодекса ПДНВ-78.

В процессе подготовки будущего судоводителя значительное внимание уделяется теории и расчетам остойчивости и посадки судна, для обеспечения которой рассматриваются вопросы распределения груза в грузовых трюмах вдоль корпуса судна.

Однако распределение груза в грузовых трюмах, для обеспечения продольной прочности корпуса судна, не менее важно, чем для обеспечения норм остойчивости и посадки судна и его следует задавать отдельным вопросом, так как, распределение груза для обеспечения остойчивости и посадки судна не совпадает с распределением груза для выполнения условий обеспечения продольной прочности корпуса судна и не обеспечивает ее автоматически.

Поэтому возникает необходимость проводить проверку выполнения требований обеспечения продольной прочности корпуса судна, которая может быть проведена по упрощенной методике, предложенной в [1,2], которая рассматривает расчет изгибающего момента относительно сечения на миделе, в котором изгибающий момент достигает наибольшего значения при равномерном распределении груза вдоль длины судна (рис. 1).

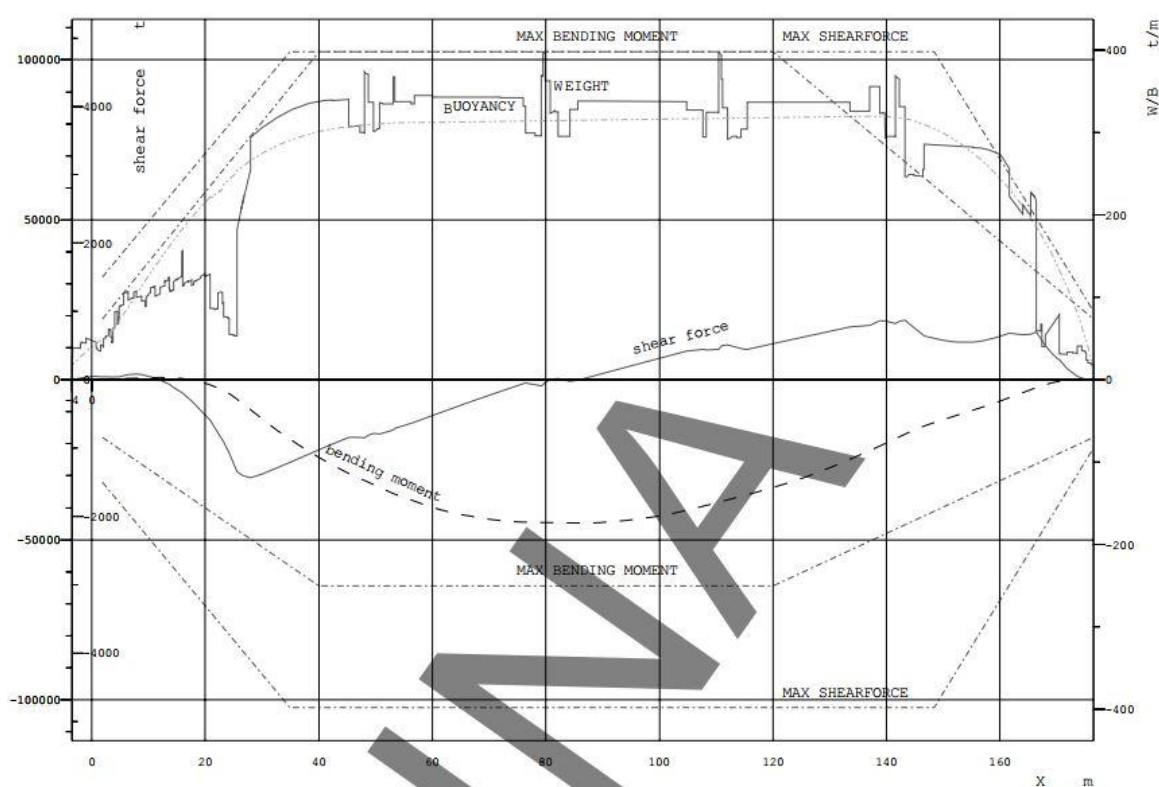


Рис. 1 Изгибающий момент "Bending moment" при равномерном распределении груза.

Указанная методика позволяет проводить проверку прочности корпуса судна, с достаточной для практики точностью.

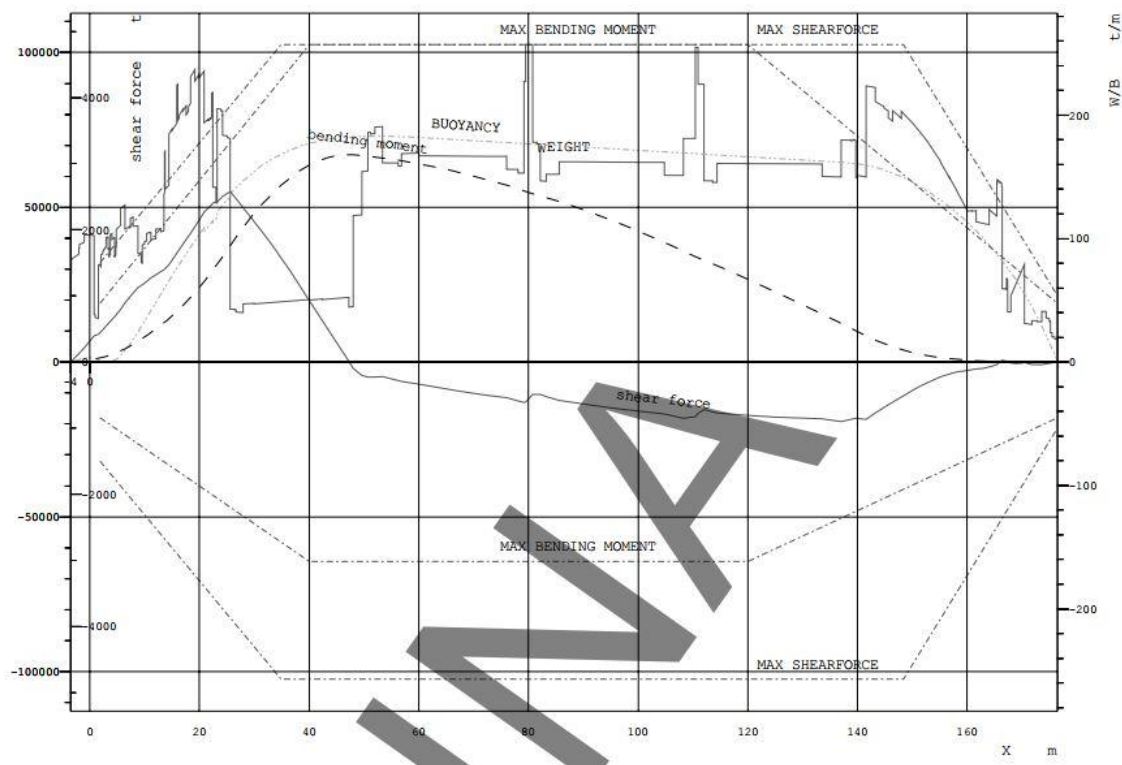


Рис. 2 Изгибающий момент "Bending moment" при неравномерном распределении груза.

Однако при неравномерном распределении груза, максимальные значения перерезающих сил и изгибающих моментов достигают своих наибольших значений не в поперечном сечении корпуса судна на миделе, а в любом месте его длины (рис. 2,3), а их максимальное значение зависит от загрузки и может достигать критических значений.

Цель исследования.

Обоснование создания курса "Теория расчета прочности корпуса судна" который в соответствии с требованиями Конвенции ПДНВ и модельных курсов ИМО № 7.01 и № 7.03 повысит эффективность подготовки будущих специалистов морской отрасли, овладение существующими методами вычисления внешних усилий, действующих на корпус судна в условиях эксплуатации, и возникающих внутренних напряжений, а также выполнения требований к нормированию продольной прочности корпуса судна.

Задачи исследования.

Создание оптимальной методики расчета продольной прочности корпуса судна, при различных вариантах загрузки судна, применимой для использования на борту судна с точностью необходимой для обеспечения безопасности морского перехода и выполнения рейсового задания.

Научная новизна

Впервые обосновывается необходимость внедрения в образовательный процесс методики определения прочностных показателей корпуса судна с использованием имеющейся на борту конструкторской документации, поставляемой на суда судоверфью.

Основные результаты исследования.

Вопрос обеспечения продольной прочности корпуса судна при неравномерном распределении груза становится особенно актуальным на судах контейнеровозах, где равномерное распределение

груза зачастую невозможно по причине больших габаритов, веса груза и по очередности портов загрузки и выгрузки. Также этот вопрос актуален для судов, перевозящих крупногабаритные одиночные грузы т. н. "Heavy – Lift", на которых зачастую невозможно обеспечить равномерное распределение груза. Достигать сверхкритических значений перерезывающие силы и изгибающие моменты могут также в случаях затопления отдельных судовых помещений, танков, трюмов, а также в отдельных случаях посадки судна на мель, при которых в результате повреждения корпуса судна возникает течь и затопление отдельных помещений, вызывающих неравномерные перегрузки в отдельных частях корпуса судна по его длине.

Определение шпангоутов, в которых возникают наибольшие значения перерезающих сил и изгибающих моментов, имеет важное значение с целью получения возможности компенсировать, путем принятия и/или наоборот откачки балласта, усилия возникающие от давления груза или давления воды на корпус судна.

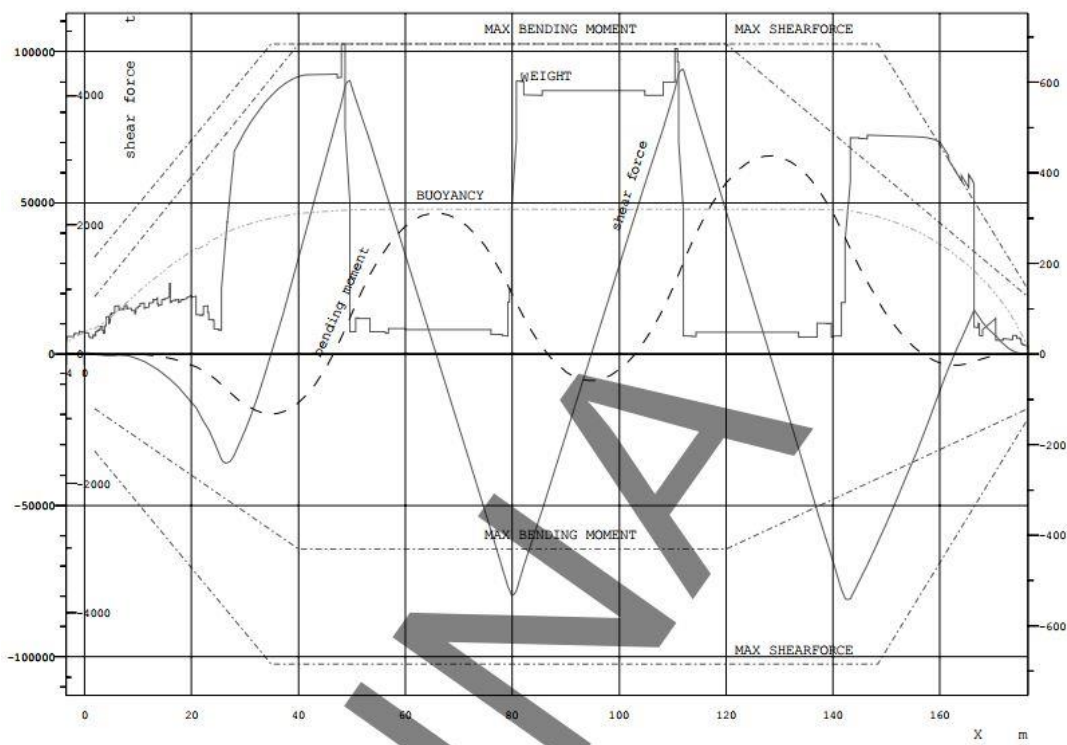


Рис. 3 Изгибающий момент "Bending moment" при неравномерном распределении груза.

При компенсации недопустимых сил и моментов в корпусе судна, следует учитывать силы и моменты, возникающие при восхождении судна на волну и нахождении между двух гребней волны, а также ударов встречной волны в нос корпуса судна.

Особенности в определении перерезающих сил и изгибающих моментов имеют и суда смешанного плавания типа "река-море" с соотношением длины судна к высоте борта более чем 25 [4, 5, 6] и эти особенности следует учитывать при расчете продольной прочности корпуса судна.

В процессе эксплуатации судна, его загрузки и плавания в штормовых условиях, старший помощник капитана (капитан) должен четко понимать, какие нагрузки возникают в корпусе судна, в каких именно местах эти напряжения достигают своего максимального значения. Старший помощник капитана (капитан) должен знать и уметь, используя имеющуюся на борту судна конструкторскую, построечную и эксплуатационную документацию, рассчитывать возникающие в корпусе судна усилия и напряжения во время загрузки судна, сравнивать их с допустимыми, делать вывод и учитывать эти нагрузки при дальнейшем плавании в плохих погодных условиях.

Судоводитель-будущий капитан – это специалист, который согласно требованиям Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года, с поправками, (далее – Конвенция ПДНВ, STCW Convention, STCW), способен выполнять важную функцию «обработка и размещение грузов на уровне управления», а также решать задачи, возникающие во время аварийных ситуаций, связанные с остойчивостью и прочностью корпуса судна.

Задачи курса.

Учебные:

Курс "Теория расчета продольной прочности корпуса судна" предназначен для подготовки специалистов образовательно-квалификационного уровня «инженер-судоводитель» специальности 26.05.05 «Судовождение», профессионального направления «судовождения» на основе компетентного подхода. Содержание учебного курса "Теория расчета продольной прочности корпуса судна" направлено на формирование следующих компетентностей:

- владение методами расчета продольной прочности корпуса судов;
- знание методов расчета внешних воздействий на корпус при эксплуатации судов;
- умение оценивать продольную прочность корпуса судна сравнением рассчитанной с нормативной, при эксплуатации судна;

Познавательные:

По результатам изучения курса курсант (студент) должен приобрести следующие знания:

- требования международных и национальных документов по обеспечению безопасности плавания судна, работы экипажа и охраны окружающей среды, в частности SOLAS Convention, STCW Convention, Convention MARPOL-73/78 и кодексов ИМО по безопасной перевозке различных типов грузов;
- требования Конвенции ПДНВ относительно минимального стандарта компетентности в соответствии с таблицами А-II/1 и А-II/2 к претендентам на занятие должностей судоводителя или старшего помощника капитана и капитана морских судов;
- устройство судна, его конструктивные особенности;
- основы теории судна; - фактические напряжения в корпусе судна во время грузовых операций и во время плавания, особенно в условиях волнения;
- принимаемые решения для уменьшения критических нагрузок на корпус и обеспечения плавания;
- изменение прочности корпуса судна в случае посадки на мель;
- требования охраны труда и техники безопасности к производственным процессам на борту судна;
- резолюцию ИМО А. 868 (20) по приему, учету, замене или обработки балластных вод;

Практические:

Курсант (студент) приобретает следующие умения:

- использовать знания нормативных документов: SOLAS Convention, STCW Convention, Convention MARPOL-73/78 и кодексов ИМО по безопасной перевозке различных типов грузов, обеспечению посадки, остойчивости и продольной прочности корпуса судна, предупреждению загрязнения окружающей среды;
- составлять грузовой план судна с учетом требований к посадке, остойчивости и обеспечению продольной прочности корпуса судна;
- пользоваться резолюцией ИМО А. 749 (18) по контролю остойчивости и прочности корпуса судна;
- определять напряженное состояние корпуса судна, предусматривать увеличение напряженности во время плавания на взволнованном море, и выбирать безопасные курсы плавания;
- выполнять первоначальные расчеты по снятию судна с мели и обеспечивать его плавучесть, остойчивость и продольную прочность корпуса;
- вести контроль за прочностью корпуса судна, рассчитывая значения перерезающих сил и изгибающих моментов и сравнивать их с допустимыми значениями;
- действовать в соответствии с процедурой по замене балласта согласно судовому Ballast Water Management Plan с обеспечением общей прочности и остойчивости судна.

Место курса в структуре основной образовательной-профессиональной программы

Курс "Теория расчета продольной прочности корпуса судна" относится к циклу профессиональной и практической подготовки. Изучение курса требует необходимых знаний по таким учебным дисциплинам, как «физика», «высшая математика», «теоретическая механика», «технология материалов». В дополнение к дисциплинам специального цикла («Теория и строение судна», «технология перевозки грузов») станет важным курсом по выбору, который будет способствовать повышению теоретической и практической подготовки будущих судоводителей, дающий необходимые теоретические знания и практические навыки в использовании конструкторской, построочной и эксплуатационной документации, имеющейся на судне при расчете продольной прочности корпуса судна при различных вариантах загрузки и волнового воздействия на корпус судна, включая возникновение волновых колебаний в корпусе судна и возникновение резонанса.

Ожидаемые приобретения компетенций после изучения курса

Курсанты (студенты) должны:

Приобрести знания:

- строение и устройство судна;
- основные международные конвенции по вопросам судостроения и безопасности судоходства;
- руководящие документы связаны с безопасной загрузкой, перевозкой и разгрузкой грузов;
- точность расчетов грузового плана судна;
- расположение координатных осей и их ориентирование для определения координат элементов корпуса и статей его нагрузки;
- силы, действующие на корпус судна, точки их приложения, направления их действия и моменты по отношению к основным координатным осям;
- силы, оказываемые давлением воды на корпус судна;
- порядок распределения груза с учетом требований к обеспечению местной и общей продольной прочности корпуса судна;
- существующие методики упрощенного определения продольной прочности корпуса судна;
- конструкторскую документацию, подготовленную судостроительным заводом;
- кривые элементы теоретического чертежа судна;
- кривые масштаба Бонжана или их табличный вариант;
- построение кривых масштаба Бонжана;
- пользование кривыми масштаба Бонжана, а именно определение объема подводной части корпуса судна;
- методику определения сил поддержки используя кривые масштаба Бонжана;
- быть знакомым с трохойдной теорией волн;
- построение совместимой диаграммы трохойдной волны и кривых масштаба Бонжана, с учетом высоты волны и посадки судна, для случая, когда судно на гребне волны;
- построение совместимой диаграммы трохойдной волны и кривых масштаба Бонжана, с учетом высоты волны и посадки судна, для случая, когда судно на подошве волны;
- методику определения сил поддержки для случаев, когда судно на гребне волны;
- методику определения сил поддержки для случаев нахождения судна на подошве волны;
- распределение сил веса от принятого груза, запасов, снабжения;
- построение эпюры от сил веса принятого груза, запасов, снабжения;
- распределение сил веса пустого судна;
- построение эпюры сил тяжести пустого судна;
- построение эпюры сил поддержки при данной загрузке и дифференте судна;
- построение эпюры результирующих сил от веса груза, запасов, снабжения, пустого судна и сил поддержки;
- методику определения результирующих сил от веса груза, запасов, снабжения, пустого судна и сил поддержки в различных сечениях вдоль корпуса судна;

- метод сечений при определении значений перерезывающих сил и изгибающих моментов и построении эпюр;

- методику определения перерезывающих сил в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- построение эпюры перерезывающих сил в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- методику определения изгибающих моментов в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- построение эпюры изгибающих моментов в различных сечениях вдоль корпуса судна.

Овладеть умением:

- использовать для расчетов построечную и эксплуатационную документацию, поставляемую судостроительным заводом;

- рассчитывать значение сил поддержки используя кривые масштаба Бонжана;
- строить совместную диаграмму трохойдной волны и сил давления воды на корпус судна;
- рассчитывать значение сил поддержки для случая нахождения судна на гребне двух волн и на гребне одной волны;
- рассчитывать значение сил веса от принятого груза, запасов, снабжения;
- строить эпюры от сил веса принятого груза, запасов, снабжения;
- рассчитывать значение сил веса пустого судна;
- строить эпюры сил тяжести пустого судна;
- строить эпюры сил поддержки при данной загрузке и дифференте судна;
- строить эпюры результирующих сил от веса груза, запасов, снабжения, пустого судна и сил поддержки;
- рассчитывать значение результирующих сил от веса груза, запасов, снабжения, пустого судна и сил поддержки в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- владеть методом сечений при определении значений перерезывающих сил, изгибающих моментов и построении эпюр;
- рассчитывать значение перерезывающих сил в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- строить эпюры перерезывающих сил в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- рассчитывать значения изгибающих моментов в различных сечениях вдоль корпуса судна;
- строить эпюры изгибающих моментов в разных сечениях вдоль корпуса судна и соотносить их с допустимыми.

Получить навыки:

- оценивать фактическое состояние судна для целей текущей перевозки с точки зрения местной и общей прочности корпуса судна и его элементов;
- оценка элементов рейса: погодных условий, района плавания;
- знаний транспортных характеристик груза: навалочный, генеральный, размеры и вес мест;
- определение действующей грузовой ватерлинии (Load Line) в зависимости от района и сезона плавания согласно требованиям Конвенции о грузовой марке;
- составление предварительного грузового плана судна с учетом возникающих нагрузок в корпусе судна и сравнивать их с максимально допустимыми нагрузками;

Выводы

Внедрение в образовательную программу новой дисциплины как отдельного курса «Теория расчета прочности корпуса судна», задачей которой будет обучение курсантов судоводительской специальности существующим методикам расчета прочности корпуса в целях и с точностью достаточной для обеспечения безопасной эксплуатации, применимой в реальных условиях эксплуатации на борту судна является необходимой и обязательной частью подготовки специалистов морской отрасли, в сферу трудовой деятельности которых входит, обеспечение безопасности плавания судна в различных условиях, а также предупреждение загрязнения окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ипатовцев Ю. Н., Короткин Я. И. Строительная механика и прочность корабля. – Л. : Судостроение, 1991. – 284 с.
2. Максимаджи А. И. Капитану о прочности судна: справочник. – Л. : Судостроение, 1988. – 240 с.
3. Российский морской регистр судоходства, правила классификации и постройки морских судов - нд п 2-020101-174 Правила классификации и постройки морских судов. Часть I. Классификация (Издание 2024 года);
4. Российский морской регистр судоходства, правила классификации и постройки морских судов - НД N 2-020101-174 Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус (Издание 2024 года);
5. Российский морской регистр судоходства, правила классификации и постройки морских судов - НД N 2-020101-174 Правила классификации и постройки морских судов. Часть IV. Остойчивость (Издание 2024 года);
6. Правила классификации и постройки морских судов нд № 2-020101-174 бюллетень изменений дата вступления в силу: 01.01.2024, Санкт-Петербург 2023 – 57 с.
7. Справочник по строительной механике корабля т. 3 под ред. Шиманского Ю. А., Л. Судпромгиз, 1960 – 208 с.
8. Международный кодекс остойчивости судов в неповрежденном состоянии 2008 года (Кодекс ОНС 2008 года).
9. Resolution A.749(18). Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments (ISC).
10. Международная конвенция про подготовку и дипломирование моряков и несении вахты 1978 года с поправками (консолидированный текст). С-Пб. ЦНИИМФ. 2010.- 806 с.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF TRAINING SPECIALISTS IN THE MARINE INDUSTRY IN THE LIGHT OF THE COMPETENCE REQUIREMENTS OF THE STCW CODE 78

¹Volkov Evgeny Leonidovich, candidate of technical sciences, assistant professor

²Terlych Stanislav Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor

^{1,2}FSBEE HE "Kherson State Maritime academy", Kherson, Russia,
e-mail: ¹yevvolkov@yandex.ru

The article considers the need to develop a methodology for calculating the longitudinal strength of the hull of a vessel applicable to use on board a vessel in its operating conditions, as well as the introduction of a special discipline course in the professional training of specialists in the marine industry, instilling competencies and skills in determining the loads arising in the hull of a vessel, cross sections to achieve their maximum value, the ability to calculate the forces arising in the hull of a vessel and loads, according to the requirements of the STCW Convention and IMO Model Courses No. 7.01 and No. 7.03. The introduction of the additional course "Theory of calculating the strength of the hull" into the training process of a future specialist in the marine industry has been reasonably proved.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОФЕССИОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА: РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Новоселов Кирилл Андреевич, старший преподаватель кафедры электрооборудования и автоматики судов Морского института

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: kirill-n1996@mail.ru

Приводится теоретическое обоснование выбора профессиографического мониторинга в качестве технологии оценки мотивационного компонента профессиональной компетентности курсантов морского вуза в условиях смешанного обучения, а также показаны результаты эмпирического исследования, проведенного в течение двух лет, которые наглядно демонстрируют положительную динамику мотивационного компонента профессиональной компетентности.

В последние годы в процессе обучения стали использоваться сервисы дистанционного взаимодействия: электронная почта, социальные сети, платформы для проведения лекций (например, Google Meet, Zoom), собственные платформы университетов. Через указанные сервисы осуществлялись передача информации студентам и проверка выполненных заданий, информирование и организация занятий. Переход на дистанционное обучение с одной стороны нарушил установившийся порядок образовательного процесса, но с другой – ускорил внедрение цифровых технологий в образовательных учреждениях [1].

Обновление и модернизация цифровой инфраструктуры вузов, применение платформ и средств удаленной коммуникации для проведения вебинаров и онлайн лекций, а также смягчению условий пандемии, способствовало, со временем, переходу от дистанционной формы обучения к смешанному формату. Однако такой переход и обучение в новых условиях в течение нескольких лет оказало большое влияние не только на учебный процесс, но и на самих студентов [2].

В условиях, когда внешние обстоятельства могут не только временно нарушить привычный уклад и стабильность, но и стать частью повседневной жизни [3] (например, период пандемии 2020-2021 гг.), затронув все сферы деятельности, включая и образовательную, необходимо разрабатывать и использовать новые педагогические инструменты и технологии для оценки качества образования. Одним из показателей качества можно считать уровень профессиональной компетентности, который складывается из знаний, умений и навыков, которые студенты, курсанты приобретают в процессе профессиональной подготовки. Однако то, насколько хорошо они освоят профессиональные компетенции, сильно зависит от их заинтересованности в учебном процессе, мотивации не просто получить образование, но действительно стать высококвалифицированным специалистом.

Рассматривая высшее образование в морской сфере, следует отметить, что в связи с новым витком развития морской отрасли, судоходства, обновления и модернизации судов, возникает потребность в высококвалифицированных кадрах, получивших качественное образование. При этом известно, что чем больше обучающийся заинтересован в достижении поставленной цели, тем выше будет его уровень подготовки. Однако в условиях цифровой трансформации образовательной системы необходимо поставить вопрос о формировании мотивационного компонента профессиональной компетентности, как неотъемлемой части эффективного процесса профессиональной подготовки [4] [5].

Опросы курсантов показали, что мнения относительно смешанного формата обучения разделились: от негативного отношения до положительного, что говорит о необходимости обратить внимание не только на процесс профессионального обучения, но и на развитие и применение новых инструментов и технологий для оценки уровня сформированности компонентов профессиональной компетентности, в частности мотивационного компонента.

Основным требованием работодателей становится наличие у специалиста способности к самостоятельному обучению для совершенствования умений и навыков на протяжении всей своей деятельности,

а это возможно при наличии у него мотивации к учебной и профессиональной деятельности. При несформированном мотивационном компоненте профессиональной компетентности выпускник становится невостребованным рынком труда, так как не может осознать себя в качестве члена профессиональной сферы, отрасли, не понимает важность постоянного саморазвития и самообучения, что в итоге приводит к менее успешной профессиональной самореализации или, возможно, к смене профессиональной деятельности.

Дистанционный и смешанный форматы обучения, как новые типы обучения в процессе эволюции образовательной среды в условиях цифровизации уже были признаны в начале XXI века [6].

Пандемия новой коронавирусной инфекции, вызвавшая кризис в масштабе всей планеты, показала, что консерватизм в образовательной системе недопустим, она может и должна меняться, трансформироваться в соответствии с мировыми тенденциями. В процессе высшего образования происходит взаимодействие «студент-студент» и «студент-преподаватель», что является необходимым для успешности получения образования [7]. В период перехода на дистанционное обучение удовлетворенность образовательным процессом у студентов снизилась. В своей работе Т.С. Аканькина указывает, что нужна не только разработка цифровых инструментов, но и их успешная интеграция учебный процесс [8]. В работах И.Ю. Старчиковой сказано о важности проведения оценки образовательных результатов у обучающихся, при использовании электронной образовательной среды [9]. Период пандемии повлек за собой кардинальные изменения в системе образования, затребовав усилия, как студентов, так и преподавателей, а также позволил людям более глубоко задуматься о себе, своих целях, установках, личностных смыслах [10].

Сам факт перехода на дистанционное обучение, а затем активное внедрение и использование формата смешанного обучения, нестабильная обстановка в мире на фоне пандемии вызывают необходимость к обучению на протяжении всей жизни, так как условия труда изменяются очень динамично, а потребность в самоопределении, карьере и высоком заработке обуславливает мотивацию к профессиональному обучению [11]. Потребность в достижении успеха в профессиональном развитии, усиливает мотивацию субъекта обучения к изучению материала, получению новых знаний, не формально (для получения оценки, документа об образовании), но для понимания будущей профессиональной деятельности. Переход на новый формат потребовал от участников образовательного процесса цифровой компетентности, при этом у обучающихся возникло меньшее количество проблем, так как они к так называемому цифровому поколению [12; 13].

В работах А.С. Белкина [14-16], И.А. Кривобокова, А.А. Орлова [17], С.Н. Силиной [18-21] формируется представление о педагогическом мониторинге и его применении в учебном процессе. Позднее формулируется термин: «профессиографический мониторинг» [22], однако своего дальнейшего развития не получает, практически отсутствуют исследования, о его возможностях и способах применения. В работах [24, 25, 26] была рассмотрена возможность применения профессиографического мониторинга, как инструмента оценки мотивационного компонента профессиональной компетентности курсантов морского вуза в условиях смешанного обучения.

Рассматривая профессиографический мониторинг, как технологию, позволяющую оценить динамику формирования мотивационного компонента профессиональной компетентности курсантов морского вуза в условиях смешанного обучения были проведены эмпирические исследования.

В 2021-2022 гг. были выделены две группы курсантов, обучающиеся по программе 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»: экспериментальная (15 чел.) и контрольная (20 чел.). Проведение профессиографического мониторинга в рамках модели формирования мотивационного компонента профессиональной компетентности курсантов морского вуза в условиях смешанного обучения [27] результатом показало, что показатель по шкале «Получение диплома» и «Овладение профессией» в экспериментальной группе увеличился в большей степени по сравнению с контрольной группой, а по шкале «Получение диплома» произошло более выраженное снижение показателя, что в данной методике является положительным. В 2022-2023 гг. участниками исследования стали курсанты и студенты 3 и 4 курса специальностей «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и «Эксплуатация судовых энергетических установок» очной и заочной форм обучения (196 человек), положительные результаты исследования подтвердили данные полученные в 2021-2022 гг.

В начале пандемии, когда все участники образовательного процесса вынужденно перешли на дистанционный формат работы, сложно было представить, как изменится учебный процесс, что смешанное

обучение станет привычным форматом обучения, не смотря на свои преимущества и недостатки [23]. Дистанционный формат вызвал ряд трудностей при профессиональной подготовке обучающихся по прикладным специальностям. В тоже время смешанный формат обучения становится все более востребованным, позволяя обучающимся получать теоретические знания дистанционно, а практические – отрабатывать на реальном оборудовании, в лабораториях. Рассматриваемый нами профессиографический мониторинг включает в себя первичную диагностику, наблюдение, контроль, коррекцию, прогнозирование и итоговую диагностику, что позволяет ему стать технологией для оценки мотивационного компонента профессиональной компетентности. Проведенные экспериментальные исследования показывают положительную динамику изменения мотивационного компонента профессиональной компетентности курсантов морского вуза в условиях смешанного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларионова В. А., Семенова Т. В., Мурзаханова Е. М., Дайнеко Л. В. Экономические аспекты вынужденного перехода на дистанционное обучение, или Какую цену заплатили вузы за дистант // Вопросы образования / Educational Studies Moscow. 2021. No. 1. С. 138–157. DOI: <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2021-1-138-157>.
2. Семенова Т. В. «Когда сидишь просто перед компьютером, он от тебя ничего не требует»: трудности и стратегии студентов при прохождении MOOK в вузах // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2022. No. 2. С. 292–316. DOI: <https://doi.org/10.14515/monitoring.2022.2.1999>.
3. Permacrisis. Cambridge Dictionary. URL: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/permacrisis> (дата доступа: 30.04.2023).
4. Гарашкина Н. В., Дружинина А. А. Когнитивная вовлечённость как основа проектирования учебного процесса в подготовке студентов педагогических направлений // Высшее образование в России. 2023. Т. 32. No. 1. С. 93–109. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2023-32-1-93-109>.
5. Амбарова П. А., Зборовский Г. Е., Никольский В. С., Шаброва Н. В. Академическая и социокультурная адаптация студентов в вузах России // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. No. 12. С. 9–30. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-12-9-30>.
6. Вайндорф-Сысоева М.Е. Методика дистанционного обучения: М.: Юрайт, 2018. 194 с.
7. Kember D., Trimble A., Fan S. An Investigation of the Forms of Support Needed to Promote the Retention and Success of Online Students // American Journal of Distance Education. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/08923647.2022.2061235>
8. Аканькина Т.С. Состояние проблемы дистанционного обучения в современном высшем образовании // Глобальный научный потенциал. 2020. № 8(113). С.16–21.
9. Старчикова И.Ю. Управление электронной образовательной средой в процессе обучения иностранному языку в техническом университете // Глобальный научный потенциал. 2020. № 6(111). С.114–116.
10. Сорокоумова Е.А., Чердымова Е.И., Пучкова Е.Б., Темнова Л.В. Студенты в период пандемии COVID 19: понимание ситуации самоизоляции // Научное обозрение. Серия 1. Экономика и право. 2020. № 3. С. 196- 205. DOI: 10.26653/2076-4650-2020-3-18.
11. Gagné M., Parker S. K., Griffin M. A. et al. Understanding and shaping the future of work with self-determination theory // Nature Reviews Psychology. 2022. No. 1. P. 378–392. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44159-022-00056-w>.
12. Петрунева Р. М., Васильева В. Д., Топоркова О. В. Студенческая молодежь в эпоху цифрового общества // Преподаватель XXI век. 2019. No. 1. С. 77–85. EDN: AWLGBV.
13. Adedoyin O. B., Soykan E. Covid-19 Pandemic and Online Learning: the Challenges and Opportunities // Interactive Learning Environments. 2020. Vol. 31. No. 2. P. 863–875. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1813180>.
14. Белкин А.С., Жаваронков В.Д., Сирина С.Н. Педагогический мониторинг образовательного процесса. Выпуск 3. – Шадринск: Изд-во ШГПИ, 1998. – 47 с.
15. Белкин А.С., Жукова Н.К. Педагогический мониторинг образовательного процесса (учебно-методические материалы) – Екатеринбург, 1998. – 73 с.

16. Белкин А.С. Силина С.Н. Профессиографический мониторинг подготовки специалиста в системе высшего педагогического образования. Выпуск 4. – Шадринск: Изд-во ШГПИ, 1999. – 66 с.
17. Орлов А.А. Мониторинг инновационных процессов в образовании // Педагогика. 1996. № 3. – С. 9-15.
18. Силина С.Н. Технология применения профессиографического мониторинга в системе высшего педобразования // Механизм обеспечения гарантий качества проф. подготовки педагог. кадров: Сборник науч. трудов / Урал. гос. пед. ун-т, - Екатеринбург, 2001. – С. 220-222.
19. Силина С.Н. Профессиографический мониторинг в системе высшего педагогического образования // Стандарты и мониторинг в образовании. – М.: Изд-во «Русский журнал», 1999, № 2. – С. 59-64.
20. Силина С.Н. Профессиографический мониторинг подготовки специалистов в образовательном процессе педагогического вуза (история и теория). Монография. – М.: Национальный центр стандартов и мониторинга образования, 2001. – 245 с.
21. Силина С.Н. Дидактическая функция профессиографического мониторинга // Психодидактика высшего и среднего образования. Материалы научно-практич. конференции. – Барнаул, 1998. – С. 282-283.
22. Силина С.Н. Профессиографический мониторинг становления специалиста в образовательном процессе педагогического вуза : автореферат дис. ... доктора педагогических наук : 13.00.08 / Шадр. гос. пед. ин-т. - Екатеринбург, 2002. - 47 с.
23. Захарова У. С., Вилкова К. А., Абрамов Р. Н. Применение MOOK в преподавании в российских вузах: почему нет роста спроса на них в условиях вынужденного перехода на дистанционное обучение? // Высшее образование в России. 2023. Т. 32. №. 2. С. 125–148. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2023-32-2-125-148>.
24. Силина, С. Н. 4.4. Аспекты профессиографического мониторинга при реализации смешанного обучения в морском вузе / С. Н. Силина, К. А. Новоселов // Приоритетные направления развития высшего образования в Российской Федерации: коллективная монография. – Ульяновск: ИП Кеньшенская Виктория Валерьевна (издательство «Зебра»), 2023. – С. 234-243. – EDN JGXYBM.
25. Новоселов, К. А. Профессиографический мониторинг: теория и практика применения в морском инженерном вузе / К. А. Новоселов, С. Н. Силина // Психолого-педагогические вопросы современного образования: монография. – Чебоксары: Издательский дом «Среда», 2024. – С. 16-29. – DOI 10.31483/r-110137. – EDN HXYRPU.
26. Силина, С. Н. Применение технологии профессиографического мониторинга в морском вузе / С. Н. Силина, К. А. Новоселов // Балтийский морской форум: Материалы XI Международного Балтийского морского форума. В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 118-122. – EDN HJEENJ.
27. Новоселов К. А. Модель формирования мотивационного компонента профессиональной компетентности курсантов морского вуза в условиях смешанного обучения // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота. 2024. № 2 (68). С. 180–185.

TECHNOLOGY OF PROFESSIOGRAPHIC MONITORING: APPLICATION RESULTS

Kirill Novoselov, Senior Lecturer at the Department of Electrical Equipment and Automation of Ships of the Maritime Institute

Baltic Fishing Fleet State Academy of Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: kirill-n1996@mail.ru

The paper provides a theoretical justification for the choice of profессиоgraphic monitoring as a technology for evaluating the motivational component of the professional competence of maritime university cadets in a blended learning environment, and also shows the results of an empirical study conducted over two years, which clearly show the positive dynamics of the motivational component of professional competence.

ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ УЧАЩИХСЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА КАК МЕТОДИКОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ЯЗЫКОВОЙ ПОДГОТОВКИ

Резникова Татьяна Николаевна, ст. преподаватель кафедры русского языка

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: tatyana.reznikova@klgtu.ru

Рассматриваются пути интенсификации учебной деятельности посредством составления лингводидактического профиля обучающихся; характеризуется понятие лингводидактика; дается определение термину «профиль»; анализируются характеристики и параметры личности, которые важны для процесса языкового обучения и реализации его основных целей и задач.

В целях повышения эффективности обучения иностранцев русскому языку на подготовительном отделении вуза и успешности дальнейшего обучения профессии необходимо определить специфические цели, потребности, личностные и другие значимые характеристики конкретного контингента обучающихся. Для выявления специфических черт определенного контингента в рамках языковой подготовки целесообразно разработать новый методикометрический инструмент. В качестве такого инструмента исследователи считают составление лингводидактического профиля конкретного контингента иностранных обучающихся.

В этой связи необходимо дать характеристику понятию *лингводидактика* (от лат. *lingua* – язык + греч. *didaktikos* – поучительный). Термин *лингводидактика* в научном обиходе появился в 80-е годы прошлого века в трудах Н.М. Шанского, который разрабатывал проблемы описания языка в учебных целях, т.е. лингводидактическое описание включало в себя изучение сходств и различий языков, анализ структуры и содержания изучаемого языка, составление языковых минимумов и другие проблемы взаимодействия лингвистики и педагогики.

*Лингвистика (от фр. *Linguistique*; лат. *lingua* – язык) - наука об общих законах строения и функционирования языка.

*Педагогика (от греч. *Paidagōgikē*) – наука о воспитании и образовании человека. Обе науки являются базовыми для методики обучения иностранным языкам.

Содержание термина *лингводидактика* в научной литературе имеет различные трактования. Ряд исследователей отождествляют лингводидактику и методику преподавания языка, однако большинство ученых трактуют лингводидактику как общую теорию обучения языку, разрабатывающую ее методологические основы, тем самым утверждая право лингводидактики на самостоятельное существование как автономной научной отрасли методической науки (Н.Д. Гальскова, Л.В. Москвитин). Лингводидактические основы обучения языку содержат теоретические основы (представление о содержании, целях, задачах, принципах, методах, средствах, процессе обучения, о методах исследования в лингводидактике и взаимодействии с базовыми для нее науками - методикой, лингвистикой, педагогикой, психологией, психолингвистикой) и о методических основах обучения языку (обучение аспектам и видам речевой деятельности в конкретных условиях преподавания, организация учебного процесса, требования к педагогу и т.д.)

По мнению Н.Д. Гальсковой, лингводидактика тесно связана с технологией (методикой) обучения иностранным языкам и реальной практикой преподавания. Категориально-понятийный аппарат лингводидактики включает в себя личностно значимую терминологию: языковая личность, языковое сознание (вторичное), когнитивное сознание (вторичное), духовность, уникальность. Исследователь считает, что опора на данные категории дает возможность создания образовательной модели и системы обучения иностранным языкам не только с «ярко выраженным не только коммуникативным и межкультурным, но и ценностно-ориентированным и диалоговым характером».

В научном обиходе термин «профиль» активно используется в различных сферах, впервые появившись в юриспруденции (криминалистический профиль, в который включаются психологические, социоэкономические, логистические, географические и другие параметры) и судебной медицине (функциональная стандартизация). Таким образом, в терминологический аппарат понятие профиль включается как инструмент определения и измерения характеристик человека, сфер деятельности, моделирования личности, прогнозирования поведения этой личности в соответствии с целями и задачами той области науки и практики, в которой используется это понятие. Так, в тестологии исследуют профили тестируемых и профили тестовых систем. В современной лингводидактике выявляют и анализируют профили образовательных систем, направлений обучения и специальности, профили обучающихся и специалистов, когнитивные профили и т.д.

Профиль обучающегося в качестве методикометрического инструмента выявляет и измеряет те характеристики и параметры личности, которые важны для процесса обучения и помогут реализации его основных целей и задач. Лингвометодический потенциал понятия профиль обучающегося выражается в возможности для преподавателя получения значимой информации о студенте, установления необходимого для успешного обучения личностного контакта, смоделировать его коммуникативно-речевое развитие, разработать необходимые стратегии для оптимизации учебного процесса.

Методически четко составленный профиль обучающегося является основой для определения структуры и содержания учебного процесса, разработки результативных средств обучения. Содержащаяся в профиле обучающегося необходимая информация о студенте позволяет преподавателю минимизировать трудности при вхождении иностранного студента в новую, незнакомую лингвообразовательную среду российского вуза, определить сильные и слабые стороны личности обучающегося, найти эффективные пути решения проблем в обучении.

Системные научные исследования в области структуры, содержания и способах составления профиля обучающегося как инструмента, определяющего выбор методики и средств обучения, оптимальной для конкретного контингента студентов, практически отсутствуют, несмотря на практическую необходимость данной разработки.

В связи с возрастающей практической востребованностью термин профиль используется в разных областях деятельности для выявления и учета различных характеристик личности.

Существуют различные трактовки термина профиль как способа описания личности в терминологически словарях:

- «summary of personal details», «record of a person's psychological or behavioral characteristics, preferences, etc.» (совокупность личных данных, запись психологических или поведенческих характеристик личности и т.д.) [The Oxford Dictionary... 1997];

- «a description of somebody / something that gives useful information» (описание кого-либо или чего-либо, дающее полезную информацию) [Oxford Learner's Dictionary... 1993];

- «совокупность знаний и навыков, требуемых для какой-либо профессии» [Толковый словарь... 2013];

- «совокупность основных типических черт, характеризующих профессию, специальность» [Словарь... 1999].

Ворожцова И.Б., исследуя вопросы лингводидактики, дает следующее определение изучаемого нами понятия – «профиль обучающегося – это совокупность умений, которыми владеет обучающийся в данной области знания».

Как мы видим, термин *профиль* используется достаточно активно: так, в психологии существует понятие психологический профиль личности, в котором описываются и анализируются основные характеристики и особенности личности человека, в педагогике – профиль обучения, в тестологии – профиль тестирования и профиль тестируемого. Наряду с широким практическим использованием, востребованностью и научно-практическим потенциалом понятия *профиль*, как показывает анализ литературы, в научном аспекте данное понятие разработано слабо, не определены его структура, содержание, источники и механизмы составления профилей.

В общем смысле, профиль составляется для разработки моделей личности человека, определения свойств и характеристик личности, значимых для той или иной сферы деятельности.

Для составления лингводидактического профиля обучающегося необходимо выявить и обобщить наиболее важные для нашего исследования характеристики личности учащихся.

Рассмотрим характеристики, которые включают в состав индивидуального профиля ученика в теории и практике преподавания иностранных языков:

- навыки и умения;
- мотивы изучения языка;
- возможные барьеры в обучении;
- интересы и потребности;
- сильные и слабые стороны;
- компетентности в разных видах коммуникативной деятельности и их оценка на основании результатов текущего и итогового контроля;
- возраст;
- учебные «предпочтения» и т.д.

В составлении профиля может участвовать как преподаватель, так и сам обучающийся. Опираясь на перечисленные выше характеристики, можно сделать вывод о том, что профиль обучающегося является динамичной, изменяющейся величиной, особенно в области таких позиций, как мотивация, новые знания, навыки, компетенции, личностное развитие.

Характеристики, формирующие типовой лингводидактический профиль, выявляются на основе анализа статистических данных, анкетирования обучающихся и преподавателей, результатов различных типов тестирования, устных ответов в процессе обучения, текущего, промежуточного и итогового контроля.

Для составления лингводидактического профиля иностранного студента подготовительного факультета российского вуза необходимо включить пункты о возрастных категориях, гендерной идентификации, указать родной язык и страну, из которой прибыл обучаемый для получения высшего образования в РФ. Психологические особенности определенной возрастной категории, гендерная принадлежность (особенно для представителей арабских стран), описание менталитета студентов, их этнической идентификации являются важнейшими характеристиками для педагогического моделирования образовательного процесса, для преодоления разного рода трудностей в обучении, а также для выбора средств и методов преподавания русского языка и подготовки иностранного студента к получению высшего образования в Российской Федерации.

Методически грамотно составленный лингводидактический профиль конкретного контингента обучающихся позволит четко определить стратегии и педагогический стиль обучения.

По нашему мнению, структура лингводидактического профиля иностранного обучающегося подготовительного факультета может быть сформирована следующими характеристиками.

- гражданство,
- возраст,
- гендерная идентификация,
- особенности родной культуры,
- уровень общеобразовательной подготовки,
- стиль обучения, принятый в родной стране обучающегося,
- особенности менталитета конкретной категории обучающихся,
- доминирующий учебный этностиль,
- типические характеристики родного языка,
- стартовый уровень владения русским языком,
- цели и мотивы изучения языка,
- основные коммуникативные потребности,
- целевой уровень владения языком,
- актуальные сферы общения и виды речевой деятельности,
- основные трудности в изучении русского языка,
- предпочтительные методы, технологии, средства обучения.

Выявление характеристик, формирующих лингводидактический профиль, основывается на статистических данных, анализе результатов анкетирования студентов, преподавателей русского языка как иностранного и преподавателей специальных дисциплин, результатах текущего и итогового контроля, регламентирующих документах (образовательный стандарт), анализе научно-методических исследований по вопросам обучения определенной категории иностранных студентов.

Таким образом, лингводидактический профиль – это педагогическая модель личности учащегося подготовительного факультета вуза, т.е. определенная система личностных свойств и особенностей, структура которой содержит характеристики, необходимые и важные для изучения русского языка как иностранного и подготовки к обучению в российском техническом вузе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Азимов Э.Г., Щукин А.Н. Современный словарь методических терминов и понятий: теория и практика обучения языкам / Э. Г. Азимов, А. Н. Щукин. – Москва: Русский язык. Курсы: Русский мир, 2018. – 495 с.
2. Балыхина Т.М. От методики к этнометодике: поликультурные аспекты обучения русскому языку // Русский язык в многополярном мире: новые лингвистические парадигмы диалога культур: сборник статей международной научно-практической конференции, посвящённой 50-летию РУДН. – М.: РУДН, 2009. – С. 10–12.
3. Ворожцова И.Б. Основы лингводидактики. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Филология», «Теория и методика преподавания языков и литературы». – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2007. – 113 с.
4. Гальскова Н. Д. Отечественная лингводидактика: этапы становления и развития // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Образование и педагогические науки. 2021. №1 (838). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennaya-lingvodidaktika-etapy- stanovleniya-i-razvitiya>.
5. Гальскова Н.Д. Языковой портфель как инструмент оценки учащегося в области изучения иностранных языков / Н.Д. Гальскова // Иностранные языки в школе. - 2000. -№5. - С. 6-11.
6. Должикова А.В., Куриленко В.В., Бирюкова Ю.В. и др. Лингводидактическое профилирование в обучении трудовым мигрантам русскому языку как иностранному. *Int. Migration & Integration* 19, 181–194 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12134-017-0531-3>
7. Куриленко В.Б., Бирюкова Ю.Н. Компоненты лингводидактического профиля обучения русскому языку как иностранному детей-билингвов. - Сборник материалов конференции. Би-, поли-, транслингвизм и языковое образование: посвящается нашим Учителям. Российский университет дружбы народов (РУДН). - 2018. С. 338-348
8. Толковый словарь современного русского языка [Текст]: [100 000 слов и словосочетаний] / Д. Н. Ушаков. - Москва: Аделант, 2013.
9. Словарь русского языка: В 4 т. / Рос. акад. наук. Ин-т лингвист. исслед. 1999. – 698, [1] с.; ISBN 5-87548-044-0
10. Oxford Dictionary of New Words (1997). Oxford, New York: Oxford University Press.
11. Oxford Learner’s Dictionary (1993). Oxford: Oxford University Press.

THE LINGUODIDACTIC PROFILE OF STUDENTS OF THE PREPARATORY FACULTY AS A METHODOLOGICAL INSTRUMENT FOR LANGUAGE TRAINING

Reznikova Tatyana Nikolaevna, senior lecturer at the Department of Russian language

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: tatyana.reznikova@klgtu.ru

The article discusses ways to intensify educational activities by compiling a linguodidactic profile of students; characterizes the concept of linguodidactics; defines the term profile; analyzes the characteristics and parameters of personality that are important for the process of language learning and the implementation of its main goals and objectives.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

¹Рудаченко Светлана Владимировна, канд. техн. наук,
доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования

²Рудаченко Татьяна Владимировна, канд. техн. наук,
доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹svetlana.rudachenko@klgtu.ru

Создана педагогическая модель процесса обучения начертательной геометрии и инженерной графике с применением системы тестового контроля графической подготовки. Представлены экспериментальные результаты внедрения этой методики в учебный процесс, а также проведен сравнительный анализ использования тестовых методик, доказывающий эффективность разработанной модели.

Авторами проведен анализ результатов исследований в области педагогического проектирования, использования различных образовательных технологий, в том числе применения педагогического тестирования в процессе графической подготовки и предложена модель системы совершенствования обучения графическим дисциплинам. Структура разработанной модели представлена в работе [1]. Данный педагогический проект предполагает применение тестовых методик.

Система тестового контроля подготовки студентов по инженерной и компьютерной графике, разработанная авторами, приведена на рис. 1.

При изучении раздела «Начертательная геометрия» предлагается использовать в учебном процессе разработанное авторами пособие [2], подробное описание которого представлено в работе [3].

Раздел «Проекционное черчение». На начальных этапах обучения студенты должны приобрести навыки составления чертежей таких простейших геометрических тел, как призмы, пирамиды, поверхности вращения, а также схематизированных деталей. Авторами разработано и внедряется в учебный процесс новое учебно-методическое пособие развивающего типа по проекционному черчению с модульными классификаторами теоретической информации МКТИ [4] (структура разработки – на рис. 2). Модульные классификаторы – это информационные карты, представленные в виде систематизированного перечня текстовой и графической информации [5].

В пособии [4] теория блока реализации представлена модулями 1-4, оформленными в виде модульных информационных карт (МКТИ): модуль 1 - ГОСТ 2.305-2008 «Изображения – виды, разрезы, сечения»; модуль 2 - Многогранные поверхности; модуль 3 - Поверхности вращения; модуль 4 - Схематизированная деталь. Изучение этих модулей способствует развитию пространственного воображения, формированию у студентов технических специальностей базового уровня графической компетентности, а также помогает подготовиться к контрольным заданиям и зачету.

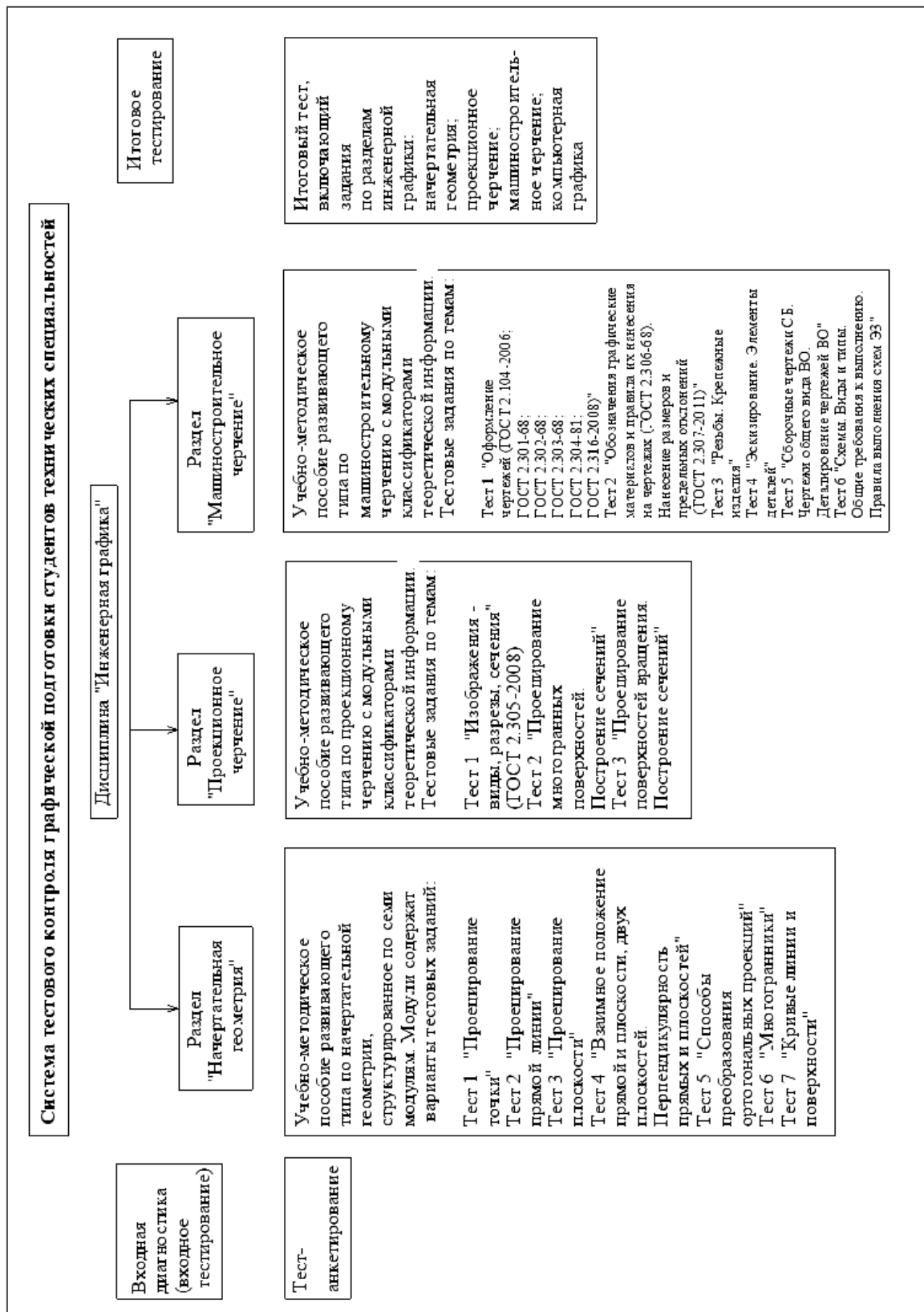


Рис. 1 Модель системы тестового контроля графической подготовки

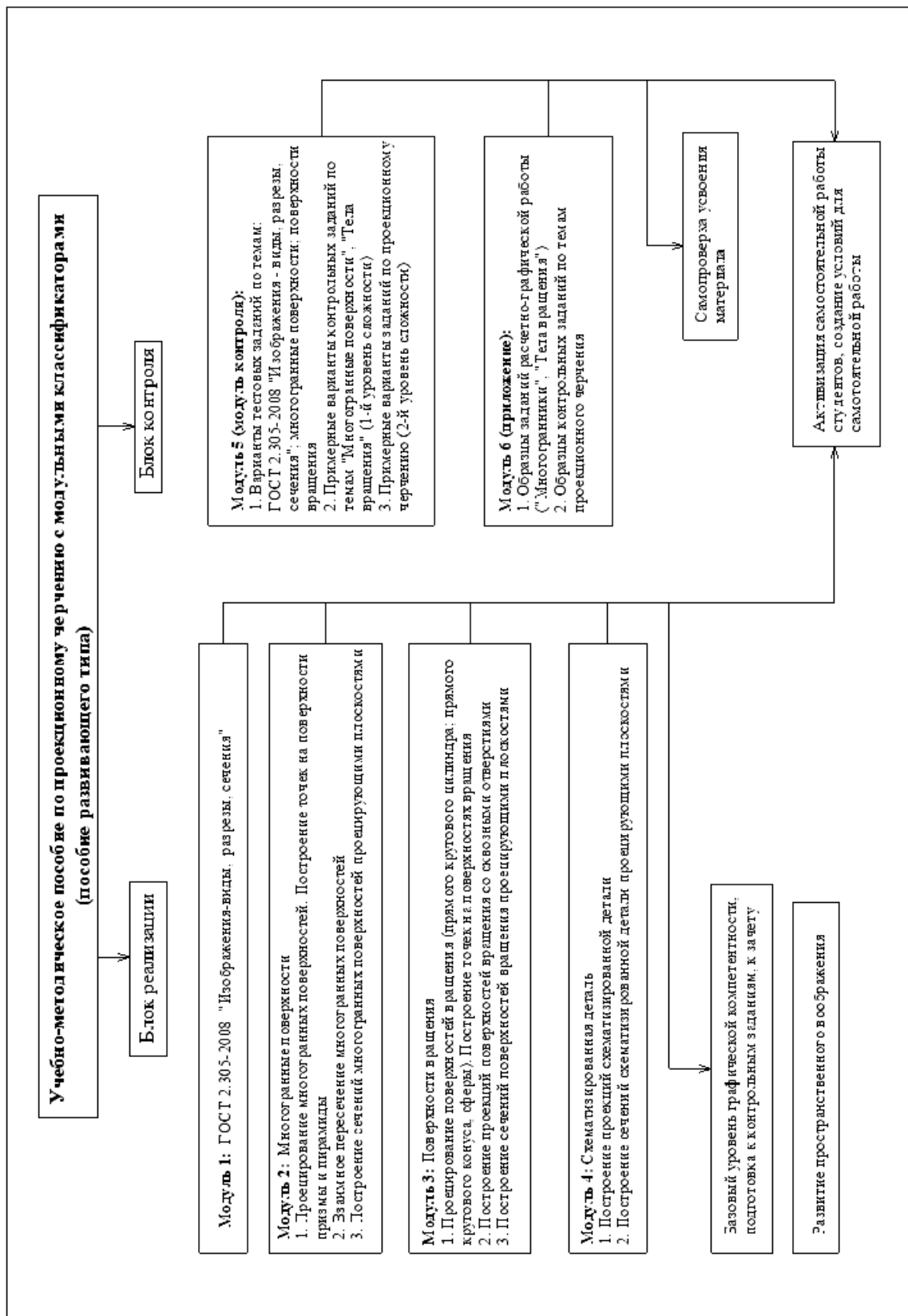


Рис. 2 Структура учебно-методического пособия развивающего типа по проекционному черчению с МКТИ

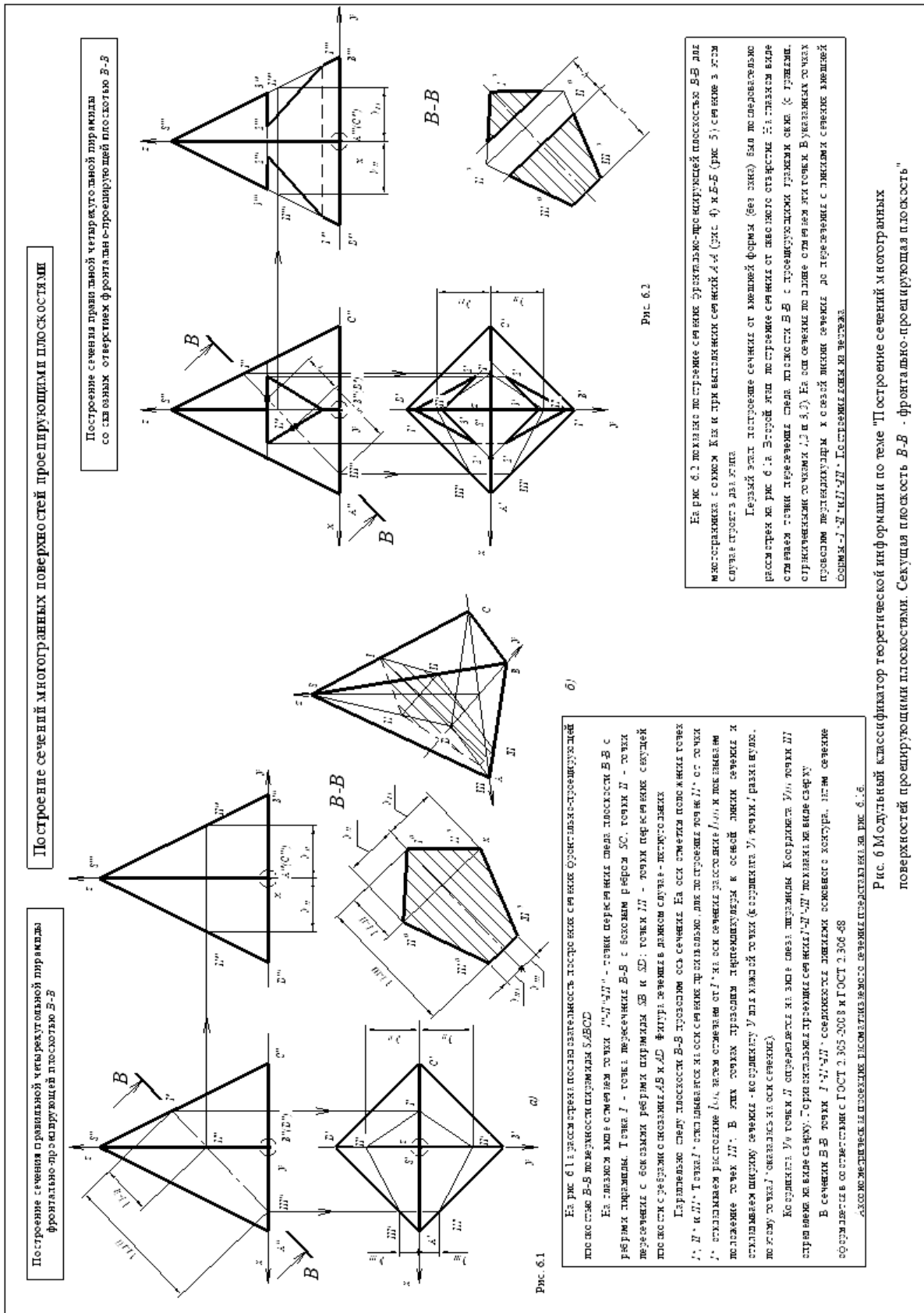


Рис. 3 Пример классификатора теоретической информации «Многогранники. Построение сечений многогранных поверхностей проецирующими плоскостями» (раздел «Проекционное черчение»)

В учебно-методическом пособии блок контроля включает модули 5 и 6, включающие варианты тестовых заданий по рассматриваемым темам, примерные варианты контрольных заданий нескольких уровней сложности, образцы заданий расчетно-графической работы по инженерной графике и образцы контрольных заданий по темам проекционного черчения. Данные модули дают возможность самопроверки усвоения изучаемого материала. Пример классификатора МКТИ «Многогранники. Построение сечений многогранных поверхностей проецирующими плоскостями» приведено на рис. 3.

Необходимо отметить, что использование пособий с МКТИ [2], [4], [6] в учебном процессе приводит к активизации самостоятельной работы студентов, а также созданию условий для данного вида работы.

Модель системы тестового контроля графической подготовки (рис. 1) предполагает проведение контрольного итогового тестирования с целью выявления уровня достигнутых графических компетенций по всем изучаемым разделам инженерной графики.

В таблице 1 представлены данные тестового контроля (по модулям) студентов-первокурсников в 2023 году по начертательной геометрии; в таблице 2 – экспериментальные данные контроля по инженерной графике (машиностроительное черчение), подтверждающие эффективность использования предлагаемой методики обучения.

Таблица 1

**Приращение графических компетенций по начертательной геометрии
(экспериментальные данные 2023 г.)**

Направления	Модуль1, %	Модуль2, %	Модуль3, %	Модуль4, %	Модуль5, %	Модуль6, %	Модуль7, %
22-ЭЭ	78,2	68,7	75,0	92,2	72,2	79,7	81,3
22-ТЭ	88,7	70,5	80,4	87,3	79,4	81,7	79,5
22-ТБ	77,7	63,2	73,7	73,7	74,6	63,2	63,2
22-ВП	80,4	65,4	62,8	68,7	65,5	68,7	64,3
22-КС	77,8	79,5	67,8	69,2	78,0	73,1	78,4
22-ВТ	88,6	67,8	73,5	84,8	67,5	75,4	73,5
22-АП	98,1	88,5	92,3	92,3	71,2	86,6	69,7

Таблица 2

**Приращение графических компетенций по инженерной графике
(экспериментальные данные 2023 г.)**

Направления	Модуль1, %	Модуль2, %	Модуль3, %	Модуль4, %	Модуль5, %	Модуль6, %
22-ЭЭ	81,8	84,9	70,2	79,5	73,7	72,8
22-ТЭ	86,4	82,8	69,1	82,3	80,3	80,3
22-ТБ	84,2	71,5	65,3	76,7	63,4	73,7
22-ВП	89,3	68,2	63,1	79,3	61,9	78,6
22-КС	93,9	69,7	71,6	74,5	69,2	70,5
22-ВТ	84,6	70,2	72,6	95,0	64,0	82,9
22-АП	92,3	76,9	76,9	92,3	77,2	82,1

Сравнение результатов приращения графических компетенций 2024г. для студентов экспериментальных групп (23-КС, 23-ВТ) с результатами контрольной группы (13-ТБ) приведено в таблицах 3 и 4. По графическим дисциплинам приращение компетенций составило до 26%.

Таблица 3

**Модульное тестирование по начертательной геометрии
(итоговые результаты 2024 г.)**

Направления	Модуль1, %	Модуль2, %	Модуль3, %	Модуль4, %	Модуль5, %	Модуль6, %	Модуль7, %
23-ВТ	83,5	68,2	67,1	71,5	88,3	86,7	76,0
23-КС	86,3	76,2	71,4	91,7	77,8	69,1	64,3
13-ТБ	73,3	61,4	59,9	68,0	63,0	61,0	63,0

**Модульное тестирование по инженерной графике
(итоговые результаты 2024г.)**

Направления	Модуль1, %	Модуль2, %	Модуль3, %	Модуль4, %	Модуль5, %	Модуль6, %
23-ВТ	90,5	79,2	67,9	86,2	85,7	88,9
23-КС	91,1	76,2	66,7	82,4	68,3	70,4
13-ТБ	71,5	65,2	62,5	78,6	60,0	66,0

Результаты экспериментальных данных 2023-2024гг. показывают, что предлагаемый проект системы тестового контроля графической подготовки способствует повышению качества подготовки обучающихся и формированию необходимых графических компетенций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рудаченко С.В., Рудаченко Т.В. К вопросу о формировании графических компетенций студентов технических специальностей. УШ Международный Балтийский морской форум. VI Международная научная конференция «Инновации в профессиональном, общем и дополнительном образовании». Том 6. - Калининград: Изд-во БГА РФ, 2020. – 133-138с.

2 Рудаченко С.В., Рудаченко Т.В. Решение задач по начертательной геометрии. Учебно-методическое пособие для практических занятий и самостоятельной работы для студентов 1 курса. - Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. - 100с.

3 Рудаченко С.В., Рудаченко Т.В. Пути повышения качества графической подготовки студентов инженерных специальностей. УП Международный Балтийский морской форум. V Международная научная конференция «Инновации в профессиональном, общем и дополнительном образовании». Том 6. - Калининград: Изд-во БГА РФ, 2019. – 187-192с.

4 Рудаченко С.В., Рудаченко Т.В. Инженерная графика. Проекционное черчение с модульными классификаторами теоретической информации: учебно-методическое пособие. - Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024.- 42с.

5 Григорьевский Л.Б. Разработка тематических классификаторов для повышения качества изучения студентами начертательной геометрии и инженерной графики: дисс... канд. пед. наук: 13.00.02 - Теория и методика обучения и воспитания / БрГУ; Л.Б. Григорьевский.- М., 2005. - 214 с.

6 Рудаченко С.В., Рудаченко Т.В. Инженерная графика. Машиностроительное черчение с модульными классификаторами теоретической информации: Учебно-методическое пособие / Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. - 25 с.

**DESIGNING OF TEST CONTROL SYSTEM IN STUDYING
OF ENGINEER GRAPHIC BY TECHNICAL SPECIALTIES STUDENTS**

¹Rudachenko Svetlana Vladimirovna, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Equipment Engineering

²Rudachenko Tatiana Vladimirovna, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Equipment Engineering

^{1,2}Kaliningrad state technical university,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹svetlana.rudachenko@klgtu.ru

The article is devoted development of test control system in studying of engineer graphic by technical specialties students. The designed by authors system of test control contains: 1) the development of test tasks for all modules of engineer graphic; 2) the choice of optimum plan of inclusion of the system of test control in learning process.

The results of final test control (2023–2024) prove effectiveness of designed system.

НАУЧНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ И КУРСАНТОВ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Семёнова Алевтина Петровна, канд. пед. наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий института цифровых технологий

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: alus_s@mail.ru

Фундаментальная подготовка по дисциплине «Информатика» позволяет привлекать наиболее способных студентов к научным исследованиям с использованием современных информационных технологий. Межвузовская научно-техническая конференция студентов и курсантов «Дни науки» является одним из важнейших мероприятий для подготовки будущих квалифицированных инженеров. Рассмотрен процесс вовлечения студентов первых курсов к фундаментальным научным исследованиям с кратким обзором лучших работ.

Президентом нашей страны В.В. Путиным в одном из обращений к молодежи было сказано о том, что Россия является страной возможностей для молодежи, чтобы реализовать свой потенциал. Молодёжь имеет право по конституции на получение высшего образования и ей гарантирована свобода научного, технического творчества. Огромный стимул идти в науку для молодежи – это постановка и решение амбициозных задач [1]. Примером этого может служить Образовательный центр «Сириус», который создан Образовательным фондом «Талант и успех» и российскими учеными [2].

К 2030 году планируется вхождение России в число топ-10 стран мира по объему научных исследований и разработок. Для этого будут увеличены затраты на исследования и разработки.

Исходя из вышесказанного, в нашем непрерывно развивающемся информационном обществе огромное значение имеет активность студентов в рамках научно-исследовательской работы, что, несомненно, будет способствовать повышению профессионального уровня будущих инженеров. По словам инженера и изобретателя Рудольфа Дизеля, создавшего дизельный мотор, «инженер может все».

Одной из форм развития научно-исследовательской деятельности студентов и курсантов является Межвузовская научно-техническая конференция «Дни науки». Эта конференция проводится ежегодно весной в Калининградском государственном техническом университете. Работа всех секций конференции, круглые столы, дискуссии являются важнейшим компонентом подготовки будущих специалистов – морских инженеров.

В результате работы конференции, начиная с первого курса, выявляются наиболее способные курсанты и студенты, с целью вовлечения их к фундаментальным научным исследованиям, проводимым на различных кафедрах университета в процессе дальнейшего обучения [3].

Такие мероприятия позволяют повышать профессиональный уровень подготовки студентов и курсантов, укреплять творческое сотрудничество между курсантами, студентами и преподавателями. Они способствуют развитию навыков работы с различной литературой, ее подборкой, изучению и использованию последних информационных технологий, умению проводить анализ и обобщение достигнутых результатов, делая на их основе соответствующие выводы и заключения. Помимо этого, исследуемая проблема может быть изложена как письменно, так и в форме публичных выступлений. Все это позволяет способствовать качественному развитию системы непрерывного образования в вузе.

Выступления участников конференции на различных секциях позволяют знакомиться с последними научными достижениями в области науки и техники. Лучшие выступления рекомендуются к научным публикациям в сборниках статей различных журналов, что позволяет курсантам и студентам развивать навыки написания, оформления печатных материалов.

В данной статье сделан краткий обзор студенческих работ по информатике, занявших призовые места. Работы были представлены на секции «Информатика» Межвузовской научно-технической конференции студентов и курсантов «Дни науки» в КГТУ. Самые актуальные работы были опубликованы в материалах конференции. Они имеют практическую значимость и исследования по этим тематикам могут быть и будут продолжены в рамках изучения других дисциплин.

Лучшие научные работы студентов отмечены грамотами и дипломами. Кроме того, активное участие в научной деятельности стимулируется материальной поддержкой студентов и курсантов, например, именными и повышенными стипендиями, разовыми вознаграждениями.

Изучение дисциплины «Информатика» в вузе предполагает предварительное освоение в рамках школьного курса таких дисциплин как математика, английский язык, и, конечно, информатика.

Дисциплина «Информатика» является базовой для изучения последующих учебных курсов, где необходимо использовать современные методы вычислений, анализа ситуаций, прогнозирования и моделирования с применением современных программных средств. Изучение информатики позволяет сформировать современное мировоззрение в информационной сфере, определенный уровень информационной культуры. В результате этого студенты получают знания, умения и владения, позволяющие целенаправленно работать с информацией. Для получения, обработки и передачи информации они уже способны профессионально использовать новейшие компьютерные информационные технологии, выбирая для процессов работы с информацией соответствующие технические и программные средства.

В процессе изучения информатики в соответствии с рабочей программой дисциплины изучаются основные базовые модули (рис.1).

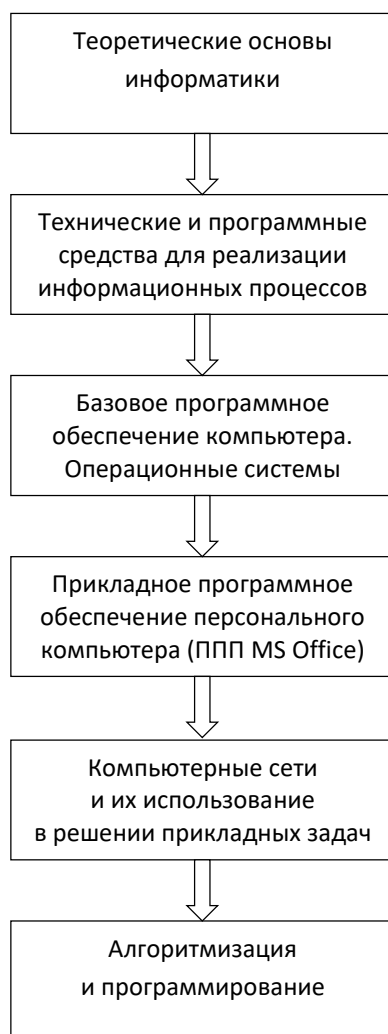


Рис. 1. Базовые модули, изучаемые в процессе обучения информатике

Изучение базовых модулей предполагает создание фундамента, на который затем будут наращиваться прикладные знания и умения. Модульное изучение дисциплин информационного цикла способствует развитию системного мышления у студентов, что необходимо будущему специалисту. Именно в период обучения, которое должно носить междисциплинарный характер, преподавателями, которые используют современные образовательные технологии, формируется будущий специалист – мыслящий и инициативный.

Разработанный нами ранее и постоянно используемый в учебном процессе принцип рефлексивной непрерывности и преемственности отбора содержания дисциплин информационного цикла, позволяет в процессе обучения выявлять наиболее одаренных и мотивированных студентов для привлечения их к научно-исследовательской деятельности. Принцип рефлексивной непрерывности проявляется в темах научных работ курсантов, представляемых на секцию «Информатика». Следует отметить, что желание участвовать в конференциях «Дни науки» постоянно растет. Студенты хотят попробовать свои собственные силы, поработать в коллективе, исследуя ту или иную тему, публично выступить на конференции. Особую активность проявляют курсанты, обучающиеся по специальности 26.05.05 «Судовождение». Кому как не им, будущим капитанам, управляющим командой и судном, несущим ответственность за безопасность и чёткое выполнение поставленных задач, оперативно реагирующим на возникшие в ходе плавания проблемы, необходимы навыки быстрого принятия решений, организаторские способности, умение увлечь и повести за собой.

Курсанты и студенты, которые начинают заниматься научной работой на первом курсе, получив определенные навыки, продолжают работать над различными исследованиями и дальше. Желание заниматься научной работой вызвано сначала познавательной мотивацией, интересом, а по мере обучения уже на старших курсах курсанты мотивированы и профессионально. Все это, несомненно, приносит удовлетворение нам, преподавателям, которые выявили, мотивировали и приобщили курсантов к науке.

Как показывает опыт научной работы с курсантами, наибольший интерес у них вызывает модуль «Прикладное программное обеспечение персонального компьютера», это работы с использованием прикладных программ, входящих в состав Microsoft Office: электронные таблицы MS Excel, система управления базами данных MS Access.

Так, например, исследовательская работа «Решение прикладных задач» предполагает автоматизацию процесса решения задач по физике с обработкой экспериментальных данных в табличном процессоре MS Excel и визуализацию путем построения диаграмм полученных результатов вычислений, проведенных опытов (рис.2).

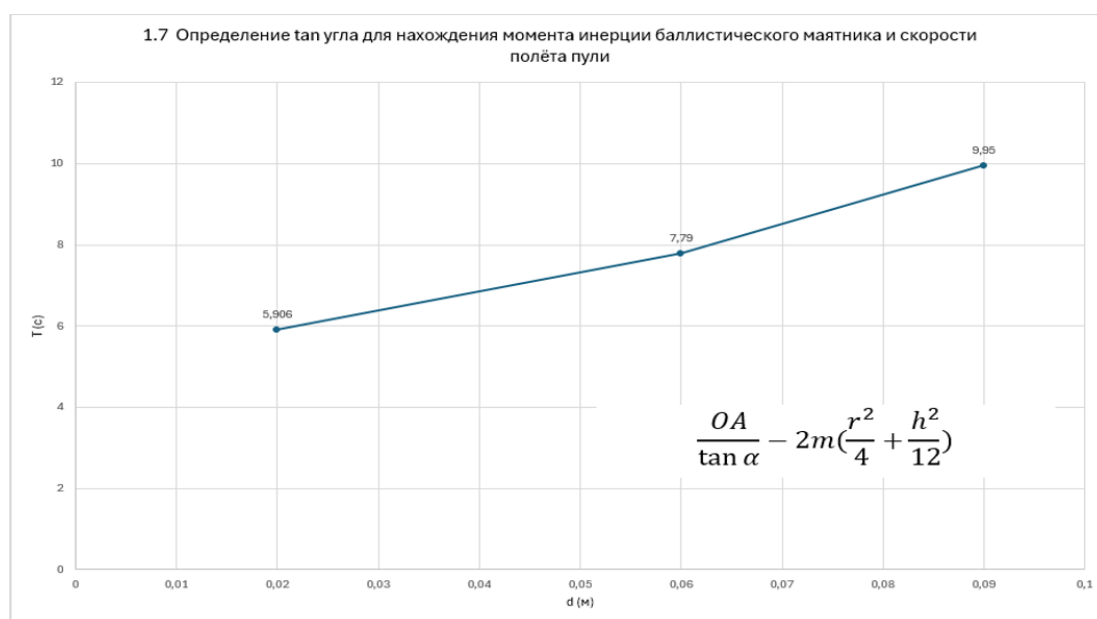


Рис. 2. Определение тангенса угла для нахождения момента инерции

Вторая часть этой работы позволяет хранить структурированные данные по основным изучаемым разделам физики (механика, молекулярная физика, электродинамика, квантовая физика, колебания и волны, оптика), лабораторным работам по этим разделам и результатам защиты лабораторных работ в созданной средствами СУБД MS Access базе данных «Лабораторные работы по физике» и позволяет работать с этими данными. Концептуальная модель базы данных в виде созданных межтабличных связей между моделируемыми объектами и форма как средство ввода и просмотра данных представлены на рис. 3, 4.

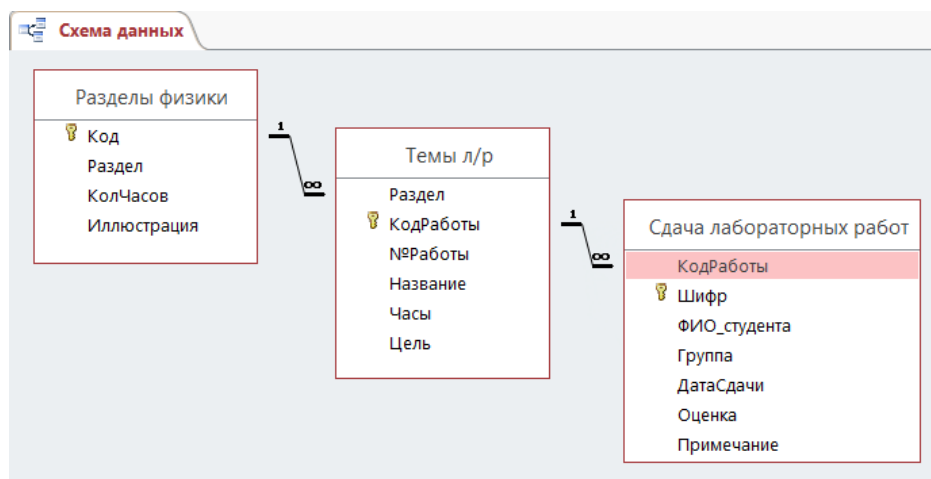


Рис. 3. Структурирование данных. Концептуальная модель базы данных

Код работы	№ работы	Название работы	Количество часов на изучение	Цель работы
МФ1	№1.3	Измерение длины свободного пробега молекул при низких давлениях	3	Нахождение длины свободного пробега молекул воздуха в зависимости от давления
МФ2	№1.5	Измерение молярной теплоемкости воздуха	2	Измерение молярной теплоемкости воздуха при постоянном давлении с помощью проточного калориметра

Рис. 4. Созданная форма для работы с данными

В исследовательской работе, в результате которой была спроектирована база данных, позволяющая хранить и анализировать информацию по аварийным ситуациям на море, сделана попытка систематизировать ряд проблем, важнейшей из которых является проблема обеспечения безопасности судоходства, возникающая в связи неуклонным ростом объёмов перевозимых грузов морским транспортом в процессе роста мировой экономики. В работе исследуется статистика аварий на море в период с 2020 по 2023 годы. Наблюдается снижение числа аварий и для дальнейшего уменьшения подобных ситуаций необходимо тщательным и как можно более эффективным образом собирать, хранить и анализировать информацию. Актуальность этой работы в том, что она может быть и будет продолжена в процессе обучения, в частности в дисциплине «Безопасность мореплавания». В этом исследовании прослеживается профессиональная мотивация курсантов с погружением в реальные аварийные ситуации.

В базе данных хранится информация с основными характеристиками судов (тип судна, тоннаж, водоизмещение, габариты и др.), классификация аварийных случаев (столкновения, посадка на мель, затопление, повреждения, пожары и др.), координаты, где произошла авария, ее причина, последствия и возможность восстановления судна.

В результате проделанной работы создана удобная универсальная база данных для сбора информации по аварийным ситуациям на море с актуальными сведениями о судах, рейсах и грузах. Концептуальная модель базы данных в виде созданных межтабличных связей между моделируемыми объектами и форма для ввода информации представлены на рис. 5, 6.

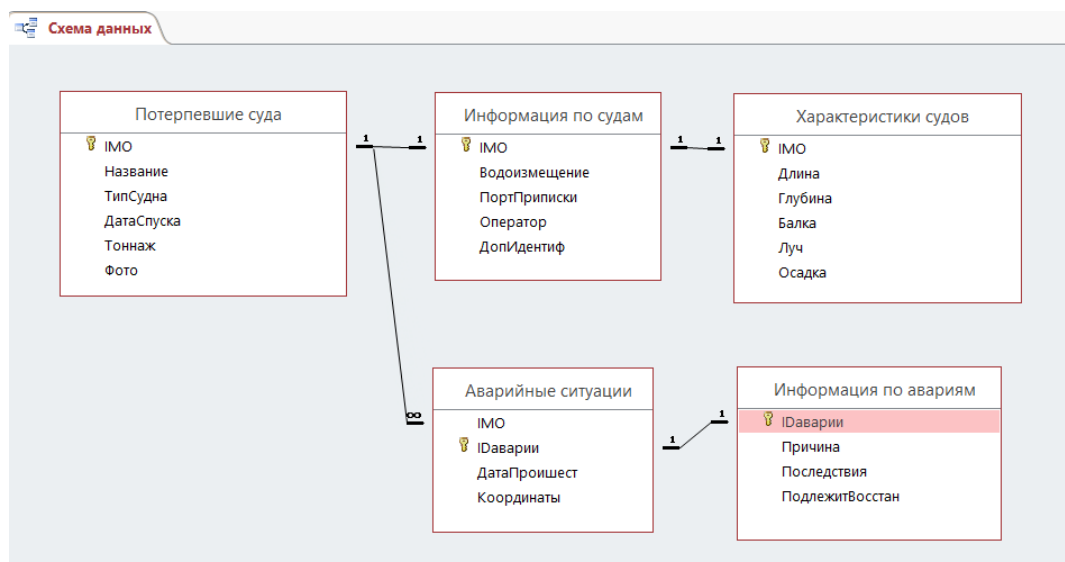


Рис. 5. Концептуальная модель базы данных для хранения и анализа информации по аварийным ситуациям на море

Рис. 6. Форма для ввода и просмотра информации

Работа курсанта морского института «Python, от повседневности к специальности» является дальнейшим развитием изучения модуля «Алгоритмизация и программирование», что позволяет вовлекать студентов и курсантов в творческий процесс написания программных кодов для решения задач с исследовательской направленностью. В этой работе иллюстрируется, что программирование является не только способом, позволяющим работать оборудованию, но и искусством создания компьютерных программ, лежащих в основе программного обеспечения. Создание программы включает в себя разработку алгоритма, сценария, программного кода.

Создается хранилище информации, для того, чтобы делать текстовые записи. Эти записи зашифровываются, а доступ к ним может быть только через особый ключ. Этот ключ формируется при создании. Хранилищем информации может пользоваться любой пользователь, однако получить доступ к зашифрованным записям может получить только тот, кто этот ключ создал. Эта программа по сути дела является технологией шифрования данных и их хранения (принцип блокчейна). Каждая новая запись содержит в себе данные (ключ) к предыдущей записи. Программа (рис. 7) может записывать дату и время создания записи, в таком варианте она выполняет роль бортового журнала члена экипажа, то есть его цифровую версию, что позволит использовать ее в профессиональной деятельности.

```

228 # ADMIN MENU
229 def Admin():
230     reset = "\033[0m"
231     data = db.keys()
232     clear()
233     print(f"{bold}{purple}Admin Menu{reset}")
234     admin = input(
235         f"{bold}[1] - List All Keys\n[2] - Select Data To
Modify\n[3] - Manually Enter Data\n[4] - Delete Data\n[5] - Reset
ALL Data\n[6] - Get REPLIT_DB_URL\n[0] - Exit{reset}\n"
236     )
237     clear()
238     if admin == "1":
239         clear()
240         print(f"{data}\n")
241         reset = input("Press [ENTER] to return to Admin Menu")
242         Admin()
243     elif admin == "2":
244         clear()
245         print(f"Available Data:\n{data}\n")
246         adminKey = input(f"{bold}Enter The Key To Modify: ")
247         if str(adminKey) in data and "_" not in adminKey:
248             clear()
249             Load()
250             editName = db[str(adminKey) + "_Name"]
251             editDesc = db[str(adminKey) + "_Desc"]
252             editInfo = db[str(adminKey) + "_Info"]
253             print(f"{bold}Data Name: {reset}{editName}")

```

Рис. 7. Фрагмент программного кода

Любая из выполненных исследовательских работ начинается с составления плана исследования, далее идет сбор информации по теме, обработка этой информации с использованием современных информационных технологий. Полученные результаты анализируются, тестируются, что делает возможным их применение не только в учебной, но и в будущей профессиональной деятельности морских инженеров.

Качественное оформление материалов при подготовке к размещению их в виде статей в различных журналах и создание презентаций для выступлений к этим материалам невозможно без полученных практических навыков при изучении базового модуля «Прикладное программное обеспечение персонального компьютера (ППП MS Office)». В этом модуле исследуются возможности текстового редактора MS Word для создания комплексных документов, возможности программы MS PowerPoint для подготовки презентаций курсовых, дипломных работ, научных работ.

Таким образом, изучение и развитие основных знаний по предмету, его фундаментальной базы, а также углублённое знание возможностей прикладных программ обеспечивает возможность вхождения в серьезную научную деятельность. Исследовательская работа является одной из форм повышения квалификации будущего специалиста, делает его конкурентноспособным специалистом. Исследовательская работа – это еще и воспитательный процесс, реализуемый в процессе коллективной работы нескольких студентов над одной исследовательской темой, когда происходит их общение и взаимодействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Послание Президента Федеральному Собранию 21 февраля 2023 года. URL: [//www.kremlin.ru/events/president/news/70565](http://www.kremlin.ru/events/president/news/70565)
2. Низова Л. М. Студенческая наука как элемент реализации национального проекта «Наука и университеты» // Alma mater (Вестник высшей школы): научно-теоретический журнал. – 2024. – № 6. – С. 70–73
3. Семенова А.П. Кейсы в исследовательской деятельности курсантов разных форм обучения // Балтийский морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума 4-9 октября 2021 года [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2021», XIX Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Издательство БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – С. 124–130.

SCIENTIFIC WORK OF STUDENTS AND CADETS AS A MEANS IMPROVING THE PROFESSIONAL LEVEL OF TRAINING FUTURE SPECIALISTS

Semyonova Alevtina Petrovna, Ph.D. ped. Sciences, Associate Professor, Department of Applied Mathematics and Information Technology, Institute of Digital Technologies

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: alus_s@mail.ru

Fundamental training in the discipline "Computer Science" allows you to attract the most capable students to scientific research using modern information technologies. The Interuniversity Scientific and Technical Conference of students and cadets "Days of Science" is one of the most important events for the training of future qualified engineers. The article examines the process of involving first-year students in fundamental scientific research with a brief overview of the best works.

IX НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

IX NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION "ADVANCED TECHNOLOGIES, MACHINES AND MECHANISMS IN ENGINEERING"

УДК 664.9.022;62-503.5

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ МАШИНЫ ДЛЯ ПОШТУЧНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РЫБЫ С ВАКУУМНЫМ ЗАХВАТОМ

¹Агеев Олег Вячеславович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры
инжиниринга технологического оборудования

²Самойлова Наталья Владимировна, соискатель кафедры
инжиниринга технологического оборудования

³Егорова Ксения Викторовна, канд. хим. наук, доцент кафедры химии

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹oleg.ageev@klgtu.ru

Рассмотрена методика расчета машины для поштучного разделения рыбы. Цель – вычисление параметров вакуумного захвата, который является перспективным рабочим органом. Проанализированы случаи вертикального и бокового захвата тушки рыбы вакуумной камерой. Получены выражения для нормальной и касательной составляющих вредных внешних сил, стремящихся оторвать груз от захвата. Рассмотрен случай внецентренного захвата рыбы вакуумной камерой, и определено формальное условие, при котором тушка рыбы будет надежно удерживаться рабочим органом.

Введение

В настоящее время на рыбоперерабатывающих производствах надежная работа технологических линий обеспечивается при наличии машин для поштучного разделения рыбного сырья [1]. Несмотря на значительное количество выпускаемых конструкций для выполнения указанной операции, устойчивая загрузка технологического оборудования ориентированными тушками рыбы остается серьезной проблемой. Вследствие сложной веретенообразной формы рыб [2] и их вязкоупругих физико-механических свойств [3] обеспечить надежное поштучное разделение и выдачу сырья зачастую не удается. В отрасли предпринимаются попытки разработать разделители, ориентаторы и загрузчики, которые автоматически обеспечивали бы гарантированную загрузку сырьем рыбоделочных машин. Решение данной задачи существенно осложняется тем обстоятельством, что перед операциями разделения и филетирования рыбы необходимо последовательно выполнять поштучное разделение, ориентирование, выдачу и укладку тушек в лотки рыбоперерабатывающего оборудования.

В отрасли разработана машина для ориентирования и поштучной выдачи рыбы [4], содержащая следующие основные узлы: вибрирующие приемный лоток и лоток для отвода ориентированной рыбы. Указанные лотки связаны диском, который ориентирован горизонтально и установлен

на одном уровне с лотками. Наряду с этим, предложено устройство для ориентирования рыбы головой в одном направлении [5]. Данное устройство включает: бак для рыбы и подающий конвейер, который наклонно ориентирован и погружен нижней частью в бак для рыбы, а также два отводящих конвейера. Указанная машина выполняет операцию разделения рыбы на два потока с противоположной ориентацией голов.

Наряду с этим, спроектирована машина для ориентирования рыбы и поштучного разделения тушек [6]. Машина снабжена накопителем, приводимым во вращение барабаном с цилиндрической поверхностью. Указанный барабан оснащен специальными участками, выполненными с возможностью удержания рыбы в процессе перемещения. Для удаления рыбы с барабана предусмотрен съемник в виде скребка. Кроме того, разработана машина, предназначенная для ориентирования рыбы головой в одну сторону [7]. Данное инновационное устройство использует лазерное и ультразвуковое измерение несимметричной формы рыбы с целью вычисления ее ориентации на ленте конвейера. В работе [8] предложен способ ориентировки рыбного сырья головой в одну сторону, основанный на бесконтактном методе измерения. Отметим, что в работе [8] предложены математические модели для расчета необходимой мощности лазерного излучения при измерении размеров рыбы. В результате опытных изысканий сконструирован экспериментальный оптико-электронный локатор, общие виды которого приводятся в работе [1].

Вышеизложенное показывает, что задача разработки надежного устройства для поштучной выдачи ориентированной рыбы достаточно актуальна для рыбной отрасли. Вместе с тем перечисленные технические решения обладают решающим недостатком, который заключается в пропусках тушек при разделении и ориентировании рыбного сырья. По указанной причине ухудшается надежность работы технологического оборудования и снижается производительность линии. В связи с этим, в отрасли предложено инновационное устройство для загрузки рыбы [9], построенное на основе мехатроники. Достоинствами данного устройства является его высокое быстродействие и надежность разделения рыбы, обусловленные проектированием исполнительской части на базе робота параллельной структуры. На подвижной платформе закреплен рабочий орган, выполненный в виде вакуумного захвата. Вычислительный блок машины с помощью системы технического зрения определяет положение рыбы на конвейере, захватывает тушки вакуумным рабочим органом, ориентирует их и укладывает в лотки конвейера. Заметим, что данный принцип загрузки объектов в лотки технологического оборудования получил широкое распространение в промышленности вследствие его высокой надежности и производительности.

Следует отметить, что в отраслевой научно-технической литературе недостаточное внимание уделено методикам расчета вакуумных хватных приспособлений для перемещения и укладки пищевого сырья, которые представляют собой перспективные рабочие органы машин поштучного разделения. В связи с этим, целью настоящей статьи является совершенствование вычислительной методики для определения значений технологических параметров вакуумного захвата.

Расчет вакуумного захвата машины для поштучного разделения рыбы

В процессе захвата, подъема и перемещения рыбы вакуумным рабочим органом его грузоподъемность не остается постоянной и зависит от соотношения полезных сил захвата P , удерживающих груз, и вредных сил R_0 , стремящихся оторвать груз от вакуумной камеры. На рис. 1 показано взаимодействие сил, действующих при подъеме и перемещении тушки рыбы вакуумным захватом. На рис. 1,а и рис. 1,б изображены два положения захвата с сырьем, наиболее часто встречающиеся в производственных условиях: горизонтальное и вертикальное, соответственно.

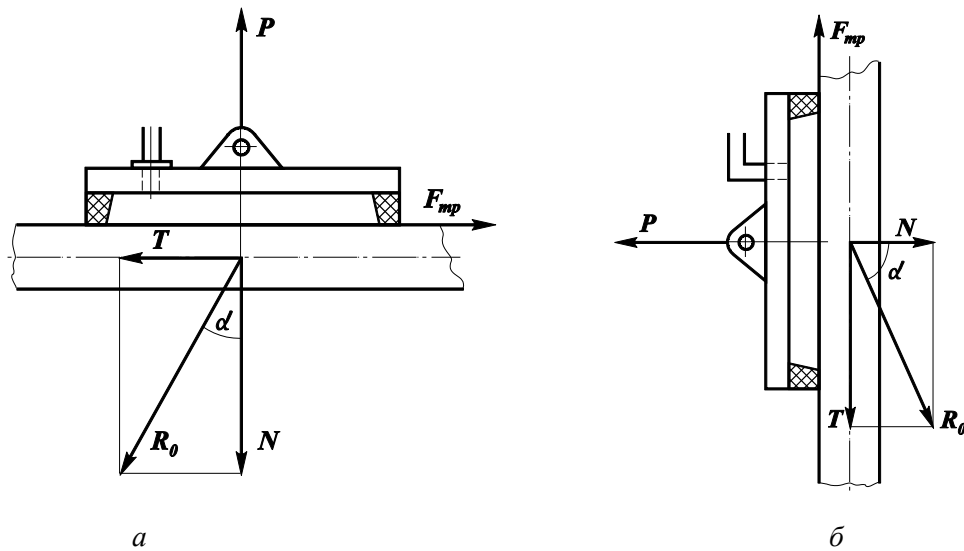


Рис. 1. Расчетные схемы вакуумного захвата машины для разделения рыбы

Равнодействующую R_0 всех вредных внешних сил (статических от веса груза Q , динамических P_∂ , обусловленных инерционными характеристиками груза, и др.) отрыва груза от захвата разложим на нормальную N и касательную T составляющие. Положение равнодействующей R_0 зависит от характера перемещения захвата с рыбой.

Наиболее характерными являются следующие случаи: отрыв тушки рыбы от ленты конвейера, подъем и перемещение груза.

1. Подъем рыбы с конвейера в вертикальном направлении. Сила тяжести тушки Q и сила прижатия груза к захвату P находятся на одной оси:

$$N = Q + P_\partial; T = 0. \quad (1)$$

2. Перемещение поднятой рыбы в горизонтальном направлении. Сила тяжести тушки Q и сила прижатия рыбы к захвату P также находятся на одной оси:

$$N = Q; T = P_\partial = F_{mp}, \quad (2)$$

где F_{mp} - сила трения между тушкой рыбы и полимерным уплотнением вакуумной камерой захвата; $F_{mp} = (P - N) \cdot f$; f - коэффициент трения между поверхностью рыбы и уплотнением вакуумной камеры.

3. Подъем груза в вертикальном направлении при боковом захвате. Сила тяжести рыбы при этом направлена под прямым углом к силе прижатия тушки к захвату:

$$N = 0; T = Q + P_\partial = F_{mp}. \quad (3)$$

4. Перемещение поднятой рыбы в горизонтальном направлении при захвате сбоку. Сила тяжести тушки также направлена под прямым углом к силе прижатия тушки к захвату:

$$N = P_\partial; T = Q = F_{mp}. \quad (4)$$

Следует отметить, что в вышеприведенные формулы (2), (3), (4) входит коэффициент трения f , значение которого определяется экспериментально. Согласно выражению (1) сила трения не возникает при вертикальном подъеме груза в случае захвата сверху. В соответствии с работой [10] коэффициент трения поверхности рыбы по полимерным материалам составляет 0,3 - 0,5. Для перемещения рыбы вакуумным захватом необходимо, чтобы составляющие полезной силы удержания груза были больше соответствующих составляющих вредных сил отрыва груза, т.е. $P \geq N$, $F_{тр} \geq T$. Для надежной работы вакуумного захвата требуется, чтобы разница между силой P притяжения рыбы к вакуумной камере и нормальной силой N отрыва соответствовала определенной величине, создающей достаточное для герметизации удельное давление q_{\min} в контакте уплотнения вакуумной захватной камеры и поверхности тушки:

$$P - N = q_{\min} \cdot S_{упл}, \quad (5)$$

где $S_{упл}$ - контактная площадь уплотнения.

Выражение (5) представляет собой условие надежного перемещения рыбы вакуумным рабочим органом. Заметим, что необходимое удельное давление на герметизирующую полимерную кромку захватной камеры при ее контакте с рыбой зависит как от материала уплотнения (резины или силикона), так и от шероховатости поверхности сырья. При увеличении нормальной отрывающей силы N по отношению к силе P увеличивается натекание воздуха в полость захватной камеры. Из формулы (5) возможно определить предельное значение силы N , при котором сохраняется достаточное для герметизации удельное давление q_{\min} в контакте уплотнения вакуумной камеры и поверхности рыбы при известной силе P вакуумного притяжения:

$$N = P - q_{\min} \cdot S_{упл}. \quad (6)$$

Таким образом, выражение (6) позволяет рассчитать предельное значение силы N . Для получения надежной герметизации поверхности рыбы по плоскости уплотнения последнее должно подвергаться сжатию. Величина деформации зависит в основном от материала уплотнения и шероховатости рыбного сырья.

Поскольку рыба имеет несимметричную форму, зачастую при подъеме такого груза центр действия вакуумного захвата может быть смещен относительно центра тяжести тушки. Для выяснения работоспособности рабочего органа в этом случае необходимо провести расчет, определяющий уравновешивающие моменты, действующие силы и силы захвата. Для анализа поведения захвата при таком случае нагружения представим, что общий вакуум в камере складывается из трех парциальных вакуумов:

$$p = \frac{N}{S} + \frac{T}{S \cdot f} + \frac{2 \cdot M_{R_0}}{S \cdot d}, \quad (7)$$

где $S = \pi \cdot d^2 / 4$ - площадь вакуумного захвата; d - диаметр круглой вакуумной камеры; M_{R_0} - момент равнодействующей илы R_0 ; $M_{R_0} = N \cdot a + T \cdot b$; a - расстояние между центром тяжести рыбы и центром действия вакуумного захвата; b - толщина рыбы.

Перепишем выражение (7) в следующем виде:

$$p = \frac{N}{S} + \frac{T}{S \cdot f} + \frac{2 \cdot (N \cdot a + T \cdot b)}{S \cdot d}. \quad (8)$$

С учетом $P \cdot S = P$ из формулы (8) получим:

$$P \geq N + \frac{T}{f} + \frac{2 \cdot (N \cdot a + T \cdot b)}{d} \quad (9)$$

С использованием выражения (9) возможно вычислить необходимую площадь круглого вакуумного захвата, при которой с заданным максимальным вакуумом P_{\max} тушка рыбы будет удерживаться рабочим органом:

$$S = \frac{N + \frac{T}{f} + \frac{2 \cdot (N \cdot a + T \cdot b)}{d}}{P_{\max}} \quad (10)$$

Формула (10) позволяет рассчитать коэффициент необходимого увеличения площади захвата в случае внецентренного нагружения рабочего органа по сравнению с центральным захватом:

$k = 1 + \frac{2}{d} \cdot \left(\frac{N \cdot a + T \cdot b}{N + T/f} \right)$. По значению указанного параметра возможно определить, следует ли в данном случае использовать два круглых вакуумных захвата или захват овальной формы для надежного перемещения рыбы при ее поштучном разделении, поскольку при больших значениях k нецелесообразно увеличивать диаметр одного круглого захвата. Для поворота овального вакуумного захвата в соответствии с ориентацией рыбы на конвейере должна применяться видеокомпьютерная система технического зрения (см. работу [12] и библиографию в ней).

Промышленные исследования показывают, что при поштучном разделении рыбного сырья мелкой и средней фракции надежно работают серийные вакуумные захваты с силиконовой уплотнительной камерой овальной формы (рис. 2). Такие плоские овальные вакуумные захваты с жестким и износостойким исполнением состоят из ниппеля и полимерной части [11].

Следует отметить, что вакуумные уплотнения из нитрил-бутадиеновой резины обладают лучшей износостойкостью и прочностью на разрыв - по сравнению с силиконовой вакуумной камерой. Ниппель жестко соединен с силиконовой частью и непосредственно воспринимает нагрузку от веса рыбы. Захваты с размерами свыше 30 x 10 мм снабжены специальным креплением для предотвращения поворота в процессе перемещения груза. Для вакуумных захватов диаметром 20; 40; 60; 90 мм необходимо использовать вакуумный насос производительностью 0,17; 0,35; 0,50; 0,75 м³/час, соответственно.

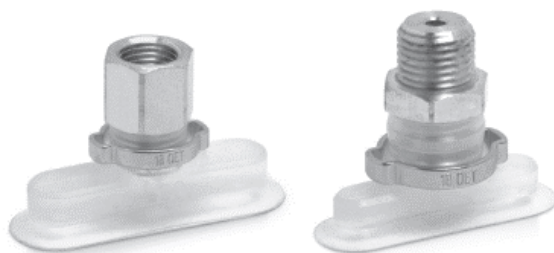


Рис. 2. Вакуумные захваты с плоскими овальными вакуумными камерами и несущими ниппелями [11]

Заключение

Полученные результаты могут использоваться при определении размеров вакуумных камер захватов, параметров их уплотнения, если известно количество рабочих органов. Кроме того, по рассчитанным размерам вакуумных камер представляется возможным вычислить их необходимое количество. Вакуум в захватной камере машины для поштучного разделения рыбы для нормальной работы должен удерживаться на определенном уровне в зависимости от типа уплотнения, его раз-

меров и характеристик перемещаемой рыбы. При известных нагрузках на вакуумный захват целесообразно определять необходимую площадь вакуумной камеры из расчета минимального предельного давления в них. При проектировании машин для поштучного разделения рыбы могут применяться доступные серийные вакуумные захваты с силиконовой уплотнительной камерой овальной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, О.В. Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий первичной обработки рыбы: специальность 05.18.12 "Процессы и аппараты пищевых производств": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Агеев Олег Вячеславович, 2021. – 862 с.

2. Самойлова, Н.В. Математическое моделирование контуров тела промысловых рыб при лазерном измерении морфометрических параметров сырья / Н.В. Самойлова, О.В. Агеев // Известия КГТУ. – 2019. – № 52. – С. 87-108.

3. Агеев, О.В. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, Н.В. Самойлова // Известия КГТУ. – 2018. – № 49. – С. 75-91.

4. Разработка устройства для ориентирования и поштучной выдачи рыбы с использованием вибрирующих лотков / А. Е. Ерыванов, Н. В. Самойлова, О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Вестник молодежной науки. – 2017. – № 1(8). – С. 8.

5. Патент № 2363162 С1 Российская Федерация, МПК А22С 25/12. Устройство для ориентирования рыбы головой в одном направлении: № 2008115048/13: заявл. 16.04.2008: опубл. 10.08.2009 / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Калининградский государственный технический университет".

6. Патент № 2645974 С2 Российская Федерация, МПК А22С 25/08. Устройство для ориентирования рыбы головой в одну сторону : № 2016117677: заявл. 04.05.2016 : опубл. 28.02.2018 / О. В. Агеев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Калининградский государственный технический университет".

7. Патент № 2645977 С2 Российская Федерация, МПК А22С 25/08. Устройство для поштучного разделения и ориентирования рыбы: № 2016114628: заявл. 14.04.2016: опубл. 28.02.2018 / О.В. Агеев, А.Е. Ерыванов, Ю.А. Фатыхов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Калининградский государственный технический университет".

8. Способ и алгоритм ориентирования рыбы на основе мехатроники / О.В. Агеев, А.Е. Ерыванов, И.А. Медянский, Н.В. Самойлова // Известия КГТУ. – 2016. – № 42. – С. 89-103.

9. Патент № 2645979 С2 Российская Федерация, МПК А22С 25/08. Устройство для загрузки рыбы в рыбообрабатывающие машины: № 2016114629: заявл. 14.04.2016: опубл. 28.02.2018 / О.В. Агеев, К.В. Бабарыкин, Ю.А. Фатыхов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Калининградский государственный технический университет".

10. Косой, В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. – 648 с.

11. Камоцци Пневматика. Захваты вакуумные // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://www.camozzi.ru> (дата обращения 25.07.2024).

12. Агеев, О.В. Разработка видеокomпьютерного модуля для мехатронного комплекса первичной обработки рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – № 34. – С. 113-126.

RESEARCH AND CALCULATION OF FISH SINGULATION MACHINE WITH VACUUM GRIP

¹Ageev Oleg Viatcheslavovich, Dr. Sci. (Engin.), Professor of the Department of processing equipment engineering

²Samojlova Natalia Vladimirovna, degree applicant of the Department of processing equipment engineering

³Egorova Ksenya Victorovna, Ph.D. (Chem.), Associate professor of the Department of chemistry

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹oleg.ageev@klgtu.ru

The methodology for calculating of fish singulation machine are considered. The purpose of the paper is to calculate the parameters of a vacuum gripper, which is a promising working tool. Cases of vertical and side capture of a fish body by a vacuum chamber are analyzed. Expressions for the normal and tangential components of harmful external forces tending to tear the load away from its grip are obtained. The case of eccentric capture of fish by a vacuum chamber are considered, and a formal condition under which the fish body will be reliably held by the working tool are determined.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ – АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ Н-ОКТАДЕКАНА

¹Герасимов Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, профессор

²Александров Игорь Станиславович, д-р техн. наук, доцент

³Крейза Юлия Александровна, аспирант

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹igor.aleksandrov@klgtu.ru

Предлагается корреляционное уравнение для расчета коэффициента теплопроводности н-октадекана. Уравнение разработано на основе массива надежных широкодиапазонных экспериментальных данных и реализует расширенный принцип соответственных состояний для свойств переноса. Предлагаемое уравнение позволяет в широком диапазоне параметров состояния (в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 50 МПа) рассчитывать коэффициент теплопроводности нормального октадекана с высокой точностью.

Введение

Обеспечение энергетики надежными данными о теплофизических свойствах рабочих веществ и энергоносителей является весьма актуальной и непростой задачей. Номенклатура применяемых веществ очень широкая и восполнение информационного вакуума о справочных данных используемых веществ посредством только эксперимента задача трудно выполнимая. Поэтому перед разработчиками расчетно-теоретических моделей стоит задача создания надежных прогнозным методов расчета теплофизических свойств, требующих минимума исходной информации.

В данной работе в рамках широко известного принципа соответственных состояний разработана экспериментально обоснованная корреляция для коэффициента теплопроводности технически важного вещества – нормального октадекана ($C_{18}H_{38}$). Данный представитель гомологического ряда нормальных алканов является компонентом суррогатных топлив, входит в состав многих пластовых флюидов, а также является рабочим веществом в аккумуляторах теплоты с фазовым переходом в системах теплоснабжения. Точные данные о коэффициентах переноса данного вещества необходимы при расчете процессов, протекающих в теплоэнергетическом оборудовании, а также при расчете технологических процессов, где данное вещество является реагентом, рабочим веществом, растворителем и т.д.

Теплопроводность

Получить соотношения, позволяющие производить расчеты теплопроводности в широком диапазоне параметров с высокой для практического применения точностью, только на основе уравнений статистической механики не представляется возможным. Перспективным, по мнению авторов доклада, является расширенный принцип соответственных состояний. Однако при его применении вводятся ряд допущений. Межмолекулярное взаимодействие происходит посредством парного аддитивного потенциала. Поступательное движение молекул описывается методами молекулярной динамики, в основу которых положена классическая механика. Учет внутренних степеней свободы молекул отсутствует. В принцип соответственных состояний заложен постулат об универсальной зависимости безразмерных свойств от приведенных переменных (параметров состояния). Однако надежные расчеты можно провести только для термодинамически подобных веществ. Расширение диапазона применимости указанного принципа возможно введением дополнительных критериев подобия. С учетом этих критериев появляется возможность описывать коэффициенты переноса широкого класса веществ, используя свойства хорошо изученного эталонного вещества. Однако необходимо иметь в виду, что вклад в теплопроводность от внутренних степеней свободы молекул, не учтенных в потенциале взаимодействия, не позволяет эффективно использовать принцип

соответственных состояний. Тем не менее, данный метод из-за своих прогнозных возможностей можно применять для относительно широкого круга веществ. При наличии надежных экспериментальных данных более оправданным является разработка интерполяционных уравнений, которые значительно точнее описывают коэффициент теплопроводности. Такое уравнение предлагается в данной работе для нормального октадекана.

Интерполяционное уравнение теплопроводности разработано на основе отобранных, наиболее надежных экспериментальных данных, опубликованных в литературе. Для описания теплопроводности использовалось уравнение в форме:

$$\lambda(\rho, T) = \lambda^0(T) + \Delta\lambda(\delta, \tau) + \Delta\lambda^c(\delta, \tau) \quad (1)$$

где $\lambda^0(T)$ – теплопроводность разреженного газа при нулевой плотности; $\Delta\lambda(\delta, \tau)$ – избыточная теплопроводность; $\delta = \rho/\rho_c$; $\tau = T/T_c$; ρ_c , T_c – значения критической плотности и температуры н-октадекана; $\Delta\lambda^c(\delta, \tau)$ – флуктуационная добавка.

На первом этапе необходимо получить соотношение для теплоёмкости разреженного газа. Теория теплоёмкости многоатомных газов развита достаточно хорошо. При наличии необходимых вычислительных мощностей (суперкомпьютеров) или надежных экспериментальных данных возможно достаточно точно рассчитать теплоёмкость разреженного газа.

Теплопроводность разреженного газа λ_0 , в данной работе, определяется по соотношению

$$\lambda^0(T) = \sum_{i=0}^2 a_i \left(\frac{T}{100}\right)^i \quad (2)$$

где λ_0 , мВт/(м·К); T, К.

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения (2)

a_0	a_1	a_2
-0,363738	0,05907258	0,7895843

Избыточная теплопроводность представляется в виде ряда по степеням температуры и плотности

$$\Delta\lambda(\delta, \tau) = \sum_{i=1}^3 [B_{1,i} + B_{2,i} \cdot \tau] \delta^i.$$

где $\Delta\lambda(\delta, \tau)$, мВт/(м·К).

Метод избыточной теплопроводности является распространенным подходом. В основе этого метода лежит предположение о том, что при заданной температуре разность между свойством плотного флюида и свойством в состоянии разреженного газа не зависит от температуры и является функцией плотности.

Определение коэффициентов уравнения (3) производилось методом наименьших квадратов на отобранном массиве экспериментальных данных. При этом варьировалось верхнее значение показателя степени при δ . Полученные значения коэффициентов уравнения (3) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнения (3) для н-октадекана

i	B1,i	B2,i
1	0,11973232·10+2	-0,15642150·10+2
2	-0,37786517·10+1	0,18378703·10+2
3	0,38350891·10+1	-0,39601886·10+1

Среднее относительное отклонение экспериментальных данных, включенных в обработку, от рассчитанных по уравнениям (1) – (3) значений составляет 1,24 %.

Результаты описания экспериментальных данных уравнениями (1) – (3) представлены в таблице 4 и на рисунке 1. На рисунке 2 представлена диаграмма “теплопроводность – температура” для н-октадекана, рассчитанная по уравнениям (1) – (3).

Широкодиапазонные измерения коэффициента теплопроводности н-октадекана выполнены в работах Назиева Алиева [3] и Мустафаева [5]. В обоих случаях использовался метод монотонного разогрева. Вероятная неопределенность отдельного измерения коэффициента теплопроводности по оценкам авторов, в работе [3] составляла $\pm 2,5\%$, а в работе [5] - $\pm 2,0\%$. Богатовым [6] выполнены измерения в жидкой фазе при температурах до 460 К и давлениях до 49,0 МПа. Измерения проводились на установке, реализующей стационарный метод нагретой проволоки. Вероятная неопределенность отдельного измерения теплопроводности, по оценке автора [6] не превышает $\pm 1,5\%$. В обработку включались также справочные данные [4], полученные в широком диапазоне параметров состояния.

Для теоретически обоснованного определения теплопроводности разреженного газа необходим эффективный интеграл столкновений. Этот интеграл для простых модельных потенциалов («твердых сфер», «трехпараметрический потенциал Кихары» и т.д.) может быть рассчитан аналитически достаточно просто. Однако отклонение потенциала от модельного приводит к отклонению температурной зависимости теплопроводности, и в практических расчётах пользуются приведенным интегралом столкновений. Естественно, что точных практических результатов получить сложно, используя соотношения для модельных потенциалов межмолекулярного взаимодействия. Поэтому для повышения точности теоретических расчетов необходимо учитывать внутренние степени свободы молекул многоатомных газов и использовать реальные потенциалы взаимодействия, параметры которых часто оптимизируются на основе термодинамических данных на линии насыщения. При этом следует учитывать ряд эффектов, связанных с ориентацией молекул, а также с обменом энергией между колебательными, вращательными и поступательными степенями свободы. Расчеты из первых принципов «ab initio» требуют высоких вычислительных мощностей и суперкомпьютеров. Поэтому для приближения точности расчётов к экспериментальным данным вводится эмпирическая составляющая. Что сделано и в данной работе, где предлагается эмпирическая формула, где теплопроводность в состоянии разреженного газа является функцией приведенной температуры.

Определение теплопроводности разреженного газа производилось с использованием экспериментальных данных Тарзиманова [1, 2], полученных в диапазоне температур 607 – 667 К и для расширения температурного диапазона, особенно в область температур, ниже 600 К, использовались расчетные значения $\lambda^0(T)$, полученные по формуле (4), предложенной Мустафаевым [5], а также значения, полученные по формуле из работы [5], которая была преобразована к безразмерному виду (5)

$$\lambda^0(T) = T^{3/2} \frac{(44,85 + 0,018M)(10,77 + 0,11T)}{(T + 34 + 5,18M) \cdot 10^6} \quad (4)$$

$$\frac{\lambda^0(T)}{\lambda_{\tau=0,8}^0} = \sum_{i=0}^3 A_i \tau^i \quad (5)$$

Где значения коэффициентов A_i представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения (5)

i	A_i
0	0,1596313
1	-0,9660128
2	3,374478
3	-1,067358

Значение $\lambda_{\tau=0,8}^0$ для н-октадекана, определенное по экспериментальным данным, составило 28,43 мВт/(м·К). В обрабатываемый массив были включены значения λ^0 , рассчитанные по формулам (4) и (5), а также экспериментальные данные Тарзиманова [1, 2]. Указанные данные были аппроксимированы в диапазоне температур 300 – 700 К полиномом второй степени (2) со среднеквадратической неопределенностью 1,36%.

Среднее относительное отклонение данных, включенных в обработку и представленных в табл. 4 составило 1,24%, среднее квадратичное – 1,80% и среднее систематическое -0,055%.

Таблица 4

Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности н-октадекана с рассчитанными по уравнениям (1) – (3) значениями

Год	Первый автор, Источник	Число Точек	Диапазон параметров		Отклонения, % СОО
			Т, К	Р, МПа	
1957	Сакиадис [53]	7	316 – 348	0,1	1,33
1967	Тарзиманов [1]	8	607 - 667	0,1	1,71
1970	Тарзиманов [2]	8	607 – 667	0,1	1,75
1973	Назиев [3]	78	313 – 613	0,1 – 49,0	2,38
1978	Варгафтик [4]	171	320 – 690	0,1 -50	0,60
1980	Мустафаев [5]	201	321 – 678	0,1 – 49,0	0,69
1992	Богатов [6]	60	326 – 460	0,1 – 49,0	3,35
1995	Сафаров [7]	7	313 – 433	0,1	1,67

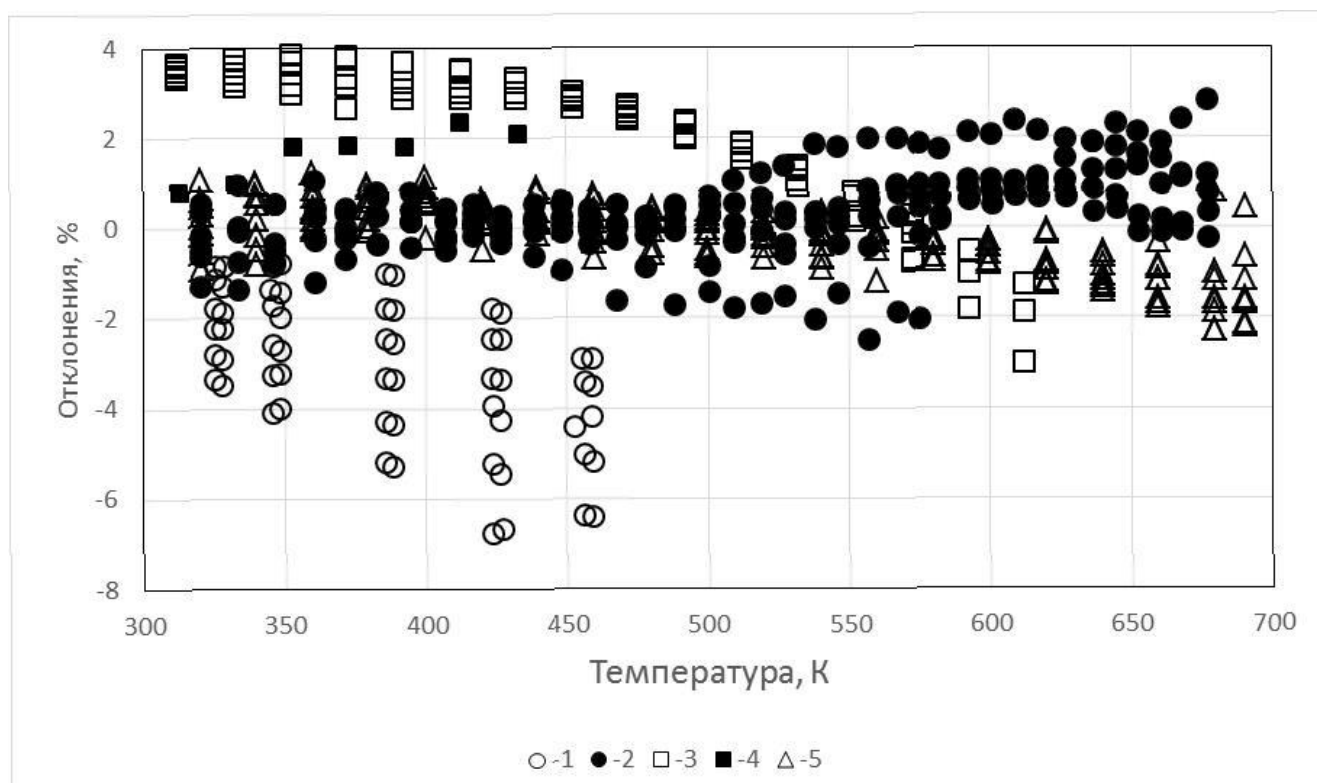


Рис. 1. Отклонения экспериментальных данных о теплопроводности н-октадекана от рассчитанных по уравнениям (1) – (3). 1 – Богатов [6]; 2 – Мустафаев [5]; 3 – Назиев, Алиев [3]; 4 – Сафаров, Маджидов [7]; 5 – Варгафтик [4].

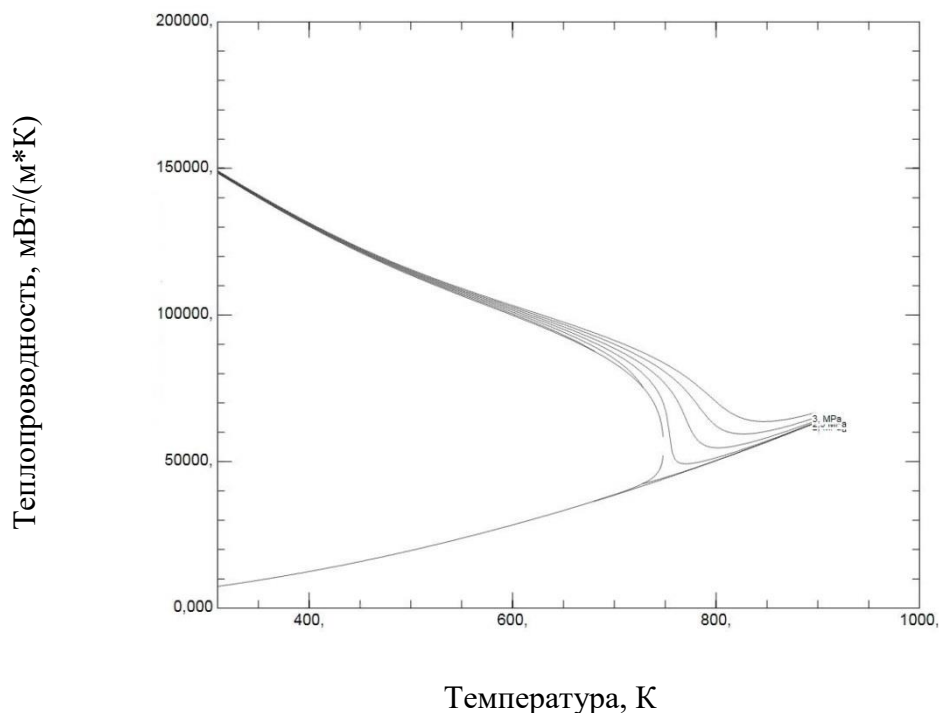


Рис. 2. Диаграмма состояния “теплопроводность - температура” для *n*-октадекана.

Анализ данных, представленных в табл. 4 и на рис. 1 позволяет заключить, что разработанное здесь уравнение (уравнения (1)-(3)) описывает коэффициент теплопроводности *n*-октадекана с вероятной неопределенностью $\pm 3,0\%$. На рис. 2 показана поверхность состояния λ - p - T , рассчитанная по разработанным уравнениям. Видно, что уравнение обладает хорошими экстраполяционными возможностями.

Заключение

На основе надежных и обобщенных авторами экспериментальных данных разработано новое корреляционное уравнение теплопроводности нормального октадекана. Уравнение разработано на основе расширенного принципа соответственных состояний в применении к свойствам переноса. Дополнительно рассматривался хорошо известный подход, реализующий понятие об избыточном свойстве, когда теплофизическое свойство представляется в виде суммы идеально-газовой составляющей и вклада, описывающего свойство реального плотного флюида. Широкодиапазонные экспериментальные исследования теплопроводности *n*-октадекана, выполненные в советские годы, позволили разработать надежную и экспериментально обоснованную корреляцию. Предлагаемое уравнение позволяет в широком диапазоне параметров состояния (в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 50 МПа) рассчитывать коэффициент теплопроводности нормального октадекана с высокой точностью. При этом, анализ диаграмм состояния позволяет сделать вывод о том, что уравнение надежно экстраполируется до высоких давлений до 100 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарзиманов, А.А. Экспериментальное исследование теплопроводности паров нормальных предельных углеводородов при температурах до 450 оС / А.А. Тарзиманов, В.Б. Маширов // Теплоэнергетика, 1967. - №2. - С.67-70.
2. Tarzimanov, A.A., Mashirov, V.E. Experimental determination of the coefficient of thermal conductivity of vapors of *n*-alkanes, spirits and acids / A.A. Tarzimanov, V.E. Mashirov // Thermophys. Prop. Matter Subst. - 1974. V. 2. - P. 240-253 // transl. of Teplofiz. Svoistva Veshchestv Mater. - 1970. - V. 2. - P. 183-193.
3. Назиев, Я.М. Исследование теплофизических свойств *n*-ундекана, *n*-гептадекана, *n*-октадекана при различных температурах и давлениях / Я. М. Назиев, М.А. Алиев // Известия вузов. Нефть и газ. - 1973. - №7. - С. 73-76.

4. Варгафтик, Н.Б. Теплопроводность жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий.- М.: Изд-во стандартов, 1978. – 472 с.
5. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния / Р.А. Мустафаев. – М.: Изд-во Энергия, 1980. – 296 с.
6. Богатов Г.Ф. Теплопроводность индивидуальных углеводородов и нефтепродуктов в жидком состоянии: дис. ... докт. техн. наук: 01.04.14 – Теплофизика и молекулярная физика / ГНИ: Г.Ф. Богатов.– Грозный, 1992.– 424 с.
7. Сафаров, М.М., Маджидов, К // Инженерно-физический журнал. – 1995. – Т.68. – С. 451-455.

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF PROMISING HEAT ACCUMULATORS. THERMAL CONDUCTIVITY OF N-OCTADECANE

¹Gerasimov Anantoly Alexeevich, D.Sc., professor

²Alexandrov Igor Stanislavovich, D.Sc., associate professor

³Kreiza Iuliia Alexandrovna, PhD student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹igor.aleksandrov@klgtu.ru

A correlation equation is proposed for calculating the thermal conductivity coefficient of n-octadecane. The equation is developed based on an array of reliable wide-range experimental data and implements an extended principle of corresponding states for transport properties. The proposed equation allows one to calculate the thermal conductivity coefficient of normal octadecane with high accuracy in a wide range of state parameters (in the temperature range from the triple point to 700 K at pressures up to 50 MPa).

МАКЕТ УСТРОЙСТВА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

¹Лещинский Марк Борисович, канд. техн. наук, доцент

²Лещинская Галина Иосифовна, канд. техн. наук, доцент

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹mark.leschinsky@klgtu.ru

Сварочные осцилляторы находят широкое применение в разнообразных сферах промышленности, включая автомобильный, авиационный, нефтегазовый, судостроительный и энергетический сектора. Эти устройства играют ключевую роль в выполнении сложных сварочных операций, которые требуют высокой степени точности, эффективности и качества соединений. Разработано новое схемное решение и макет конструкции внешнего осциллятора, пригодного для множества различных задач.

Сварочный осциллятор – это устройство, генерирующее ток с частотой от 100 до 500 кГц и напряжением 3000-5000 В. Этот ток накладывается на основной сварочный, облегчая процесс зажигания электрической дуги. При активации осциллятора образуется импульс, который пробивает газовый промежуток между электродом и обрабатываемой деталью на расстоянии 10-13 мм, вызывая электрическую дугу без прямого контакта.

Преимущества аппаратов с осциллятором очевидны: при обычной сварке сварщик должен касаться детали электродом для начала дуги, что может занять время и потребовать дополнительных усилий. При этом могут возникнуть проблемы, такие как прилипание электрода. Если же используется осциллятор, процесс зажигания дуги существенно упрощается и автоматизируется, что позволяет избежать лишних движений и ускорить работы по выполнению швов.

Кроме того, использование осциллятора ведет к меньшему износу неплавящегося вольфрамового электрода, так как он не подвергается касанию с поверхностью заготовки, что способствует более стабильной работе и качеству сварки.

Применение осциллятора лучше сохраняет чистоту поверхности при сварке. При соприкосновении электрода с материалом остаются следы от электрической дуги. Если это касается лицевой стороны изделия, потребуется шлифовка для удаления черных точек. Высоковольтный разряд осциллятора не оставляет следов, что значительно уменьшает время на последующую обработку детали.

Сварочное оборудование с осциллятором будет полезно для работы с легированными сталями и цветными металлами, такими как алюминий и медь. Он также облегчает сварку тонких листов (0,6-0,8 мм), так как минимальная сила тока и малый воздушный зазор могут погасить дугу. Осциллятор упрощает процесс поджига. При миниатюрной сварке, например, капсул или трубок, высокочастотный поджиг позволяет избежать смещений изделия. Если нержавеющей изделие планируется полировать, использование осциллятора оставит меньше следов и сократит время обработки.

Сварочные осцилляторы могут функционировать как с постоянным, так и с переменным током, но технологии разные. При постоянном токе высокочастотный импульс накладывается на сварочный ток в момент поджига, а затем отключается. При переменном токе осциллятор регулярно посылает импульсы для поддержания дуги. Это особенно важно при работе с применением сварочных трансформаторов.

Хотя сварка инверторами с осциллятором могла бы быть удобной, такие модели обычно не оборудованы высокочастотным поджигом и предназначены для менее ответственных работ.

Существует два подхода к оснащению сварочного оборудования осцилляторами, то есть они могут быть внутренними и внешними. Рассмотрим их особенности, чтобы выяснить, какой вариант предпочтительнее.

Внешний осциллятор – это самостоятельный блок (Рис.1), присоединяемый между источником тока и горелкой или плазмотроном. Он совместим с любой моделью, даже если изначально в

ней не предусматривался высокочастотный поджиг. По качеству работы внешний осциллятор не уступает встроенным аналогам, однако его наличие усложняет транспортировку оборудования. При частых перемещениях дополнительное устройство может стать неудобством. Подключение внешнего осциллятора требует знаний в области электрооборудования, так как неправильная схема может привести к сбоям в работе или, например прекращению подачи защитного газа.

При выборе внешнего осциллятора важно учитывать максимальный сварочный ток и соответствие характеристик трансформатора. Размеры и вес устройства могут варьироваться, например, модель ОССД-300 имеет габариты 260x240x130 мм и вес 4,5 кг.



Рис.1. Внешний осциллятор для сварки

Внутренний осциллятор устанавливается производителями в сварочные аппараты, обеспечивая удобство и надежность. Все компоненты помещены в один корпус с оборудованием, что облегчает транспортировку и устраняет необходимость в дополнительном оснащении.

Большинство выпускаемых осцилляторов имеют аналогичные конструкции, отличающиеся схемными решениями (Рис.2).

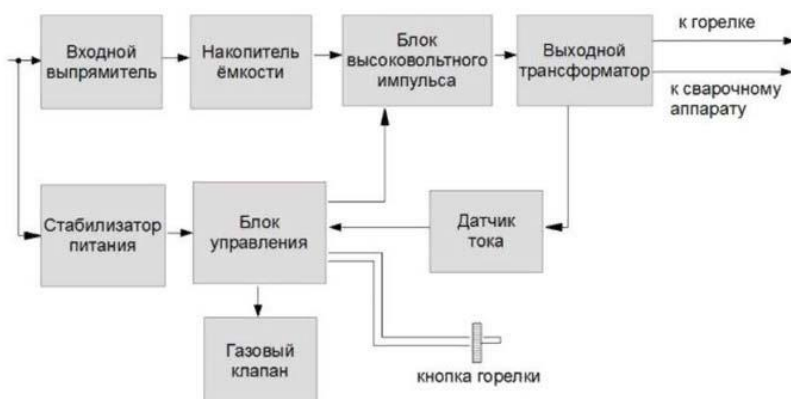


Рис.2. Типовая схема высоковольтного высокочастотного осциллятора

Нами разработан и изготовлен макет оригинального варианта схемного решения высоковольтного высокочастотного осциллятора. Причем он бы апробирован в источнике питания косвенной дуги плазматрона в качестве внутреннего устройства. Проверялось стабильность выработки плазмы на воздухе, углекислом газе, аргоне, гелии и на определенных соотношениях аргона и углеводородных газов (метан, пропан-бутан).

Одной из особенностей нашего схемного решения является использование димера (Рис.3) в качестве генератора и коммутатора импульсов по низковольтной стороне, что позволило подобрать мощность поджигающих импульсов для широкого диапазона технических задач.

Кроме этого, был изготовлен макет внешнего высоковольтного высокочастотного осциллятора (Рис.4), который апробирован при работе с трансформаторными сварочными выпрямителями и сварочными инверторами (Рис5). В последнем случае проверялась работа устройства для обеспечения дистанционного поджига дуги штучными обмазанными электродами и поджиг дуги неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона.

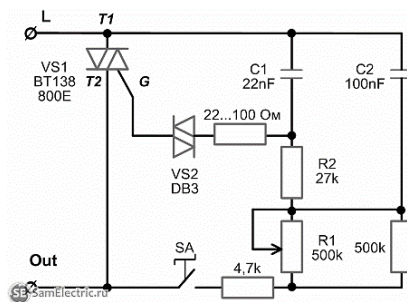


Рис.3. Электрическая схема димера

Разработанная схема и конструкционные решения показали высокую надежность и невысокую себестоимость макета, а также возможность использования его в учебном процессе и для решения исследовательских задач для плазмотронов работающих на косвенной плазме с различными газами и их смесями.

Конструкция осциллятора была показана на выставке в «Балтик-Экспо» (Рис.6).



Рис.4. Внешний высоковольтный высокочастотный осциллятор



Рис.5. Сварочный инвертор настроен для работы неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона

Использование аппарата для сварки не вызывает особых трудностей, однако строгое соблюдение инструкции для пользователя является обязательным.

Нет ограничений по условиям окружающей среды – оборудование может быть применено как на улице, так и в закрытых помещениях. Тем не менее, в случае неблагоприятных погодных явлений, таких как дождь, проводить работы на открытом воздухе не рекомендуется.

Работа с аппаратами в сильно запыленных помещениях может привести к быстрому выходу устройства из строя. Также вредными могут быть едкие газы и пары. Начинать рабочие операции следует только в том случае, если обеспечено надежное заземление.



Рис.6. Конструкция осциллятора была показана на выставке в «Балтик-Экспо»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев, А. Н. Сварочные осцилляторы и их применение в технологии сварки. М.: Машиностроение, 2015, - 383с.
2. Романов, В. П. Теория и практика сварки осциллятором. СПб.: Питер, 2016, - 269с.
3. Иванов, С. И. Электронные устройства для сварки: Осцилляторы и их применения. Новосибирск: Наука, 2018, - 179с.
4. Ney, P. Welding Oscillators: Technology and Applications. New York: Welding & Fabrication Publications, 2017, - 196p.
5. Miller, R., & Smith, J. Advanced Techniques in Welding Oscillation. London: Engineering Press, 2019, - 115p.
6. Johnson, T. Oscillator Design and Applications in Welding Technology. Chicago: Industrial Publications, 2021, - 285p.

MODEL OF A DEVICE FOR CONTACTLESS EXCITATION OF A WELDING ARC

¹Leshchinsky Mark Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor

²Leshchinskaya Galina Iosifovna, candidate of technical sciences, associate professor

^{1,2}Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹mark.leschinsky@klgtu.ru

Welding oscillators are widely used in various industries, including the automotive, aviation, oil and gas, shipbuilding and energy sectors. These devices play a key role in performing complex welding operations that require a high degree of precision, efficiency and joint quality. A new circuit solution and design layout of an external oscillator suitable for many different applications have been developed.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНОЙ ПЕЧАТИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

¹Михайлюченко Александр Васильевич, магистрант

²Перетятко Сергей Борисович, канд. техн. наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой инжиниринга технологического оборудования

³Якимов Вячеслав Сергеевич, магистрант

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹mikhaylyuchenko.alex@gmail.com; ²sergej.peretyatko@kigtu.ru; ³vyacheslavvyakimov1991ggg@gmail.com

Целью является анализ существующих и перспективных разработок в области проектирования оборудования и технологий изготовления малоразмерной технологической оснастки с использованием композитной 3D-печати. Делается вывод о том, что технологические процессы изготовления оснастки названным методом активно развиваются, но требуется проведение дальнейших исследований для отработки технологических процессов для технологической оснастки с конкретными заданными требованиями.

Введение

В последние годы в машиностроительной отрасли России широкое распространение получила малоразмерная технологическая оснастка для изготовления малоразмерных деталей. Такая оснастка часто изготовлена из металла, предназначена в основном для обеспечения работы зарубежного оборудования и поэтому производится и поставляется из-за рубежа.

В современном, быстроразвивающемся мире постоянно появляются новые виды оборудования и новые технологические процессы. Так, 3D-печать и применение новых материалов, позволяют расширить возможности для проектирования и, соответственно, для нового применения малоразмерной оснастки. Это позволяет создавать средства технологического оснащения с заданными свойствами, наличие которых требуются у конкретного вида малоразмерной оснастки. Таким образом, можно создавать более специализированную оснастку и, как следствие, более эффективно применимую в конкретной технологической задаче.

Малоразмерные средства технологического оснащения легче и удобнее в обращении, что снижает физическую нагрузку на операторов и уменьшает риск травм.

Однако, не смотря на имеющиеся преимущества, в последние годы возникли трудности с закупкой и доставкой подобной оснастки из-за рубежа.

К основным проблемам с закупкой технологической оснастки можно отнести следующие:

1. Высокая стоимость: технологическая оснастка изначально стоит из-за дороговизны технологического процесса ее производства, а процедуры доставки и таможенные процедуры еще больше увеличивают стоимость.

2. Логистические трудности: международные санкции, нестабильность валютных курсов и другие факторы осложняют процесс доставки оснастки на территорию России.

Возможные решения в создавшейся ситуации могут быть следующие:

1. Развитие отечественного производства технологической оснастки.

- увеличение инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы позволит развивать собственные технологии производства оснастки.

- сотрудничество с научными институтами: взаимодействие с университетами и научными центрами может ускорить процесс разработки и внедрения новых решений.

Такой подход требует длительного времени и не подходит для компаний, которым необходима оснастка прямо сейчас, особенно во время увеличивающегося промышленного производства.

2. Партнёрство с зарубежными компаниями: создание совместных предприятий с иностранными компаниями может способствовать передаче технологий и локализации производства на территории России. Обучение специалистов: направление российских инженеров на обучение за границу для изучения передовых технологий.

Такой подход затруднителен, т.к. иностранные предприятия, которые занимались изготовлением и продажей технологической оснастки по большей части находятся в не дружественных странах. А предприятия, которые находятся в дружественных странах не спешат делиться новыми технологиями. Кроме того, т.к. объемы производства для наших предприятий гораздо меньше иностранных, то произвести оснастку на территории РФ со стоимостью сопоставимой с иностранной затруднительно.

3. Государственная поддержка.

Композитная 3D-печать пластиком с армированием углеродным непрерывным волокном

Композитная 3D печать позволяет создавать детали со сложной геометрией и при этом композитные материалы обладают высокой прочностью при небольшой массе, что делает их идеальными для применения в авиационной и автомобильной промышленности, а также во многих других отраслях машиностроения.

При этом, композитная 3D печать также имеет свои недостатки. Процесс изготовления требует точной калибровки оборудования и правильного соотношения между углеродными волокнами и полимером и т.д. В настоящее время ведется большое количество исследований технологий и разработки новых конструктивных решений в данной области [1-4].

В работе [5] представлен обзор способов повышения прочности полимерных изделий, полученных по технологии изготовления плавящихся нитей, предложен алгоритм расчета спиральных траекторий движения инструмента для нанесения материала с использованием многоосевой печати. Показана конструкция пятиосевого устройства для нанесения материала по спирали. Дано описание предлагаемого метода печати. Представлены результаты сравнительных испытаний на изгиб и сжатие в трех точках. Были исследованы стандартные образцы, полученные обычным способом по технологии FFF, а также образцы с 2, 4, 6, 8 и 10 упрочняющими слоями, полученные методом спирального нанесения материала. Приведено описание испытаний, получены зависимости прочности изделий от количества армирующих слоев. Сформулированы выводы о влиянии метода нанесения слоев на прочность изделий.

В работе [6] проанализированы методы повышения прочности изделий в аддитивном производстве, а также данные о прочности чистых и армированных полимерных материалов при растяжении и изгибе.

В работах [7, 8] рассмотрена текущая ситуация развития данных технологий, а так же проанализированы пути дальнейшего развития технологий аддитивного производства в сфере печати композиционными материалами.

В работе [9] рассматриваются перспективы использования 3D-печати в контексте стратегии импортозамещения. Описываются основные преимущества использования этих технологий для снижения зависимости от импорта путем локализации производства компонентов и уникальных продуктов.

Параметры процесса композитной 3D-печати оснастки

К основным параметрам, влияющим на качество печати можно отнести:

1. Температура плавления используемого пластика. Рабочая температура плавления пластика у каждого типа пластика определенная и при не правильной установке этой температуры в слайсере это негативно скажется на самой модели, в виде: недостаточной межслойной адгезии, наплывах в местах мелкой детализации модели, потери прочностных характеристик из-за деградации пластика.

2. Температура в области печати. В 3D принтерах открытого типа он оказывает наибольшее влияние на печать модели, так как область печати подвержена влиянию движения воздуха, особенно это проявляется в материалах имеющих большую степень усадки, например нейлон. Для печати

такими материалами рекомендуется использовать не просто принтеры с закрытой областью печати (пассивная термокамера), а с использованием активной термокамеры.

3. Натяжение ремней, горизонтирование направляющих оси Z. Если натяжение ремней не удовлетворяет рекомендуемому, то это сильно отразится на качестве печати, особенно это проявляется при разном натяжении по осям x или y, что приводит к искажению формы печатаемой детали (вместо окружности получаем овал или квадратную форму). При неправильном горизонтировании направляющих начнутся проблемы при печати первого слоя.

4. Адгезия филамента с платформой. Эта проблема возникает очень часто и напрямую зависит от состава и характеристик используемого пластика. Рекомендаций по решению этой проблемы большое множество, от смазывания платформы клеем ПВА до использования боросиликатной подложки, а также использование подогреваемого стола.

5. Влажность филамента. Практически все материалы для печати проявляют гигроскопичные свойства, что напрямую влияет на качество печати. При прохождении через разогретое сопло, влага внутри филамента вскипает что приводит к неравномерной экструзии, ухудшению межслойной адгезии, понижению прочностных свойств полученной детали. Решением данной проблемы является предварительная просушка пластика с последующим хранением в дегидраторе и печати непосредственно с него.

6. Настройки слайсера. Для каждого принтера нужен индивидуальный подбор настроек. Конечно имеется много статей и рекомендаций на эту тему, но в большинстве случаев подбор оптимальных настроек проходит методом проб и ошибок. При проведении настройки нужно принять во внимание множество факторов и характеристик 3D принтера.

Конкретные материалы, используемые при печати, как правило, разрабатываются под определенные платформы, выполняющие специализированные функции. Существует большое количество видов и типов 3D пластика. У каждого из них разные свойства, и характеристики и подход к работе с ними разный.

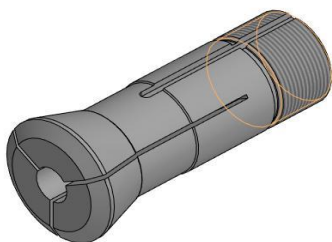


Рис. 1. 3D-модель люнетной цанги HGB-TD20R

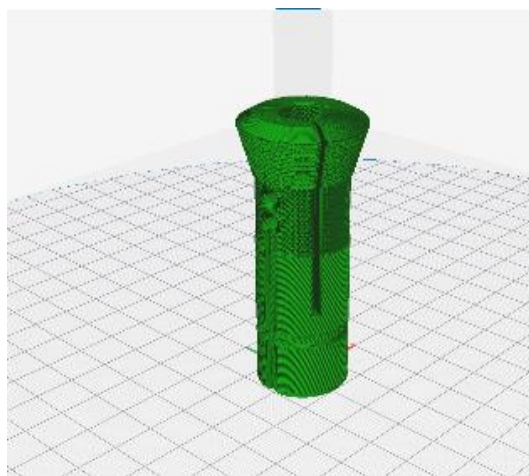


Рис. 2. Общий вид обработанной модели

На рис.1 изображен пример 3D-модели люнетной цанги HGB-TD20R для которой разработана модель обработки, представленная на рис. 2.

Практические работы по изготовлению специализированной малоразмерной технологической оснастки показывают, что изготовление такой оснастки с помощью композитной 3D-печати пластиком с армированием углеродным непрерывным волокном возможно. Однако, на данный момент, нет какой то универсальной технологии и однозначных рекомендаций по применению оборудования для такой печати, которые бы удовлетворяли всем требованиям, предъявляемым к подобной оснастке, т.к. у каждого вида оснастки имеются свои особенности по точности, прочности, стоимости и другим характеристикам. Поэтому требуется проведения исследований в направлении разработки технологий и оборудования под конкретный тип оснастки.

Заключение

Малоразмерная технологическая оснастка играет ключевую роль в современном машиностроении, обеспечивая высокую точность, экономичность и гибкость производственных процессов. Её использование способствует повышению качества продукции, снижению затрат и ускорению времени выхода на рынок новых изделий. В условиях растущей конкуренции и стремительного технологического прогресса малоразмерная оснастка становится важным инструментом для достижения успеха в машиностроительной отрасли.

Проблемы с закупкой отечественной и иностранной технологической оснастки в машиностроительной отрасли России требуют комплексного подхода. Развитие отечественного производства, технологический трансфер, использование альтернативных технологий и материалов, а также государственная поддержка могут существенно смягчить существующие трудности.

Инновации в области материалов, аддитивных технологий и автоматизации открывают новые возможности для дальнейшего развития этой сферы, делая её ключевым фактором успеха в условиях современной промышленности.

В ходе выполнения работ по изготовлению технологической оснастки с помощью композитной 3D печати пластиком с армированием углеродным непрерывным волокном подтверждена возможность изготовления специализированной малоразмерной технологической оснастки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2776061 С2 Российская Федерация, МПК В29С 64/118, В29С 64/209, В33У 10/00. Способ изготовления изделий, армированных непрерывным волокном, с помощью аддитивных технологий и печатающая головка 3D-принтера для его осуществления : № 2020140909 : заявл. 11.12.2020 : опубл. 13.07.2022 / А. Р. Авдеев, И. А. Гуцин, А. В. Дроботов [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Стереотек". – EDN VYVIDH.

2. Развитие технологии 3D печати с армированием непрерывным волокном / И. С. Торубаров, А. В. Дроботов, А. Л. Плотников, И. А. Гуцин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2021. – № 8(255). – С. 81-86. – DOI 10.35211/1990-5297-2021-8-255-81-86. – EDN ZPIGFL.

3. Торубаров, И. С. Разработка способа пятиосевой FFF печати с укладкой непрерывного углеволокна / И. С. Торубаров // Гагаринские чтения - 2022 : Сборник тезисов работ международной молодёжной научной конференции XLVIII, Москва, 12–15 апреля 2022 года. – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 550-551. – EDN KQERFG.

4. Торубаров, И. С. Разработка устройства объёмной печати по технологии FFF с укладкой непрерывного волокна / И. С. Торубаров // XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области : Сборник материалов конференции, Волгоград, 02–15 ноября 2022 года / Редколлегия: С.В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. – С. 49-51. – EDN GLJLAQ.

5. Strength increasing additive manufacturing fused filament fabrication technology, based on spiral toolpath material deposition / A. Avdeev, A. Shvets, I. Gushchin [et al.] // Machines. – 2019. – Vol. 7, No. 3. – P. 57. – DOI 10.3390/MACHINES7030057. – EDN VAKJEJ.

6. Дроботов, А. В. Разработка устройства и способа FFF печати с армированием непрерывным углеволокном / А. В. Дроботов, А. Л. Плотников, И. С. Торубаров // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции,

Юрга, 25–27 мая 2023 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 130-131. – EDN BWGPHI.

7. Карташов, К. В. Технологии 3D печати композитными материалами с применением углеродного волокна / К. В. Карташов // Научный Лидер. – 2022. – № 6(51). – С. 135-137. – EDN YTWHSF.

8. Чемодуров, А. Н. Исследования в области применения технологий 3D-печати композитными материалами / А. Н. Чемодуров // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении : сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 11–12 апреля 2024 года. – Воронеж: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 374-377. – EDN GUVCUV.

9. Габдрашитов, Т. А. Импортозамещение с использованием 3D-печати и 3D-сканирования / Т. А. Габдрашитов, И. И. Шарипов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения : Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 58-60. – EDN NXZQHI.

USING OF COMPOSITE PRINTING FOR THE MANUFACTURE OF SMALL-SIZED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

¹Mikhailyuchenko Alexander Vasilyevich, undergraduate student

²Peretyatko Sergey Borisovich - candidate Sc. of Engineering, acting head at the department of "Engineering of Technological Equipment" of Kaliningrad State Technical University

³Yakimov Vyacheslav Sergeevich, undergraduate student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹mikhaylyuchenko.alex@gmail.com; ²sergej.peretyatko@klgtu.ru;

³vyacheslavyakimov1991ggg@gmail.com

The purpose of this study is to analyze existing and promising developments in the field of equipment design and manufacturing technology of small-sized technological equipment using composite 3D-printing. It is concluded that the technological processes of manufacturing tooling by this method are actively developing, but further research is required to refine the technological processes for tooling with specific specified requirements.

ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

¹Перетятко Сергей Борисович, канд. техн. наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой инжиниринга технологического оборудования

²Шихалева Юлия Николаевна, магистрант

³Казановский Александр Сергеевич, магистрант

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹sergej.peretyatko@klgtu.ru; ²Fakel-galaxy@yandex.ru;
³kazanovskiy39@gmail.com

Цель – анализ процедуры верификации математических моделей стационарных плазменных двигателей за счет применения существующих методов предварительного расчета изделий на прочность и испытаний на специализированных стендах. Делается вывод о том, что лучшие результаты по верификации таких математических моделей достигаются при вибропрочностных испытаниях.

Необходимость предварительного расчета на прочность

Проектирование деталей и изделий является важным этапом в процессе создания машин и механизмов. Прежде чем приступить к производству, необходимо провести предварительный расчет на прочность деталей. Это позволяет определить, насколько деталь способна выдержать нагрузки, которые будут на нее воздействовать в процессе эксплуатации.

Предварительный расчет на прочность необходим для того, чтобы убедиться в том, что деталь будет соответствовать требованиям безопасности и надежности. Если деталь не выдержит нагрузки, то это может привести к серьезным последствиям: от повреждения оборудования до травмирования людей. Кроме того, предварительный расчет на прочность помогает оптимизировать конструкцию детали. Например, если деталь слишком тяжелая или сложная для производства, то ее можно упростить без ущерба для функциональности.

Стационарные плазменные двигатели (СПД), являются ключевым элементом современных космических аппаратов (КА). Они обеспечивают точную коррекцию орбиты, управление ориентацией и другие маневры в космосе, предлагая высокую эффективность и удельный импульс по сравнению с традиционными химическими двигателями. СПД используют магнитное поле для удержания и ускорения плазмы, генерируя тягу для космических аппаратов. Они работают за счет ионизации рабочего тела и ускорения ионов в электрическом поле.

При проектировании стационарных плазменных двигателей необходимо обеспечить их статическую и динамическую прочность [1-7]. Особенно важно проводить предварительные расчеты на прочность для таких материалов, как керамика, из-за ряда ее технологических особенностей.

Например, керамика изготовленная на основе гексагонального нитрида бора, применяемая в стационарных плазменных двигателях, имеет хорошую стойкость к тепловому удару и обрабатываемость, является одним из самых прочных керамических материалов но при этом ее трудно спекать [8, 9]. Такая керамика имеет высокую хрупкость и низкую трещиностойкость [10, 11], широкие статистические распределения прочности [12, 13].

Методы расчета на прочность и проверка работоспособности

В математическом моделировании прочности деталей покрывается несколько подходов. Один из самых распространенных - метод конечных элементов [3, 6, 14]. Этот метод позволяет моделировать поведение материала под нагрузкой и определять его прочностные характеристики.

Другой метод - метод напряжений и деформаций. Существуют программы для расчета на прочность, такие как ANSYS, SolidWorks и т.д. Они позволяют проводить расчеты, учитывая различные факторы, такие как температура, влажность и другие условия эксплуатации.

Определить выдержит ли изделие условия эксплуатации можно экспериментальным способом при проведении испытаний, в том числе на вибрационных стендах.

КЭМ изделия, выполненная в соответствии с геометрическими, массовыми характеристиками, отвечающая характеристикам использованных материалов, верифицированная в соответствии с результатами испытаний отражает поведение реальной модели и ее реакцию на условия эксплуатации.

Верификация математических моделей

Одним из ключевых аспектов, способствующих оптимизации технологических процессов, является использование верифицированных моделей для расчета на прочность [15]. Это означает, что результаты моделирования должны быть подтверждены экспериментальными данными.

Опыт работы по верификации математических моделей деталей и узлов для стационарных плазменных двигателей показывает, что наилучшие результаты дает верификация моделей при вибропрочностных испытаниях. Вибрационные нагрузки являются критичными для надежности и долговечности двигателей, и их учет в моделях позволяет более точно предсказать поведение конструкции в реальных условиях эксплуатации [16, 17].

Вибропрочностные испытания целесообразно проводить при каждом уточнении геометрических или других параметров изделия.

При вибропрочностных испытаниях к изделию может быть приложено три типа вибрации:

- Синусоидальная вибрация: используется для проверки прочности двигателя на определенной частоте.

- Случайная вибрация: используется для имитации реальных условий космического полета, где вибрации имеют случайный характер.

- Ударная вибрация: используется для имитации ударных нагрузок, возникающих при запуске ракеты-носителя.

На примере катодного узла стационарного плазменного двигателя проведена верификация математической модели по результатам резонансных испытаний.

Изделие подвергается воздействию синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 5 до 3000 Гц при амплитудном значении виброускорения 0,5 g, методом плавной развертки частоты при скорости сканирования по частоте (от верхнего значения до нижнего) равной от 1 до 2 октав в минуту. Испытания проведены в лабораторных условиях на испытательной базе АО «ОКБ «Факел». Предельные отклонения испытательных режимов приведены в таблице 1.

Математическая модель катодного узла описывает элементы конструкции, соответствующие конструкторской документации, жестко соединенные между собой в линейной постановке задачи без учета контактных явлений и нелинейности поведения материалов. Ограничение по перемещению и повороту прикладывались к местам, соответствующим креплению изделия к оснастке при проведении виброиспытаний.

Конечно-элементная модель разработана с использованием объемных и оболочных элементов. Свойства оболочных элементов задавались равными номинальным значениям толщин соответствующих деталей. КЭМ содержит 36 047 узлов и 18 747 элементов. Демпфирование задано равным 2%. Вид КЭМ приведен на рис. 2.

По результатам расчета при воздействии механических нагрузок, соответствующих нагрузкам при проведении вибрационных испытаний, был проведен сравнительный анализ графиков отклика. Графики отклика математической модели построены для узлов сетки КЭМ, соответствующих местам крепления акселерометров.

Испытания проводились по осям X и Z (направление осей условно, перпендикулярно оси катодного узла). Перечень испытательного оборудования приведен в таблице 2. Расположение акселерометров представлено на рис. 1. Графики отклика согласно испытаниям и расчетам представлены в таблице 3.

Предельные отклонения испытательных режимов

№ п/п	Параметр	Предельный допуск
1	Амплитуда синусоидальной вибрации	$\pm 20\%$
2	Частота вибрации	$\pm 0,5$ Гц (5,0 – 20,0 Гц) $\pm 2,0\%$ (20 – 2000 Гц)

Перечень испытательного оборудования

№ п/п	Наименование	Обозначение	Примечание
1	Вибрационный стенд	TV 57315/LS-340	Оси X, Z
2	Система управления	LMS SCADS LAB	Прикладное ПО «LMS Test.Lab» ver. 14A.1
3	Акселерометры	352C23	-

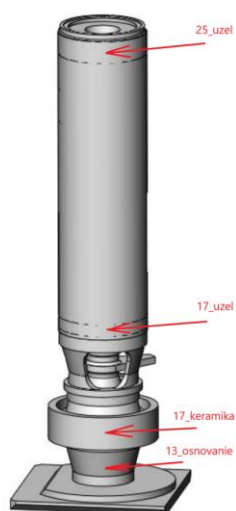


Рис. 1. Схема расположения акселерометров при испытаниях.

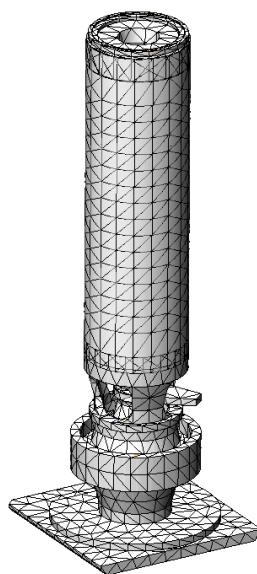
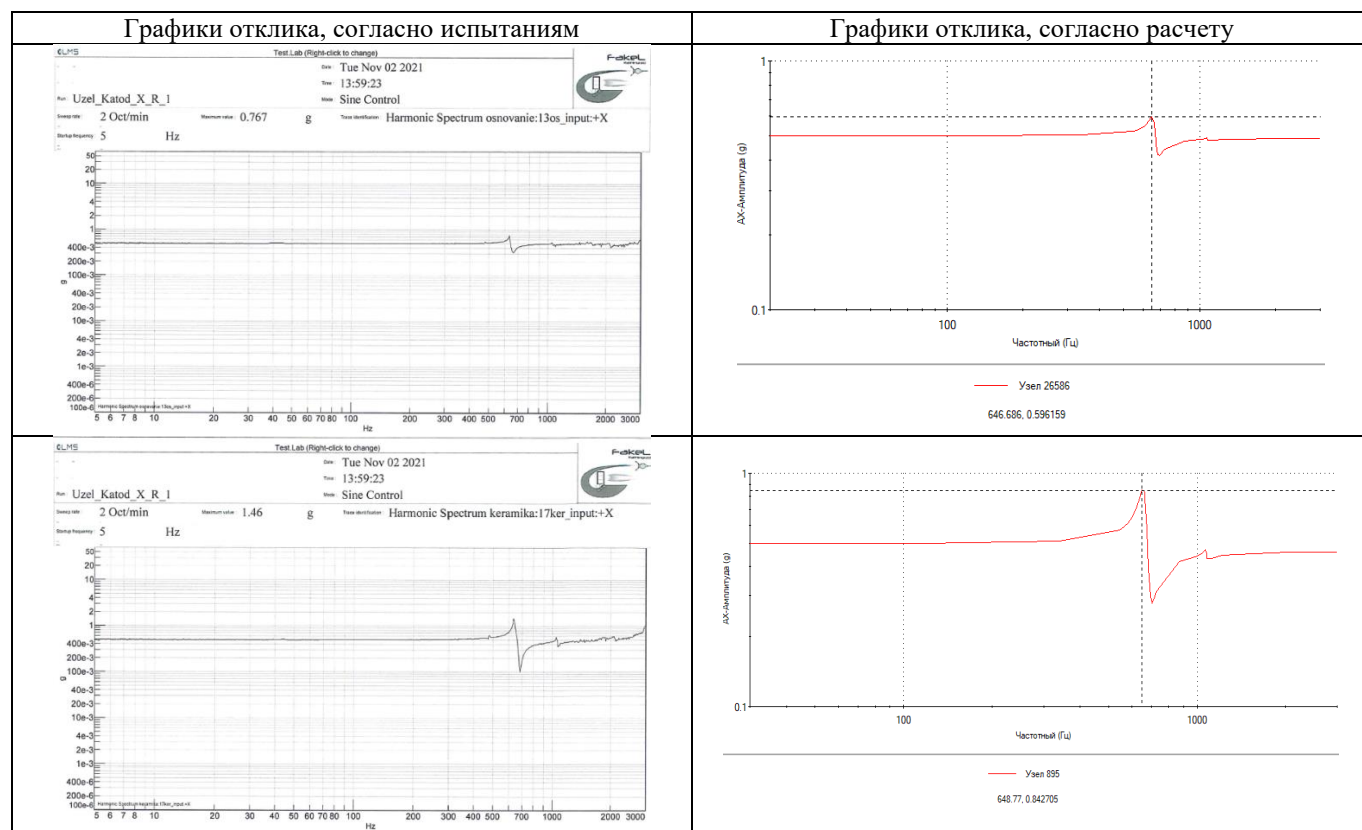


Рис. 2. Конечно-элементная модель катодного узла.

Графики отклика согласно испытаниям и расчетам



Акселерометры, установленные во время испытаний, воспринимают колебания со всего изделия, поэтому график отклика имеет множество зигзагообразных переходов, график, полученный при математическом расчете напротив, не имеет отклика на различные «помехи», ускорение считается только в заданном узле сетки КЭМ и колебания не наслаиваются.

Собственная резонансная частота реальной модели составляет 634 Гц, 638 Гц и 1064 Гц, собственная резонансная частота математической модели составляет 661 Гц, 665 Гц, 1076 Гц.

При сравнении графиков отклика, полученных экспериментальным путем и путем математического расчета, видно, что математическая модель соответствует поведению реальной модели, собственная резонансная частота отличается незначительно. Таким образом, математическая модель катодного узла была верифицирована с реальной моделью изделия.

Заключение

При проектировании стационарных плазменных двигателей для спутников применяют предварительные расчеты на прочность. Для этого применяют метод конечных элементов. После чего проводят верификацию математических моделей при вибропрочностных испытаниях. Вибропрочностные испытания являются неотъемлемой частью процесса разработки и сертификации СПД. Они играют ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности работы СПД в космосе. Современные вибропрочностные испытательные стенды оснащены передовыми технологиями, позволяющими проводить комплексные испытания, имитируя реальные условия космического полета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56514-2015. Нормы прочности автоматических космических аппаратов.
2. Ткаченко С.И., Ткаченко О.А., Самсонов В.Н. Методы экспериментальной отработки прочности конструкций летательных аппаратов: учеб. пособие. - Самара: СГАУ, 2007. - 255 с.
3. Коновалов Д.Р., Платонов А.О. Методы экспериментальной отработки прочности конструкций летательных аппаратов // Решетневские чтения : материалы XXV Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск. СибГУ. 2021. С. 483–484.

4. Костин В.А., Валитова Н.Л. Теория и практика прочностной обработки конструкций летательных аппаратов: монография. - Казань: КНИТУ-КАИ, 2014. - 140 с.
5. Русаков А.В. Расчетно-экспериментальное обеспечение надежности элементов конструкций космических летательных аппаратов на этапе проектирования : автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.07.03. - Самара. 2000. - 18 с.
6. ECSS-E-HB-32-26A. Space engineering. Spacecraft mechanical loads analysis handbook // ESA-ESTEC Requirements and Standards Division. Noordwijk. The Netherlands. 2013.
7. Москвичев В.В., Лепихин А.М., Буров А.Е., Доронин С.В., Москвичев Е.В. Расчетно-экспериментальная оценка прочности и предельных состояний композитных конструкций космических аппаратов // Космические аппараты и технологии. 2019. Т. 3. № 3. С. 140–148. doi: 10.26732/2618-7957-2019-3-140-148.
8. X. Duan et al., Review on the properties of hexagonal boron nitride matrix composite ceramics. J. Eur. Ceram. Soc. 36(15), 3725–3737 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2016.05.007>.
9. Singh, K., Sawini, Thakur, A., Kumar, A. (2024). Boron Nitride and Its Hybrids: Synthesis, Properties and Potential Applications. In: Talreja, N., Chauhan, D., Ashfaq, M. (eds) Two-dimensional Hybrid Composites. Engineering Materials. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8010-9_1.
10. Салахов А.М. Современные керамические материалы; Министерство образования и науки РФ, Казанский федеральный университет. - Казань: КФУ, 2016. – 333 с.
11. Кирюшина В.В. Исследование керамических материалов с применением методов вероятностного анализа при разработке и производстве элементов летательных аппаратов: специальность 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кирюшина Валентина Владимировна. – Обнинск, 2014. – 27 с. – EDN ZPLSBT.
12. Панова И.М. Особенности конструирования изделий из керамических материалов. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, № 4, 2013. С. 45 - 50.
13. Килина О.В., Килин П.С., Кульков С.Н. Моделирование деформационного поведения пористой керамики. Физическая мезомеханика, № 4, 2002. С. 47 – 53.
14. Калинин А.В., Хвалин А.Л. Применение метода конечных элементов в современных системах автоматизированного проектирования. Гетеромагнитная микроэлектроника, 2019. № 26. С. 41 – 51.
15. Кравчуновский, А.П. Программа расчета нагрузок в конструкции космического аппарата / А.П. Кравчуновский, Р.А. Пряничников, С.А. Зоммер // Космические аппараты и технологии. – 2022. – Т. 6, № 1(39). – С. 14-20. – DOI 10.26732/j.st.2022.1.02. – EDN HUEUUD.
16. Park, I., Park, J. Effective vibration test planning method for equipment with high slenderness ratio. J Mech Sci Technol 33, 5779–5786 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1124-1/>
17. Park, I., Park, J. Effective vibration test planning method for equipment with high slenderness ratio. J Mech Sci Technol 33, 5779–5786 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1124-1>

VERIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR STATIONARY PLASMA ENGINES

¹Peretyatko Sergey Borisovich, candidate Sc. of Engineering, acting head at the department of "Engineering of Technological Equipment"

²Shikhaleva Yulia Nikolaevna, undergraduate student

³Kazanovsky Alexander Sergeevich, undergraduate student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹sergej.peretyatko@klgtu.ru; ²Fakel-galaxy@yandex.ru; ³kazanovskiy39@gmail.com

The purpose of the work is to analyze the verification procedure for mathematical models of stationary plasma engines by applying existing methods of preliminary calculation of products for strength and testing on specialized stands. It is concluded that the best results in the verification of mathematical models are achieved during vibration tests.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ПИЩЕВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

¹Самойлова Наталья Владимировна, соискатель кафедры инжиниринга
технологического оборудования

²Агеев Олег Вячеславович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры инжиниринга
технологического оборудования

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹oleg.ageev@klgtu.ru

Показана необходимость анализа современного состояния теоретического и технического обеспечения в пищевом машиностроении. Цель – проведение аналитического обзора известных научных работ по теории резания пищевых материалов и определение путей дальнейшего ее совершенствования. Рассмотрены и обобщены основные отечественные и зарубежные научные труды, посвященные процессам резания животного и растительного сырья. На основе анализа установлены достоинства и недостатки наиболее актуальных теоретических достижений. Предложены пути совершенствования теоретических подходов к описанию процессов механической обработки пищевого сырья. Сформулированы основные направления дальнейшего развития научных основ пищевого технологического оборудования.

Введение

В настоящее время имеется настоятельная необходимость совершенствования пищевых систем для обеспечения продовольственной безопасности, улучшения качества питания населения и его снабжения финансово доступными и качественными продуктами [1]. Пищевое машиностроение является важной и перспективной отраслью, которая в последние годы демонстрирует положительную динамику. Следует отметить, что за последние 7 лет объем производства пищевого оборудования в Российской Федерации увеличился в 2,2 раза, при этом в 51 субъекте страны действует более 270 машиностроительных предприятий данного профиля.

Рынок пищевых машин и оборудования в России за 2023 год вырос на 79%, что составило 164,4 млрд руб. Объем импорта данной сложной техники увеличился на 131%, что составляет 93,6 млрд руб. Вместе с тем, доля российского оборудования на внутреннем рынке за этот же период упала с 56 до 43%. С учетом сложной конкурентной и санкционной обстановки российские машиностроительные предприятия инвестируют в разработку новых изделий, выпускают новую продукцию, замещают зарубежные машины на отечественных пищевых производствах.

Негативное влияние на развитие отрасли пищевого машиностроения оказывают непрерывный рост цен на комплектующие и логистику, существенные трудности компаний с привлечением оборотных средств, сохраняющаяся зависимость от импорта компонентов и материалов, которые не производятся в России, а также значительная нехватка кадров. Особенно остро указанные отрицательные факторы сказываются на состоянии производственных предприятий Калининградской области. Вместе с тем, в регионе успешно действуют и устойчиво развиваются несколько компаний по разработке и выпуску рыбо- и мясоперерабатывающих машин.

Создание конкурентоспособных машин базируется на органической связи теории резания, реологии сырья и перерабатывающей техники [2, 3]. Теория резания пищевых материалов рассматривает общие аналитические и экспериментальные закономерности этого процесса, вскрывает механизм и движущие факторы его протекания при различных режимах деформирования пищевого материала [4]. Реология материалов [5, 6] изучает физико-механические свойства сырья и продукции как объекта обработки, что является основой для расчета процесса резания. Порционирующая техника рассматривает различные способы нарезки продукции на порции в машинах различных типов и конструкций, а также методы расчета и проектирования таких установок.

Однако в отраслевой научной литературе недостаточное внимание уделено анализу современных достижений теории резания, вследствие чего исследователи и конструкторы не всегда могут эффективно применять теоретическое обеспечение при разработке и модернизации пищевой техники. В связи с этим, целью настоящей статьи является проведение аналитического обзора известных научных работ по теории резания пищевых материалов и определение путей дальнейшего совершенствования указанной теории.

Обзор развития теории резания сырья животного и растительного происхождения

При механической обработке сырья основной технологической операцией является резание пищевого материала. В процессах первичной обработки рыбы и мяса резание составляет их главное научное содержание. Оно является вместе с тем научной основой целых классов перерабатывающего оборудования. Первое значительное продвижение в вопросе системного подхода к исследованию резания рыбы принадлежит В.В. Дорменко [7]. В своих работах он рассчитал силы полезных сопротивлений при резании рыбы пластинчатым лезвием и дисковым ножом. Расчетные методики были разработаны в упругой постановке и имели весьма приближенный характер, тем не менее, указанные результаты использовались в рыбной отрасли до начала 1960-х годов.

Механике процесса резания рыбы дисковым ножом был посвящен ряд исследований А.А. Романова [8-10]. Он проанализировал две составляющие силы сопротивления – касательную и нормальную, что позволило аналитически связать угловую скорость со скоростью подачи материала, а также установить влияние соотношения указанных скоростей на процесс резания. Данные работы также были выполнены в упругой постановке и не учитывали силы трения. Плодотворные методики расчета сил сопротивлений, возникающих на кромке режущих органов, были предложены С.Г. Гуревичем [11, 12]. Используя ряд допущений, он учел изменение усилия резания по мере погружения лезвия в пищевой материал. В.И. Карпов [13-15] существенно обобщил методы расчета сил сопротивления в упругой постановке, дополнив их формулами для определения упругих реактивных сил и сил трения на гранях ножа. В его работах была учтена упругая деформация волокон мышечной ткани рыбы при обработке пластинчатыми ножами, рассчитаны моменты сопротивлений при резании дисковым ножом, а также введено понятие коэффициента полезного действия элементарного ножа.

Работы В.Г. Проселкова [16] посвящены изучению структурно-механических свойств рыбы, а также определению усилий резания при различных реологических характеристиках сырья и углах заточки лезвия. Однако установленные им рациональные значения указанных углов и геометрия кромок были уточнены в дальнейшем другими авторами. Значительное продвижение в вопросе обобщения теоретических и практических результатов по резанию пищевых материалов достигнуто в работах А.Н. Даурского [17] и Ю.А. Мачихина [18]. В их монографии [19] изложен взгляд на физическую сущность резания, приведены основные закономерности обработки пластинчатыми и дисковыми ножами, а также режущей струной, выполнен анализ различных конструкций резательных машин и механизмов.

Начало исследования процессов вибрационного резания пищевых материалов было положено Г.А. Каргиной [20] на базе экспериментальной установки, в которой применялся кинематический вибровозбудитель колебаний ножа. Это позволило проанализировать закономерности вибрационного резания мясных продуктов и развернуть дальнейшие работы в данной области. В связи со значимостью данного процесса, более полный анализ известных работ по резанию пищевых материалов с наложением вибраций приведен в работе [21]. Следует также остановиться на важных в теоретическом и практическом отношении результатах М.Н. Клименко [22], который развивал теорию резания мясных продуктов и совершенствовал мясоизмельчительное оборудование. Он проанализировал реологические характеристики сырья и оценил влияние геометрии режущих органов на энергетические затраты при резании.

Среди интересных результатов, полученных в области резания пищевых материалов, следует отметить работы В.М. Хромеевкова [23, 24], который изучал процесс скользящего резания и анализировал влияние микрогеометрии лезвия на энергетические затраты и качество поверхности среза. Полученные им результаты по резанию сухарных плит были обобщены и для других пищевых продуктов. Одним из крупных результатов в области резания и измельчения мяса является работа А.Н. Познышева [25], который связывал реологические и структурно-механические свойства сырья с параметрами его

обработки ленточными и дисковыми ножами. Развитие теоретической стороны исследований по резанию мяса было продолжено А.А. Ивановым [26], который установил связь скорости движения лезвийного рабочего органа и сил сопротивлений, действующих на боковые грани ножа.

Необходимо отметить, что отечественные ученые внесли значительный вклад в разработку теории резания пищевых материалов и совершенствование методологии проектирования волчков и куттеров. Здесь следует особо отметить работы научных школ В.В. Пеленко [27], Г.В. Алексева [28, 29], В.А. Арета [30], труды Н.Е. Резника [31], А.Г. Барейн [32], С.В. Божьева [33], В.В. Кузьмина [34], А.А. Бренч [35], А.М. Искандаряна [36], Е.В. Вельмесовой [37], Т.Т. Вольфа [38], В.С. Горюшинского [39], А.Н. Сидоряка [40], Р.В. Иминова [41], Н.Г. Чертилина [42], А.К. Пильненко [43], Д.Л. Львова [44], К.С. Мустафаева [45].

Особое место занимают отраслевые работы по механической обработке рыбного сырья, среди которых следует выделить исследования В.М. Чупахина [46], А.В. Терентьева [47], В.М. Боркунова [48], В.Н. Дегтярева [49], В.Т. Пазенко [50], В.Н. Коржова [51], А.К. Друсейка [52], С.И. Бриля [53], В.П. Чивиленко [54], Ю.В. Алешина [55], И.З. Уманцева [56], Ю.В. Поспелова [57], П.Д. Смирнова [58], Е.И. Верболос [59].

В 2015 году опубликована монография [60], посвященная проблемам разработки современного оборудования для первичной обработки рыбы в виде мехатронного комплекса, построенного по модульному принципу и обладающего структурной гибкостью.

За рубежом также выполнен ряд работ по теории резания рыбы и других пищевых материалов. Экспериментальному исследованию процесса резания рыбного сырья посвящены работы А. Довгялло [61], который рассмотрел силы вредных и полезных сопротивлений, проанализировал влияние режимных параметров процесса на качество готовых продуктов из карпа, окуня, леща, плотвы, а также разработал ряд инновационных конструкций машин для обработки промысловых видов рыб.

М. Boisly, S. Schuldt, M.G. Kaestner, Y. Schneider, H. Rohm, G. Arnold, J. Kowalewski [62] исследовали резание мясных продуктов, установили эмпирические зависимости между силами сопротивлений при разрушении волокнистого материала и скоростью движения ножа, проанализировали влияние угла заточки лезвия на параметры указанного процесса. Т. Atkins [63] провел подробное теоретико-экспериментальное изучение процессов резания различных пищевых материалов, исследовал оптимальные углы заточки режущих органов, обобщив ценные результаты в крупной монографии по тематике резания пищевых продуктов. А. Spagnoli, M. Terzano, R. Brighenti, F. Artoni, P. Stahle [64] определяли закономерности процесса резания вязкоупругих материалов, провели сравнительный анализ усилий резания в зависимости от режимных параметров, а также проанализировали силы трения на гранях режущих органов.

В своем исследовании К.-R. Deibel, S. Lämmlein, K. Wegener [65] разработали модели для расчета усилий скользящего резания тонких образцов материала. В.С. Ogunsina, А.И. Bamgboye [66] изучали силы разрушения при обработке растительных пищевых продуктов. J. Sadowska, T. Jeliński, W. Błaszczak, S. Копорка, J. Fornal, W. Rybiński [67] анализировали влияние структурных свойств растительного сырья на силы сопротивлений при обработке. В работах S.M. Goh, M.N. Charalambides, J.G. Williams [68] приводятся результаты исследований по резанию струнными режущими органами.

Наряду с этим, процессу резания органических материалов посвящена обстоятельная работа E. Vandenberghe, M.N. Charalambides, I.K. Mohammed, B. D. Ketelaere, J.D. Baerdemaeker, J. Claes [69]. Авторы В. S. Sridhar, K. Sommer [70] исследовали методом конечных элементов процессы разрушения вязкоупругих продуктов с различной консистенцией. В.Л. Tai и В. Takabi [71], М. Paganì и U. Perego [72] предложили модели резания вязкоупругих материалов и провели численные эксперименты на основе метода конечных элементов. Н.Ж. Holl, М. Meindlhumer, V. Simader, D. Schnurer, А. Brandl в работе [73] изложили результаты по вибрационному резанию материалов с различными структурно-реологическими свойствами.

В коллективной работе W. Xu, J. Wang, Y. Deng и соавторов [74] приводится объемный и обстоятельный обзор работ зарубежных авторов в области гидрорезания пищевых продуктов. Установлено, что на качество поверхности среза рыбного сырья, подвергаемого гидрорезанию, влияют такие факторы, как давление и расход воды, скорость истечения струи, форма и диаметр сопла, расстояние между соплами, угол наклона сопла, количество проходов режущего органа и температура

рыбы. Давление подаваемой воды считается наиболее важным параметром, определяющим качество гидрорезания. Излагаются оригинальные результаты, полученные R. Carreno-Oleja с соавторами, которые провели исследования по гидроабразивному резанию пищевых материалов. При этом в качестве абразива применялись частицы льда, соли, сахара и крахмала. Определена взаимосвязь между качеством поверхности среза и режимными параметрами процесса: скоростью перемещения гидравлического сопла, размерами частиц и температурой продукта.

В работе [74] рассматриваются также методы снижения сил трения при резании рыбных продуктов, предложенные исследователями J.P. Chu, W. Diyatmika и соавторами. Ими были испытаны три типа лезвия с различными углами скольжения и покрытиями: полированные лезвия (угол трения $31,6^\circ$), лезвия с титановым покрытием ($20,3^\circ$), а также лезвия с покрытием Z-TFMG (тонкопленочное стеклометаллическое покрытие на основе циркония) ($16,2^\circ$). Результаты показали, что за счет нанесения титанового покрытия сила трения по сравнению с исходным полированным лезвием без покрытия составляет 80%, а образцы с покрытием Z-TFMG обеспечивают снижение сил трения до 51% от исходного.

В [74] отмечается заметный прогресс, достигнутый в теоретических вопросах применения систем технического зрения при механической обработке рыбы. В частности, указано, что A. Jain и соавторы разработали систему машинного зрения, которую установили в машину для обезглавливания рыбы. Упомянутые исследователи интегрировали данные с ПЗС-видеокамер, оптических и ультразвуковых датчиков с целью выявления положения приголовной кости и соответствующим образом отрегулировать пластинчатые ножи. A.H. Sivertsen и соавторы применили ПЗС-видеокамеру для сканирования филе трески с использованием алгоритма обнаружения хребта, причем центральная линия филе может быть идентифицирована со средней точностью 1 мм. M.S. Bondø, J.R. Mathiassen и соавторы разработали систему трехмерного технического зрения на основе лазера, которая предназначена для получения координат тела рыбы с точностью до 1 мм, определения линии жабр и управления режущим органом.

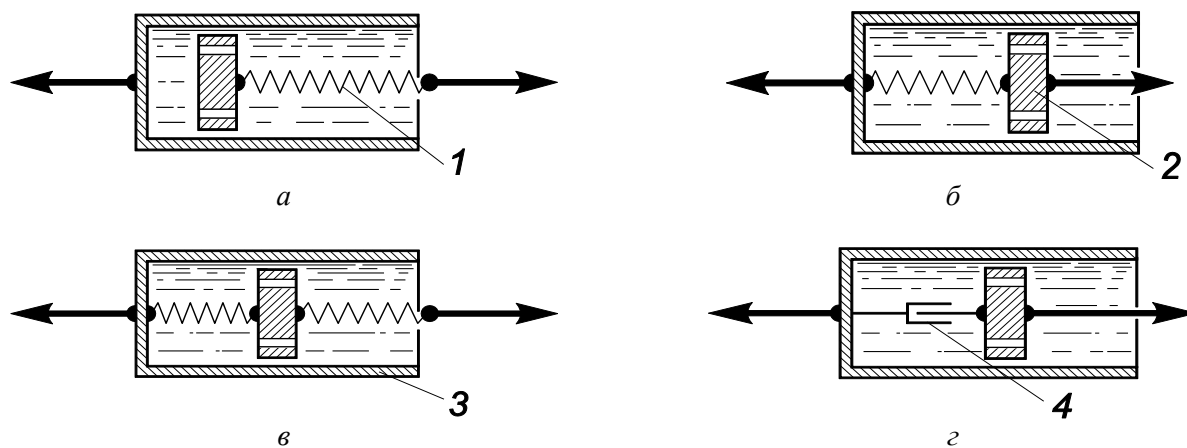
Анализ путей совершенствования теории резания пищевых материалов

Следует отметить появление новых результатов по развитию научно-теоретических основ процесса резания пищевых материалов. В работе [75] разработан комплекс математических описаний процесса резания: математические модели сил нормальных контактных давлений на грани режущих органов с различной геометрией; модели влияния режимных параметров и геометрии ножа на обратную ползучесть материала; модели сил сопротивления формы ножей с различной геометрией; модели деформационных сил трения; модели сил вредных сопротивлений, действующих на криволинейные грани лезвия; модели влияния параметров шероховатости граней режущего инструмента на силы трения; модели сил полезных сопротивлений. Плоские задачи определения вредных и полезных сил сопротивлений решены в вязкоупругой постановке. Определены основные закономерности процесса резания и раскрыто влияние на указанные силы структурно-реологических свойств мышечной ткани рыбы, скорости резания, углов заточки ножа, формы профиля инструмента, толщины лезвия, остроты режущей кромки.

В работе [75] также установлено наличие оптимальных углов заточки ножа по критериям минимальных сил вредных сопротивлений, а также оптимальной минимально допустимой остроты кромки и толщины лезвия, разработаны математические модели для расчета их значений. Аналитический метод определения усилий резания основан на инженерной теории деформирования вязкоупругого материала, раскрывающей особенности деформации и разрушения волокон материала под воздействием режущих органов с различной геометрией. Основа теории построена на рассмотрении идеального элементарного процесса (внедрения в мышечную ткань рыбы элементарного ножа) и его теоретического описания вплоть до многопараметрического воздействия и комбинирования исходного процесса с подобными. Модели подобных элементарных и усложненных процессов, сформулированные на единой методологической основе, составляют фундамент более общих комбинированных процессов, что позволяет конструировать более полную инженерную теорию резания.

Важно отметить, что в работе [75] теория резания учитывает вязкоупругие свойства рыбного сырья – постепенно затухающего увеличения деформации под действием внезапно приложенной постоянной нагрузки и, напротив, частичного восстановления своей формы после снятия этой

нагрузки. Такие тела обладают также свойствами релаксации, поскольку в волокнах с течением времени напряжение ослабевает, если деформация сохраняется постоянной. Деформация таких материалов в данный момент времени определяется не только соответствующим значением нагрузки, но и в силу последействия и теми значениями нагрузки, которые были в прошлом. Материал помнит историю своего нагружения, «наследуя» предшествующие значения деформации. Для описания законов деформирования тел с наследственными свойствами применяется аппарат интегральных уравнений Вольтерра, однако для органических материалов и биополимеров возможно использовать механические модели соединения упругих элементов (пружин), поршней и элементов сухого трения (рис. 1).



*Рис. 1. Модели вязкоупругих и вязкопластичных тел
а – релаксирующее тело (модель Максвелла);
б – тело с упругим последствием (модель Фойгта);
в – тело с наследственностью (модель стандартного вязкоупругого тела);
г – вязкопластическое тело (модель Шведова-Бингама);
1 – пружина; 2 – поршень; 3 – сосуд с вязкой жидкостью; 4 – элемент сухого трения*

С учетом теоретической и практической ценности работы [75] следует, однако, отметить, что предложенная в ней теория резания рыбы построена для режима нормального резания пластинчатым ножом с прямой кромкой. Вместе с тем, не рассмотрен процесс ротационного резания рыбы, а также не затронуты аспекты внедрения в материал рабочего органа с наложением на него вибраций. Кроме того, отсутствует постановка задачи оптимизации геометрии криволинейной фигурной режущей кромки по критерию минимальных сил сопротивлений.

Вышеизложенное показывает, что изучению особенностей процессов резания, их влияния на параметры материала и эксплуатационные свойства режущих органов посвящено много работ. Однако, несмотря на значительное количество исследований и внедрений отдельных процессов в практику, единой теории, которая вышла бы за рамки частных концепций и подходов, до настоящего времени не создано. Данное обстоятельство требует дальнейшего развития и совершенствования существующих подходов к моделированию процесса резания пищевых материалов. Требуется переход от плоской к объемной (трехмерной) задаче, возникающей при учете криволинейной фигурной формы режущей кромки.

Необходимо предпринимать попытки развития и детализации существующих математических моделей процесса резания рыбы. Теоретической базой исследования процесса резания является механика твердого деформируемого тела, обладающего свойствами вязкоупругости и пластичности. Особая сложность рассматриваемого процесса заключается в том, что при кажущейся простоте формулировок основных законов деформирования и сдвига материала небольшая неточность в постановке задачи нередко приводит к ошибочным заключениям.

Обратим внимание на тот аспект, который приводит к расхождению физической сути явления и математической модели количественного описания рассматриваемого явления на уровне построения теоретической основы. Механика твердого деформируемого тела заменяет реальное строение материала – непрерывной (континуальной) средой, обладающей идеализированными свойствами, удобными для формулирования и развития математической модели. Поле механических

напряжений имеет относительно сложную структуру, чем отличается от других силовых полей, например, электрических и магнитных.

Отмеченные трудности и канонизация допущений привели к тому, что известные теории резания материалов рассматривают формоизменение с помощью чистой деформации, а также разделение частей материала без побочных явлений, изменения структуры материала и его агрегатного состояния. Вместе с тем, математическое моделирование, последовательно включающее в рассмотрение новые параметры (геометрия режущей кромки, вращение фигурного рабочего органа, наложение на лезвие колебаний и другие), выводит теорию на более развитый уровень и формирует основу для дальнейшего повышения эффективности процесса резания пищевых материалов.

Результаты анализа современного состояния пищевой отрасли показывают, что производство порционированных продуктов является наиболее рациональной и экономически выгодной технологической схемой - вследствие практически полного использования ценного сырья в пищевых целях. Литературный обзор известных научных работ и анализ моделей технологических машин, выпускаемых ведущими проектно-конструкторскими и производственными компаниями, демонстрирует, что основным физико-механическим процессом при механической обработке сырья является резание, которое по-прежнему остается недостаточно исследованным явлением.

Экспериментальным путем многие конструкторские школы пришли к пониманию того факта, что нормальное резание пластинчатым ножом с горизонтальной кромкой является наименее эффективным с точки зрения ресурсосбережения. В связи с этим, разработчиками был проведен преимущественно эмпирический поиск и подбор более рациональной геометрии рабочих органов. Однако научно обоснованный подход к поиску эффективных форм лезвий для нарезания пищевых материалов на порции в настоящее время разработан недостаточно.

Новый концептуальный подход требуется также при проектировании технологических машин, осуществляющих ротационное резание пищевых продуктов. Данный процесс широко применяется в линиях по переработке сырья животного происхождения в связи с его высокой производительностью и хорошей управляемостью (процесс резания происходит с автоматическим регулированием положения, скорости и момента рабочего органа). Практика показывает, что расположение режущей кромки относительно продукта оказывает существенное влияние на качество поверхности среза. Вместе с тем, в известных источниках недостаточно освещен вопрос научного обоснования геометрии лезвий для ротационного резания.

Непосредственно примыкает к вышеизложенным проблемам и является отдельным научным направлением - поиск оптимальных форм режущих органов для обработки вязкоупругих и вязкопластичных материалов. Имеется ряд постановок оптимизационных задач, еще не получивших решения. В этой связи требуется расширение арсенала математических средств, применяемых для анализа геометрии лезвий с целью выявления наилучших форм по выбранным критериям.

В результате построения теории резания в вязкоупругой постановке определился основной критерий оптимизации геометрии ножа – минимальная движущая сила резания, который продиктован требованиями ресурсосбережения и обеспечения качества продукции. Таким образом, уже сформированы определенные условия для предварительной формулировки данной оптимизационной задачи на пути к ее решению вариационными методами.

Процессам вибрационной обработки различных материалов посвящено большое количество работ как теоретического, так и прикладного характера, в которых решено много важных задач. Тем не менее, многие явления, связанные с вибрационным резанием пищевых материалов, остаются неизученными. Значимость исследований по данному вопросу сложно переоценить: обширные экспериментальные работы иллюстрируют – при наложении колебаний на режущий инструмент наблюдается значительное снижение сил сопротивления и экономится энергия. Для объяснения этих явлений требуется теоретическая основа в первом приближении и экспериментальная апробация гипотезы.

Заключение

В пищевой отрасли существует значительное количество теоретических проблем, возникающих из-за запросов перерабатывающей техники сегодняшнего дня, которую требуется снабжать системами управления, цифровыми исполнительными приводами и средствами видеoeлектроники. Настоятельно требуется разработка конструкций пищевых машин на основе мехатроники, которая

решает проблемы импортозамещения, обеспечения доступности оборудования, увеличения долговечности и надежности, а также улучшения качества продукции. Необходимо расширять применение модульного принципа при проектировании технологического оборудования, повышать его производственную гибкость и энергоэффективность.

Вышеизложенное позволяет сформулировать основные направления совершенствования научного обеспечения в области пищевой техники: дальнейшее развитие научно-теоретических основ процесса резания; повышение эффективности процесса нарезки сырья; разработка модульных конструкций, устройств управления и рекомендаций по проектированию технологического оборудования, обеспечивающего ресурсосбережение и улучшение качества готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мезенова, О.Я. Гомеостаз и питание / О.Я. Мезенова – Москва: КолосС, 2010. – 318 с.
2. Агеев, О.В. Анализ методологических принципов моделирования гибких пищевых систем / О.В. Агеев, О.А. Лизоркина, Н.В. Самойлова // Вестник науки и образования Северо-Запада России [Электронный ресурс]. – 2023. – Т. 9. – № 2. – Шифр: ЭЛ № ФС77–63282. – С. 7-24. – Режим доступа: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2023/04/2023-N2-Ageev-Samojlova.pdf>.
3. Ageev O.V., Dowgiało A., Sterczyńska M., Piepiórka-Stepuk J., Samojlova N.V., Jakubowski M. Increasing the Efficiency of Food Materials Cutting during Inclined and Shear Movements of Knife. *Materials*, 2022, Vol. 15, 289.
4. Агеев, О.В. Математическое моделирование сил сопротивлений при резании рыбы дисковым ножом / О.В. Агеев, Н.В. Самойлова, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, О.А. Зубков // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2021. – № 4(50). – С. 46-58.
5. Агеев, О.В. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, Н.В. Самойлова // Известия КГТУ. – 2018. – № 49. – С. 75-91.
6. Агеев, О.В. Анализ реологических свойств мышечной ткани рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, Н.В. Самойлова // VI Международный Балтийский морской форум. Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве: материалы IV междунар. науч. конф. [Электронный ресурс] / БГАРФ, ФГБОУ ВО “КГТУ”. – Калининград: Изд-во БГАРФ, ФГБОУ ВО “КГТУ”, 2018. – Т. 6. – С. 60-64. – 1 электрон. опт. диск.
7. Дорменко, В.В. Динамические расчеты основных узлов рыбообделочных машин / В.В. Дорменко. – Москва: ВНИРО, 1959. – 64 с.
8. Романов, А.А. Режимы работы режущего инструмента рыбообделочных машин для трески: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Романов. – Москва, 1967. – 158 с.
9. Романов, А.А. Комплексная механизация производства рыбных полуфабрикатов и кулинарии / А.А. Романов. – Москва: Пищевая промышленность, 1977. – 290 с.
10. Романов, А.А. Механизация производства рыбной продукции / А.А. Романов. – Москва: Пищевая промышленность, 1974. – 200 с.
11. Гуревич, С.Г. Об одном кинематическом условии в теории резания / С.Г. Гуревич // Рыбное хозяйство. – 1965. – № 10. – С. 71-75.
12. Гуревич, С.Г. Об одном кинематическом условии в теории резания / С.Г. Гуревич // Рыбное хозяйство. – 1965. – № 10. – С. 71-75.
13. Карпов, В.И. Производительность машин-автоматов и проблемы комплексной автоматизации / В.И. Карпов. – Калининград: Изд-во КТИРПиХ, 1969. – 100 с.
14. Карпов, В.И. Силы полезных сопротивлений, возникающие при резании рыбного сырья (теория резания) / В.И. Карпов. – Калининград: Изд-во КТИРПиХ, 1971. – 66 с.
15. Карпов, В.И. Технологическое оборудование рыбообработывающих предприятий / В.И. Карпов. – Москва: Колос, 1993. – 304 с.
16. Проселков, В.Г. Исследование структурно-механических свойств и процесса измельчения мяса рыбы лезвием: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Г. Проселков. – Москва, 1969. – 18 с.
17. Даурский, А.Н. Исследование процессов резания конфетных масс: дис. ... канд. техн. наук. / А.Н. Даурский – Москва: Изд-во МТИПП, 1974. – 124 с.

18. Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – Москва: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 215 с.
19. Даурский, А.Н. Резание пищевых материалов: теория процесса, машины, интенсификация / А.Н. Даурский, Ю.А. Мачихин. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.
20. Каргина, Г.А. Исследование вибрационных электромагнитных машин для резки пищевых продуктов в предприятиях общественного питания и разработка методики их расчета: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Каргина. – Москва, 1961. – 106 с.
21. Агеев, О.В. Подход к математическому моделированию процесса вибрационного резания пищевых материалов / О.В. Агеев, Н.В. Самойлова // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2023. – № 4(58). – С. 51-68.
22. Клименко, М.Н. Исследование процесса резания мяса лезвием: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Н. Клименко. – Москва, 1966. – 20 с.
23. Хромеенков, В.М. Исследование процесса резания сухарных плит в производстве сдобных сухарей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.М. Хромеенков. – Москва, 1970. – 24 с.
24. Хромеенков, В.М. Научные основы совершенствования скользящего резания пищевых материалов и разработки высокоэффективных резальных машин и ножевых измельчителей: дис. ... докт. техн. наук / В.М. Хромеенков. – Москва, 1993. – 420 с.
25. Познышев, А.Н. Исследование способов и режимов резания мяса с учетом его структуры: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Познышев. – Москва, 1973. – 21 с.
26. Иванов, А.А. Исследование рубящего резания мясокостного сырья с целью совершенствования соответствующего оборудования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Иванов. – Москва, 1981. – 24 с.
27. Пеленко, В.В. Оптимизация формы режущей кромки лезвия ножа для волчка при измельчении охлажденного или дефростированного мясного сырья / В.В. Пеленко, В.В. Кузьмин // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2009. – № 1. – С. 95-96.
28. Алексеев, Г.В. Технологические машины и оборудование биотехнологий / Г.В. Алексеев, В.Т. Антуфьев, Ю.И. Корниенко. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2015. – 608 с.
29. Алексеев, Г.В. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования / Г.В. Алексеев, Б.А. Вороненко, М.В. Гончаров, И.И. Холявин. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2014. – 200 с.
30. Исследование ресурсосберегающего процесса нарезки хлеба / В.А. Арет, Р.В. Иминов, В.Т. Антуфьев, С.А. Громцев // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2012. – № 1. – С. 9.
31. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – Москва: Машиностроение, 1975. – 311 с.
32. Бараян, А.Г. Повышение износостойкости и долговечности ножей куттеров при самозатачивании: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Г. Бараян. – Ставрополь, 2000. – 21 с.
33. Божьев, С.В. Разработка эффективного режущего механизма для измельчения мясного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Божьев. – Москва, 2006. – 16 с.
34. Кузьмин, В.В. Совершенствование процесса резания мясного сырья на основе математического моделирования формы режущих инструментов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Кузьмин. – Санкт-Петербург, 2008. – 20 с.
35. Бренч, А.А. Повышение эффективности процесса куттерования мясного сырья на основе разработки новых конструкций ножей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Бренч. – Москва, 2004. – 20 с.
36. Искандарян, А.М. Динамические задачи расчета рабочих органов мясорезательных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.М. Искандарян. – Москва, 1985. – 20 с.
37. Вельмесова, Е.В. Повышение эффективности процесса резания путем применения инструмента с наноструктурным покрытием: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Вельмесова. – Нижний Новгород, 2012. – 24 с.
38. Вольф, Т.Т. Математическое описание реологических характеристик продуктов при механизированных процессах измельчения мяса говядины // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/1. – С. 214–218.
39. Горюшинский, В.С. Совершенствование резания корнеплодов с обоснованием параметров измельчителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.С. Горюшинский. – Пенза, 2004. – 20 с.

40. Сидорьяк, А.Н. Разработка мясорезательной машины с возвратно-поступательным движением режущего механизма: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Сидорьяк. – Москва, 2006. – 17 с.
41. Иминов, Р.В. Исследование ресурсосберегающего способа нарезки хлебобулочных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р. В. Иминов. – Санкт-Петербург, 2012. – 20 с.
42. Чертилин, Н.Г. Исследование процесса резания травяного растительного сырья и разработка специализированного оборудования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.Г. Чертилин. – Кемерово, 2005. – 20 с.
43. Пильненко, А.К. Усовершенствование машин для нарезания гастрономических продуктов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.К. Пильненко. – Донецк, 2012. – 20 с.
44. Львов, Д.Л. Совершенствование процесса скользящего резания пищевых полуфабрикатов пластинчатыми ножами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.Л. Львов. – Кемерово, 2009. – 22 с.
45. Мустафаев, К.С. Повышение эффективности работы машин дискового типа для резания пищевых материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.С. Мустафаев. – Москва, 1991. – 23 с.
46. Чупахин, В.М. Оборудование предприятий и судов рыбной промышленности / В.М. Чупахин. – Москва: Пищевая промышленность, 1969. – 491 с.
47. Терентьев, А.В. Основы комплексной механизации обработки рыбы / А.В. Терентьев. – Москва: Пищевая промышленность, 1969. – 432 с.
48. Боркунов, В.М. Экспериментальные исследования качества поверхности реза рыбы для рекомендации режимов резания рыбообделочного оборудования с разработкой методов оценки качества поверхности реза рыбы и износа ножей: дис. ... канд. техн. наук / В.М. Боркунов. – Калининград, 1975. – 194 с.
49. Дегтярев, В.Н. Механизация обработки камбаловых рыб / В.Н. Дегтярев. – Москва: Пищевая промышленность, 1976. – 102 с.
50. Пазенко, В.Т. Механизмы автоматической настройки рабочих органов рыбообделочных машин / В.Т. Пазенко. – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 65 с.
51. Коржов, В.Н. Фасовочное оборудование рыбоконсервного производства / В.Н. Коржов. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.
52. Друсейк, А.К. Исследование некоторых систем управления рыбообделочных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.К. Друсейк. – Рига, 1973. – 20 с.
53. Бриль, С.И. Загрузочные устройства рыбообрабатывающих машин / С.И. Бриль. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 184 с.
54. Чивиленко, В.П. Исследование процессов механизации разделки кильки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Чивиленко. – Москва, 1969. – 18 с.
55. Алешин, Ю.В. Основы процесса резания мороженой рыбопродукции / Ю.В. Алешин. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1998. – 92 с.
56. Уманцев, А.З. Физико-механические характеристики рыб / А.З. Уманцев. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 152 с.
57. Пospelов, Ю.В. Агрегатирование разделочных линий рыбообрабатывающих производств (на примере вибрационной и вакуумной техники): автореф. дис. ... докт. техн. наук / Ю.В. Пospelов. – Москва, 1985. – 42 с.
58. Смирнов, П.Д. Машины для гидравлической разделки рыбы / П.Д. Смирнов. – Москва: Пищевая промышленность, 1977. – 85 с.
59. Верболоз, Е.И. Научное обоснование ресурсосберегающих механических и гидродинамических процессов и аппаратов для производства рыбной продукции: дис. ... докт. техн. наук. / Е.И. Верболоз. – Санкт-Петербург, 2006. – 265 с.
60. Агеев, О.В. Совершенствование технологического оборудования для первичной обработки рыбы: опыт, проблематика, системный подход / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 261 с.
61. Dowgiallo A. Cutting force of fibrous materials // Journal of Food Engineering, 2005, no. 66, pp. 57-61.
62. Boisly M., Schuldt S., Kaestner M.G., Schneider Y., Rohm H. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids // Journal of Food Engineering, 2016, no. 191, pp. 1-9.

63. Atkins T. Prediction of sticking and sliding lengths on the rake faces of tools using cutting forces // *International Journal of Mechanical Sciences*, 2015, no. 91, pp. 33-45.
64. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M., Artoni F. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2019, no. 101, pp. 200-206.
65. Deibel K.-R., Lämmlein S., Wegener K. Model of slice-push cutting forces of stacked thin material // *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, no. 214, pp. 667-672.
66. Ogunsina B.S., Bamgboye A.I. Fracture Resistance of Cashew Nuts as Influenced by Pre-Shelling Treatment // *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:7, pp. 1452-1459.
67. Sadowska J., Jeliński T., Błaszczak W., Konopka S., Fornal J., Rybiński W. The Effect of Seed Size and Microstructure on Their Mechanical Properties and Frictional Behavior // *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:4, pp. 814-825.
68. Goh S.M., Charalambides M.N., Williams J.G. On the mechanics of wire cutting of cheese // *Engineering Fracture Mechanics*, 2005, no. 72, pp. 931-946.
69. Vandenberghe E., Charalambides M.N., Mohammed I.K., Ketelaere B.D., Baerdemaeker J.D., Claes J. Determination of a critical stress and distance criterion for crack propagation in cutting models of cheese // *Journal of Food Engineering*, 2017, no. 208, pp. 1-10.
70. Sridhar B.S., Sommer K. Finite Element Simulation of Fracture Mechanism of Fibrous Food // *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:2, pp. 444-460.
71. Takabi B., Tai B.L. A review of cutting mechanics and modeling techniques for biological materials // *Medical Engineering & Physics*, 2017, no. 45, pp. 1-14.
72. Pagani M, Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elastoplastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models // *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.
73. Holl H.J., Meindlhumer M., Simader V., Schnurer D., Brandl A. Experimental investigation of friction reduction by superimposed vibrations // *Materials Today: Proceedings*, 2018, no. 5, pp. 26615–26621.
74. Xu W., Wang J., Deng Y., Li J., Yan T., Zhao S., Yang X., Xu E., Wang W., Liu D. Advanced cutting techniques for solid food: Mechanisms, applications, modeling approaches, and future perspectives // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, vol. 21, pp. 1568-1597.
75. Агеев, О.В. Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий первичной обработки рыбы: дис. ... докт. техн. наук / О.В. Агеев. – Калининград, 2021. – 862 с.

CURRENT STATE ANALYSIS OF MATERIALS CUTTING THEORY IN FOOD ENGINEERING

¹Samojlova Natalia Vladimirovna, degree applicant of the Department of processing equipment engineering

²Ageev Oleg Viatcheslavovich, Dr. Sci. (Engin.), Professor of the Department of processing equipment engineering

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹oleg.ageev@klgtu.ru

The necessity of the analysis of the current status of theoretical and technical assurance in food engineering is shown. The purpose of the paper is to conduct an analytical review of known scientific works on the theory of food materials cutting and to determine the ways of its further improvement. The main domestic and foreign scientific works devoted to the processes of cutting animal and plant raw materials are considered and summarized. Based on the analysis, the advantages and disadvantages of the most relevant theoretical achievements are determined. The ways of improving theoretical approaches to the description of the processes of mechanical processing of food raw materials are proposed. The main directions of further development of the scientific foundations of food processing equipment are formulated.

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ 3D-ОБОРУДОВАНИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Соколова Ирина Алексеевна, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: iasokolova@mail.ru

Все более широко используются аддитивные технологии в машиностроительном производстве. Особенно целесообразно их применение в литейном производстве при внедрении новой продукции. Опыт эксплуатации сравнительно нового оборудования в машиностроительном производстве требует обобщения и анализа для производительной и безаварийной работы оборудования и комфортного труда специалистов.

В настоящее время российские машиностроительные предприятия, автомобильные и авиастроительные компании западных стран используют в опытном производстве и размещают на своих площадях десятки 3-D - принтеров и сопутствующее оборудование. Некоторые промышленные центры используют 3-D - принтеры в единичном и, даже, в серийном производстве, комплексно оснащая их, так как в рамках одного предприятия часто выпускается продукция огромной номенклатуры из различных материалов. При выпуске небольших партий разной продукции на предприятии обычно используется универсальное оборудование.

Применение аддитивных технологий AF (Add Fabrication) послойного изготовления продукции машиностроения, наряду с использованием традиционных технологий удаления материала с заготовки, даёт возможность сократить время выпуска продукции, а также сделать детали, которые невозможно изготовить традиционными способами. Аддитивные технологии и быстрое прототипирование RP-технологии (Rapid Prototyping), которое собственно является методом послойного синтеза, сокращают цикл внедрения новых моделей машин, так как позволяют быстро спроектировать, напечатать, испытать и оптимизировать конструкцию.

Аддитивные технологии, являясь цифровыми технологиями, включают цифровое описание изделия - САФ-модель (computer-aided design), т. е. его трехмерную объемную компьютерную модель, которая используется на протяжении всех этапов производственного процесса от зарождения идеи нового изделия до её реализации. Каждая технологическая операция также выполняется в цифровом виде в системе автоматизированного конструирования и проектирования - САФ\САМ\САЕ (Computer-Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer-Aided Engineering), что способствует реальному переходу к «безбумажным» технологиям и, в конечном счёте, к снижению себестоимости выпуска продукции [1, 3, 4].

В опытном производстве при постоянной коррекции технологической оснастки, использование AF – технологий ведёт к сокращению времени на создание новой продукции и быстрому её внедрению в серийное производство.

Аддитивные технологии нашли широкое применение в литейном производстве, так как, во-первых, позволяют использовать различные полимерные материалы для изготовления моделей, оснастки и, во-вторых, имеют подобное оборудование, аналогичные приёмы его обслуживания, операции технологического процесса и похожую оснастку. Полученные формы и модели для вакуумного формования сокращают время изготовления опытных образцов в десятки раз. Отпадает необходимость в изготовлении литейной формы для «выращивании» песчаных форм, но с потерей точности размеров. Формы для литья крупных и сложных деталей, например, блока цилиндров, выполняются фрагментами, а затем собирается в опоке [1 - 4].

Срыв сроков внедрения новой продукции часто происходит из-за долгих согласований требований конструктора и возможностей технолога. Центры Аддитивных Технологий именуется «Конструкторско-технологическими», что подчеркивает единство усилий конструктора и технолога для достижения максимального результата.

Таким образом, ускоренное производство отливок посредством AF-технологий представляет собой изготовление литейных форм и линейной оснастки за счёт таких процессов фиксации слоев модельного материала как спекание, сплавление, склеивание, полимеризация и др. [1, 3].

Полистирольные модели для крупных отливок простой формы и свободных размеров изготавливаются по технологии послойного спекания лазером порошка. (SLS - Selective Laser Sintering) В атмосфере инертного газа специальным роликом порошок, состоящий из гранул диаметром от 50 до 150 мкм, выкладывается на рабочую платформу. Следствием воздействия лазерного луча на порошок полистирола является его спекание. После окончания процесса получается готовая модель детали, находящаяся в массиве неспечённого порошка [1].

В SLS – технологии полистирольная модель - «выжигается», в отличие от технологии литья по выплавляемым моделям, где модель «выплавляется». Однако в обоих случаях применяются те же формовочные материалы, то же вспомогательное оборудование.

Для удобства формовки и совмещения модели с литниковой системой, для упрочнения модели применяют процесс инфильтрации, заключающийся в нагреве модели до 80°C и её пропитывании при этой температуре составом на восковой основе, что требует дополнительного оборудования.

К недостатком данной технологии можно отнести неравномерное распределение тепла по сечению спечённого порошка, что ведёт к температурным деформациям модели – короблению.

Машины, выпускаемые фирмами 3D Systems и EOS, работающие по SLS – технологии, предназначены для выполнения моделей размерами до 550x550x750 мм [1]. Рынок аддитивного производства продолжает расти и в России. Качество отечественных 3D-принтеров улучшается, что позволяет им конкурировать с зарубежными аналогами. В 2024 году производители предложили модели для 3D-печати полиамидом, обеспечивающие доступность, высокую скорость печати, хорошее качество поверхности. TPM3D S480, Nexa3D QLS 820 и другие модели являются высокопроизводительными и надежными принтерами, использующими SLS – технологию, для создания сложных изделий, имеющие встроенную систему охлаждения и возможность автоматизации и интеграции в производственные линии, обеспечивающие равномерное распределение материала. Принтер Nexa3D QLS 820 использует различные термопластичные материалы, включая высокотемпературные и наполненные. Значительные размеры и большой вес принтеров требуют достаточного пространства и специального помещения для установки, а необходимость в регулярном их техническом обслуживании и настройке - в соответствующей инфраструктуре. При размещении учитывается то, что в производственных условиях принтеры могут быть шумными. Так как при выжигании полистирольных SLS - моделей выделяются горючие газы, необходима их нейтрализация. Обязательным условием является размещение печей для выжигания полистирола на участке. Частично материал выгорает с образованием золы в самой форме, что может привести к её засорению.

При использовании SLS-технологии точность полученных моделей и в дальнейшем деталей не может быть высокой, из-за температурной деформации материала. Широко используют для технологии прототипирования полиамид. Для нивелирования температурных деформаций модель делают полой или с минимально возможной толщиной стенок. Жёсткость и твёрдость модели обеспечиваются заполнением её эпоксидной смолой.

В последнее время растёт популярность на предприятиях машиностроения 3D - печати металла с использованием технологии прямого лазерного спекания (SLM - Selective Laser Melting), так как позволяет создавать изделия с высокой точностью и плотностью. В 2024 году на российском рынке представлены модели, отличающиеся повышенной производительностью и стабильностью печати. Выделяются модели с улучшенной системой управления лазером и оптимизированной камерой печати, что обеспечивает максимальную точность каждого изделия. Существует возможность использования различных металлических порошков. 3D-принтеры оснащены системами автоматического контроля качества, что сокращает время на доводку и окончательную обработку.

3DLam Mid - российский 3D-принтер для печати металлом по технологии - SLM, обеспечивает высокую точность и производительность изготовления изделий повышенного качества из нержавеющей стали, кобальт-хромовых сплавов, титана и других материалов. Особенностью принтера является, снижающая затраты на материалы, система рециркуляции порошка - возможность автоматического сбора и просеивания для повторного использования. Лазер с воздушным или водяным охлаждением обеспечивает стабильную работу и предотвращает перегрев оборудования. Принтер занимает значительное пространство, так как имеет большой вес и солидные габариты, что

требует специального помещения. При размещении большого числа принтеров в цехе необходимо учитывать шум во время работы. Управление ими через Интернет позволяет рабочее место инженера вынести в более комфортное место.

Китайский 3D - принтер HBD 350 является высокопроизводительным, высокоточным универсальным промышленным 3D - принтером, использующим технологию - SLM для печати металлом, обеспечивающим выполнение производственных процессов с повышенной скоростью. За счёт работы двумя лазерными головками сокращается время на изготовление деталей. Принтер весит 3000 кг и занимает значительное пространство, что требует специального помещения для установки и эксплуатации. Легкое перемещение принтера по помещению обеспечивается наличием роликов в основании.

Проблемой вышеназванных технологий, частично решаемой системой охлаждения, является температурная деформация материала. Применение технологии послойного отверждения светочувствительных смол в определённых точках по заданной программе лазером с помощью ультрафиолетовой лампы, или посредством луча видимого света, или другого способа засветки, уменьшает деформацию. Технология лазерной стереолитография (SLA - Stereolithography Laser Apparatus) заключается в послойной «мгновенной» засветке и отверждении слоя фотополимерных композиций вспышкой ультрафиолетовой лампы. Принтеры, работающие по технологии - SLA, используют ультрафиолетовый (УФ) лазер для точечного отверждения смолы, слой за слоем, что позволяет изготовить изделия с гладкой поверхностью и сложной геометрией, что недоступно для других типов 3D - печати. Фотополимерная жидкая смола под воздействием (УФ) излучения затвердевает, преобразуясь в полимер с приличными значениями прочности. Большой выбор фотополимеров с различными свойствами позволяет использовать SLA - печать для решения широкого спектра промышленных задач.

К недостаткам технологии относится дороговизна расходных материалов, а смола требует специального обращения и утилизации, что должно учитываться при выборе вспомогательного оборудования.

Технология цифровой обработки светом (DLP - Digital Light Procession) заключается в отверждении фотополимерной смолы светом проектора с ультрафиолетовым диапазоном. В отличие от технологии – SLA, в технологии - DLP засвечивается весь поверхностный слой. Каждые пять секунд на текущее сечение модели, находящейся на платформе, через специальную систему зеркал проецируется высокой яркости свет прожектора.

Принтеры, выпускаемые фирмой Envisiontec и работающие по технологии – DLP, позволяют выполнять изделия со сравнительно точными размерами и требуемой шероховатостью, увеличивают прочность материала. Повысить размерную точность изделия трудно, так как в основном используется акриловые материалы, обладающие большим коэффициентом усадки при полимеризации. Машины серий Extrim и EXEDE используются в серийном производстве для изготовления мастер-моделей, моделей для вакуум-формовки, выжигаемых моделей из различных материалов. Непрерывное движение платформы вертикально вниз с малой скоростью приводит к отсутствию переходной «ступеньки» на модели. Сменные линзы оптической системы регулируют эффективную рабочую зону. Скорость построения по высоте модели достигает 25 мм в час. Толщина слоя построения равняется 0,05 мм.

Технология 3D - печати LCD (Liquid-crystal display), аналогично технологии DLP, использует источник света для засветки сразу целого слоя смолы, но применяются маскированные жидкокристаллические панели для фильтрации света, что позволяет определить заранее области отверждения смолы.

Сегодня одной из популярных и доступных технологий 3D - печати, нашедшей самое широкое применение в промышленном производстве, является метод послойного наплавления (FDM - Fused Deposition Modeling), который позволяет создавать трехмерные объекты путем послойного наплавления материала. Пластиковая термопластичная нить (филамент), перемещаемая вдоль заданных координат, проходя через сопло принтера и экструдер, расплавляется, наплавляется на подогреваемую платформу или уже сформированные нижние слои, создавая объект слой за слоем. Высота слоя и точность печати могут меняться в зависимости от свойств готового изделия.

Принтеры, работающие по FDM - технологии, известные как FFF (Fused Filament Fabrication), являются наиболее распространенными среди профессиональных 3D-принтеров. В настоящее время применение FDM 3D-принтеров в производстве позволяет снизить стоимость прототипов и мелкосерийных изделий, за счёт использования доступных расходных материалов и сокращения времени изготовления. Технология - FDM способствует гибкости процесса проектирования, так как даёт возможность рассмотреть различные варианты без дополнительных финансовых и временных

вложений при проектировании новых видов продукции. Скорость печати в FDM - технологии позволяет сократить время изготовления и может изменяться в зависимости от заданных параметров и сложности изделия. Кроме традиционных материалов в FDM - печати можно использовать как нити с добавлением дерева, металла, так и гибкие TPU нити. Однако, применение некоторых материалов требует специфических условий печати - подогреваемой рабочей платформы или закрытого корпуса для поддержания определенной температуры.

Промышленный 3D - принтер Total Z Anyform 450-PRO, работающий по FDM - технологии печати, предназначенный для создания сложных детализированных и точных изделий с минимальной толщиной слоя объектов, делают его подходящим для промышленных предприятий. Высокая до 300 мм/с скорость печати и установка второго экструдера для работы двумя материалами одновременно увеличивают производительность. Прочный сварной каркас и рабочая камера обеспечивают надежную и стабильную работу на протяжении длительного времени. Принтер требует достаточного места для его установки на площади цеха. Из-за особенности работы необходимо обеспечить шумозащиту.

3D - принтер Белорусского производства Z-Bolt Q400 представляет собой высококачественное промышленное оборудование, предназначенные для создания сложных и детализированных объектов по FDM - технологии из различных материалов. Высокая производительность до 90 см³/ч, точность при минимальной толщине слоя от 0,01 мм и возможность работы с высокотемпературными пластиками делают его отличным выбором для промышленных предприятий. Закрытая, нагреваемая до 100°C, рабочая камера улучшает адгезию и качество печати. Интуитивное управление принтером через веб-интерфейс, доступно с любого устройства с браузером. Принтер занимает значительное пространство, что требует достаточного места для установки на площади цеха. При его эксплуатации необходимо учитывать чувствительность принтера к условиям окружающей среды. Влажность и температура в помещении требуют тщательного контроля. Принтеры с FDM - технологией функциональны и надёжны, чем обеспечивают значительное улучшение производственных процессов и сокращение времени на изготовление изделий.

При изготовлении восковых синтез-моделей на 3D-принтерах по MJM-технологии (Multi Jet Modeling - многоструйного моделирования) используется модельный состав светочувствительной смолы, состоящей из фотополимера на акриловой основе и литейного воска. Порошок наносится слой за слоем и распределяется по рабочей области. Связующий агент, поступающий одновременно через многоструйные головки XY на поверхность слоя порошка в точных координатах, определенных цифровой моделью детали. От тепла, генерируемого инфракрасным излучателем, песчинки склеиваются. Работающие по MJM-технологии принтеры выполняют восковые модели для точного литья металлов в оболочковые и гипсо-керамические формы. Технология позволяет значительно быстрее печатать объекты с более высоким качеством поверхности, наносить слои для модификации механических и цветовых свойств из PA12, распространенных сортов нейлона, эластомеров, что расширяет возможности производства.

Заготовки, получаемые Spray forming - технологией расплавления металла в плавильной камере и распыления его потоком инертного газа через специальное сопло на подложку, обладают хорошей однородностью микро- и макроструктуры материала. Микропоры, появляющиеся в структуре материала из-за неплотного спекания частиц при кристаллизации, являются результатом захвата молекулами газа при атомизации и осаждения частичек металла. Пористость устраняют ковкой или горячим изостатическим прессованием с последующей прокаткой.

С помощью Spray forming - технологии возможно производство биметаллических композиций, с переменными по сечению физико-химическими свойствами, путём нанесения различных материалов послойно посредством распылительных сопел. Используется Spray forming - технология в процессах получения технологической и инструментальной оснастки, пресс-форм. Обработку посадочных поверхностей в размер выполняют механической обработкой.

В процессе Spray forming - технологии металл плавится в тигле плавильной машины в инертной атмосфере и под давлением и передаётся к распылительному соплу, где с помощью струи азота происходит мелкодисперсное дробление жидкого металла, быстрое отверждение и спекание горячих частиц. Металл наносится на поверхность равномерно за счёт перемещения и поворота в пространстве рабочей камеры платформы с моделью. После остывания модель извлекается, проводятся соответствующая механическая и термическая обработка.

Spray forming – технология участвует в создании новых конструкционных наноструктурных материалов. После их интенсивной пластической деформации (ИПД) и равноканального углового прессования (РКУП) в структуре наноструктурных материалов образуется много зерен малого размера с большим количеством границ, что обеспечивают хорошие физические и механические свойства. После ИПД наноструктурированные материалы имеют более высокую прочность и пластичность, чем материалы после просто пластической деформации. Отрицательными аспектами Spray forming - технологии являются значительные потери на осаждение металла и сложность управления процессом [1].

В помещениях машиностроительного производства при применении АF-технологий устанавливаются атомайзеры - оборудование для производства расходных материалов для выращивания деталей, их распыливания и получения различных порошков. Атомайзеры состоят из двух камер: одна – плавильная, где в условиях инертной среды или вакуума расплавляется металл; вторая – распылительная, в которой струя расплавленного металла из плавильной камеры распыляется на мелкие капли с помощью высокоскоростного потока аргона, водяного пара или воздуха. Атомайзеры позволяют получить металл в виде порошка, в слитках для получения Spray forming- заготовки, обеспечения порошками АF-машины.

В линейке оборудования выпускаемого компанией Atomising Systems Ltd (Великобритания) имеются атомайзеры производительностью до 5 кг порошка в день, и промышленные установки выпускающие более 5 т/день из металлических и неметаллических материалов для распыления водой, инертным газом. Плавильно-распылительная машина Hermiga 100/10 VI, предназначенная для лабораторно-исследовательских работ, представляет собой атомайзер с донным сливом и с аргоновым распылителем для получения порошков легированных сталей, титановых сплавов и заготовок [1, 3]. Для размещения атомайзеров на производственных площадях для бесперебойной работы большого числа 3D - принтеров в серийности производстве должно быть предусмотрено специальное помещение около литейных цехов и участков.

Таким образом, технологии 3D-печати показали эффективность их применения на производстве при изготовлении более качественных, не требующих значительного времени на изготовление, изделий. Геометрически сложные детали и компоненты, которые невозможно или нерентабельно выполнить традиционными технологиями, реализуются АF-технологиями. 3D-печать расширяет возможности по управлению физико-механическими свойствами компонентов, т. е. создание целых систем путём смешивания различных исходных материалов. Аддитивные технологии способствуют сокращению «теплого» загрязнения, эмиссии парниковых газов, снижению энергетических затрат при создании разнообразных видов продукции, тогда как в машиностроительном производстве широко используются литейные, сварочные, гальванические, лакокрасочные технологии и металлообработка, которые вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды и являются повышенным источником выбросов CO₂, парниковых газов. Несмотря на положительные стороны по отношению к окружающей среде, работа на 3D-принтере оказывает негативное влияние на человека. Опасные вредные испарения пластика, высокая температура, шум, вибрация множатся пропорционально увеличению количества оборудования. Появляется понимание, что дальше надо совершенствовать как само оборудование, так и места его дислокации.

При наличии на предприятии хотя бы одного 3D-принтера с сопутствующим основным и вспомогательным оборудованием (компьютер, сканер, печи, металлорежущие станки, верстаки и т. д.), местами для складирования материалов необходимо соблюдать ряд требований техники безопасности и условий размещения оборудования.

Первым условием размещения оборудования является отдельное помещение, чтобы оградить от воздействия вредными выбросами и пластиковой пылью. Персонал должен быть изолирован от техники как минимум листами фанеры, укрепленными на каркасе из бруса, чтобы можно было работать на компьютере (ПК) или заниматься окончательной сборкой изделий. Шум, вибрация, запахи от работы оборудования, различные мелкие частицы, препятствуют безопасной и производительной работе. В воздухе рабочей зоны может летать огромное количество различных вредных частиц, которые оседают в виде налёта.

Вторым условием является наличие места у каждого специалиста как для работы на компьютере, так и для работы с паяльником, слесарно-монтажным ручным инструментом. Сборочный стол для работы стоя должен быть прочным, чтобы выдержать установку тисков и ударные нагрузки при работе на них, должен иметь достаточные габариты, чтобы можно было дорабатывать детали различных размеров.

Третье условие - это условие экологической безопасной работы на 3-D оборудовании. Есть исследования учёных о доли пластика в воздухе рядом с принтером. Опубликован доклад о негативном влиянии ABS-пластика, часто применяемого в 3-D принтерах, на жизнеспособность клеток организма, вызывающий токсичную реакцию. Для снижения воздействия пластика на дыхательные пути нужна грамотно спроектированная и выполненная вентиляция в местах, где работают принтеры, осуществляется сушка, окраска пластика и процессы литья под давлением. Приточно-вытяжная система вентиляции может включать такие конструкции как «улитка», «зонт», приточку с подогревом воздуха зимой и вентиляционные трубы.

Четвёртое условие заключается в том, что для защиты пластика на катушке от прямых солнечных лучей должны предусматриваться солнцезащитные устройства (шторы, пленка с металлизированным покрытием, регулируемые жалюзи и др.) или соответствующее по отношению к окнам расположение.

Пятое условие касается выбора рабочего места, оборудованного персональным компьютером. Помещения для работы с ПК должны иметь искусственное, реализуемое системой общего равномерного освещения, и естественное освещение. Для отсутствия вредного для глаз мерцания, безопасной, долговечной и экономичной работы освещение целесообразно выполнить светодиодным. Электромагнитные излучения, создаваемые монитором, процессором, принтером, клавиатурой, соединительными кабелями, являются вредным фактором, влияющим на организм пользователя ПК. Превышение нормируемых значений электромагнитных излучений чаще наблюдается у устаревших моделей ЭВМ и при отсутствии (или некачественном выполнении) заземления, что необходимо учитывать при выборе и монтаже оборудования в помещении. При расчёте общей площади помещения необходимо учитывать, что на одно рабочее место с ПК с жидкокристаллическими (плазменными) мониторами должно приходиться не менее - 4,5 м².

Шестое особое требование касается снабжения электроэнергией. Для увеличения линии до нужных значений, так как в помещении устанавливается большое число единиц оборудования, предлагается провести отдельные независимые линии на каждый станок, рабочие места, освещение всего помещения, а также на отдельные точки, где есть большое потребление тока.

Выполнение седьмого условия относится к пожаробезопасности и связаны с тем, что в любой момент возможна в помещении чрезвычайная ситуация. Поэтому обязательно наличие аварийных выходов, огнетушителей и системы датчиков дымоуловителя.

Восьмое условие - наличие пневмомагистрали, которая нужна, чтобы в основном очищать поверхности от загрязнений, а также для лакокрасочных работ. Компрессор должен быть в звукоизоляционном коробе и желательно его установить на каждом рабочем месте.

Для хранения сырья и готовой продукции нужно иметь специальную зону - девятое условие. Складское помещение должно обеспечиваться определённым количеством стеллажей требуемой длины, ширины и способных выдерживать достаточный вес, соответствовать требованиям хранения опасных материалов.

Список требований для каждой технологии 3D-печати можно продолжать, так как используется специальное, металлорежущее и термическое оборудование, работа на которых имеет ряд особенностей и требует дополнительных условий размещения. С другой стороны продолжается развитие аддитивных технологий, разрабатываются новые технологии, материалы, принтеры 3D - печати становятся более совершенными.

Освоение 3D-технологий обеспечивает их встраивание в определённую технологическую цепочку, которую можно переориентировать в зависимости от конкретной задачи.

Современные принтеры способны выполнять детали машин и механизмов с лучшими механическими и другими свойствами, а приведенные технологии не только современны и высокоэффективны, но перспективны, так как позволяют генерировать новые идеи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез моделей и синтез-форм / М. А. Зленко, П. В. Забеднов – [Электронный ресурс] URL: [http:// 55a62f8d4b563AT_liteynoedelo](http://55a62f8d4b563AT_liteynoedelo).
2. Бычковский, Д. Аддитивные технологии и литейное производство. Выбираем отечественное оборудование для производства литейных форм методом послойной печати / Д. Бычковский, А. Неткачёв – [Электронный ресурс] URL: [https:// www/ddmlab.ru](https://www/ddmlab.ru)
3. Рихирев, М. Применение аддитивных технологий в промышленном литейном производстве / М. Рихирев - – [Электронный ресурс] URL: [https:// i3d.ru](https://i3d.ru)
4. Дремухин, М. А. Применение аддитивных технологий в машиностроении для изготовления формообразующей оснастки / М. А. Дремухин, В. Н. Наговицин - // Новые материалы и технологии в космической технике. – 2022. - №1 (39). – С. 21 – 26.

SPECIALTY OF PLACEMENT AND OPERATION 3D-EQUIPMENTS IN OF MACHINE-BUILDING ENGINEERING AREAS

Sokolova Irina Alekseevna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor, Department of Engineering of Technological Equipment

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail.ru: iasokolova@mail.ru

Additive technologies are increasingly being used in mechanical engineering. Their use especially appropriate in foundry production when introducing new products. Experience of operating new equipment in mechanical engineering requires analysis and generalization for productive and trouble-free operation of equipment and comfortable work of specialists.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЬТИЙСКОГО МЕХАНИЗМА

Сукиасов Владимир Георгиевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ТММиДМ

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: vladimir.sukiasov@klgtu.ru

Представлены результаты компьютерного моделирования и численного анализа напряжений в звеньях движущегося мальтийского механизма. Выполнено сопоставление двух вариантов пространственного положения механизма в составе технологической машины. Показано, что для рассматриваемых массовых характеристик учет гравитации практически не сказывается на характере и уровне напряженного состояния звеньев.

Введение

В состав ряда технологических машин многопозиционного типа, включая автоматизированные линии укладки штучных продуктов, входят мальтийские механизмы, преобразующие непрерывное вращение входного вала в дискретное вращение выходного. Вопросы кинематики и динамики мальтийских механизмов подробно освещены в [1–3] и других работах. Следствием силового взаимодействия звеньев является их деформирование, что может отражаться на точности работы механизма. Кроме того, циклический характер нагружения потенциально несет опасность усталостного разрушения подвижных звеньев и поэтому требует учета при прогнозировании долговечности механизма.

1. Постановка задачи

Объектом изучения является мальтийский механизм с внешним зацеплением. Цель состоит в численном исследовании напряженного состояния подвижных звеньев работающего механизма, в том числе с учетом пространственного положения механизма в составе технологической машины. Для этого используются средства геометрического моделирования и инженерного анализа. Непосредственному определению напряжений в звеньях предшествуют кинематический и динамический расчеты механизма. Подобным образом ставилась и решалась задача применительно к базовому кривошипно-коромысловому механизму технологической машины [4,5].

2. Материалы и методы

Созданная с помощью программного комплекса Solid Works модель представляет собой сборку, состоящую из неподвижной основы (1), ведущего диска (2) и четырехлопастного креста (3) с радиальными пазами, как показано на рис. 1. Для такого механизма рабочий угол и угол покоя составляют соответственно 90° и 270° . Взаимное положение звеньев обеспечено соответствующими сопряжениями в составе сборки. Материал всех звеньев – сталь.

Исследование движения механизма выполнено посредством модуля Solid Motion с последующей передачей результатов динамического анализа в модуль Solid Simulation. Равномерное вращение ведущего диска задано с частотой 30мин^{-1} , что соответствует одному обороту за 2 секунды. Технологическое сопротивление со стороны ведомого вала моделируется постоянным моментом встречного направления величиной $20000\text{Н}\cdot\text{мм}$ ($20\text{Н}\cdot\text{м}$), при этом момент действует только в пределах рабочего угла, как показано на диаграмме рис. 2. Помимо сугубо динамических нагрузок на звенья их деформирование обусловлено также действием сил тяжести, наличие которых учтено в расчетной схеме. Полученная в ходе 6-секундного испытания зависимость от времени угловой скорости креста представлена на рис. 3. Характер диаграммы свидетельствует о приемлемой точности расчета.

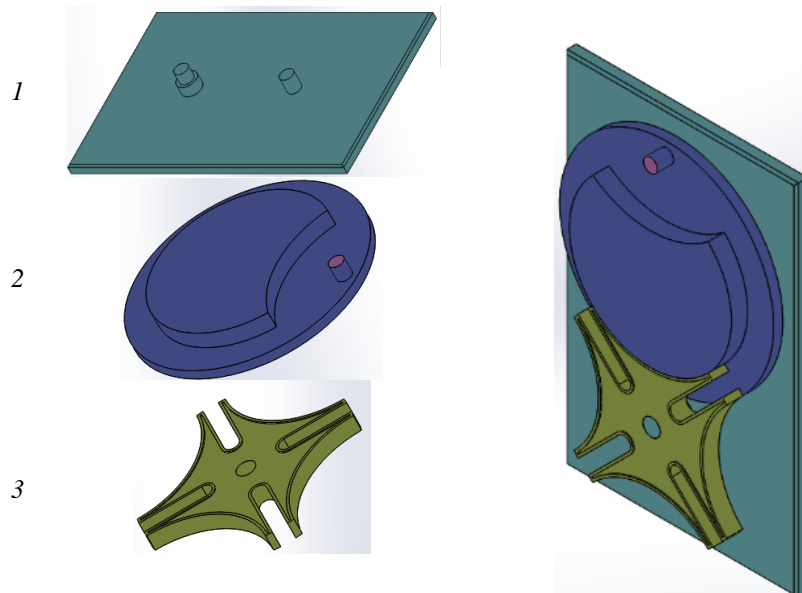


Рис. 1. Детали механизма обособленно и в составе сборки

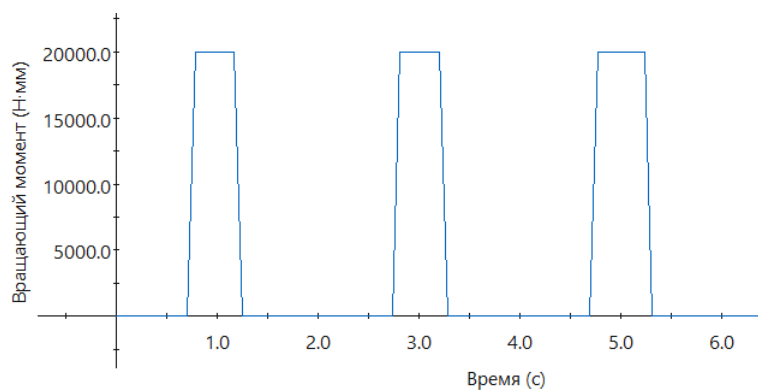


Рис. 2. Момент сопротивления на ведомом валу

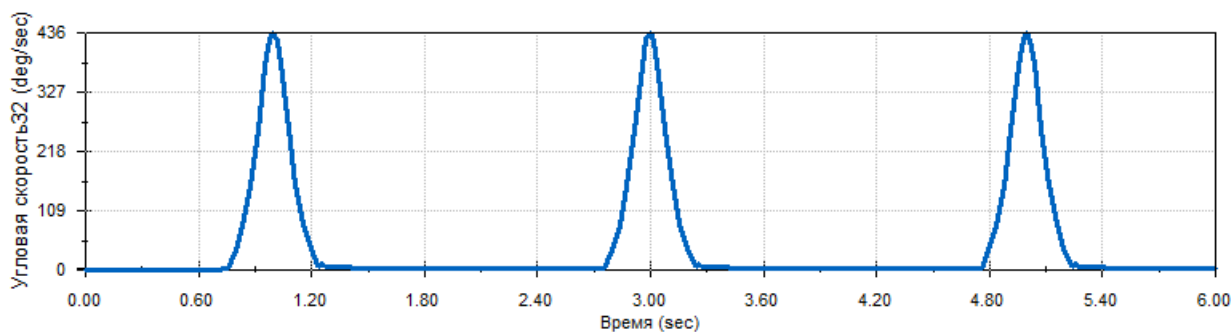


Рис. 3. Угловая скорость креста в зависимости от времени

Численное решение задачи поиска напряжений и перемещений в звеньях механизма осуществляется с использованием 10-узловых тетраэдральных элементов. Принятые параметры конечно-элементной модели: число элементов – 8790; число узлов – 15436. Подсчету подлежат суммарное перемещение и интенсивность напряжений в узлах модели. Последняя величина, называемая в зарубежных источниках эквивалентным напряжением по фон Мизесу, подсчитывается по координатным компонентам напряженного состояния в соответствии с выражением $\sigma_i = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} - \sigma_{xx}\sigma_{zz} - \sigma_{yy}\sigma_{zz} + 3(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)}$.

3. Результаты численного анализа деформирования звеньев механизма

Результаты расчетов выводятся для показанных на рис. 4 пяти позиций в пределах рабочего угла (вращение ведущего диска против часовой стрелки): а) вход пальца диска в паз креста; б) среднее положение при входе в паз; в) центральное положение креста при минимальном расстоянии пальца от оси вращения креста; г) среднее положение при выходе из паза; д) выход пальца диска из паза креста.

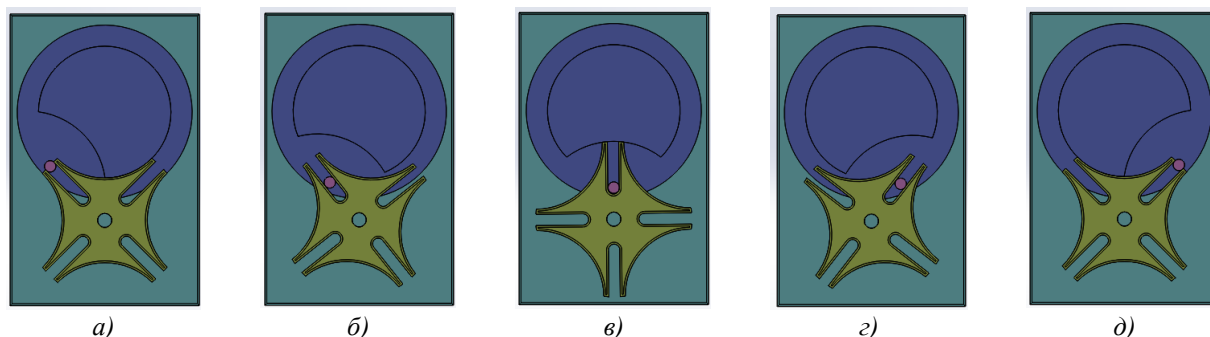


Рис. 4. Расчетные позиции звеньев механизма

Рис. 5–9 иллюстрируют напряженное состояние подвижных звеньев механизма; обозначения позиций соответствуют рис. 4.

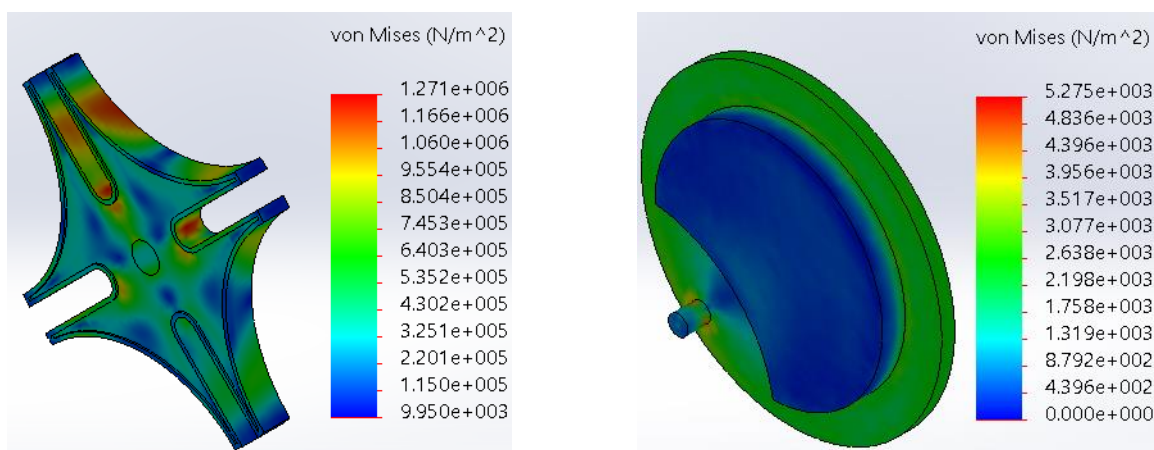


Рис. 5. Напряженное состояние звеньев, позиция а)

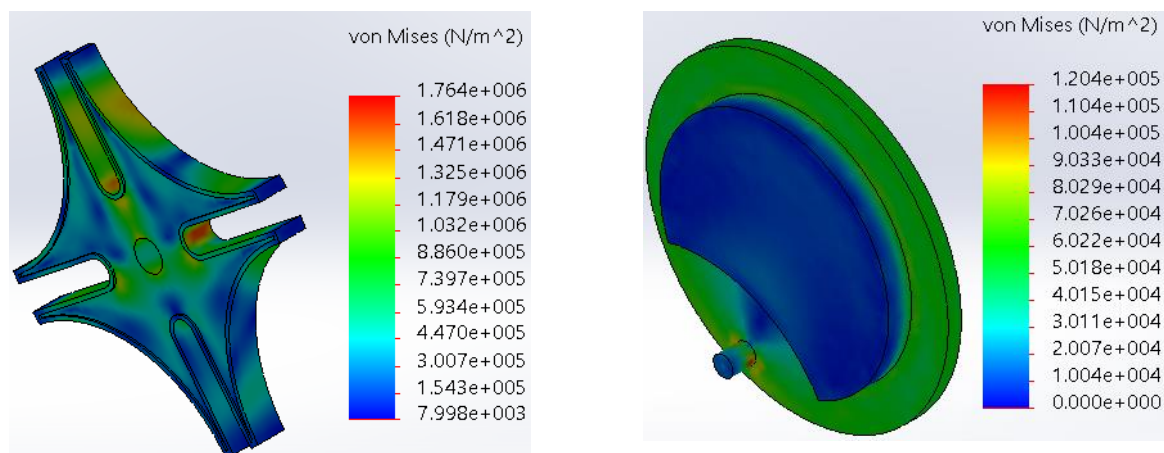


Рис. 6. Напряженное состояние звеньев, позиция б)

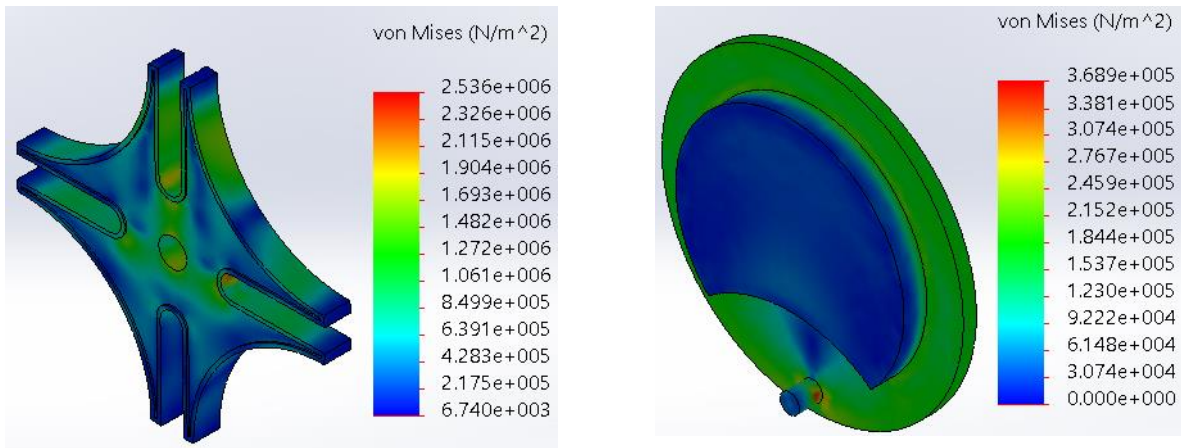


Рис. 7. Напряженное состояние звеньев, позиция в)

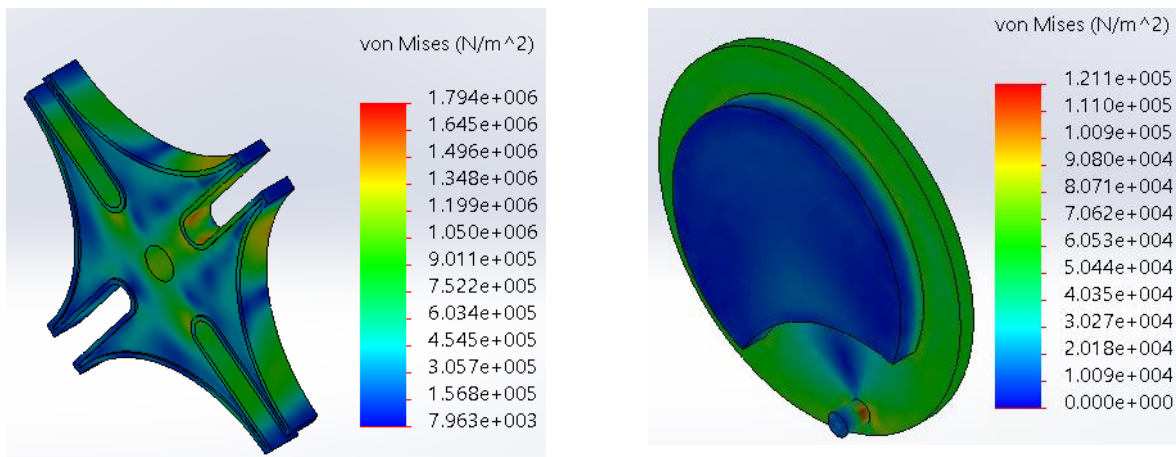


Рис. 8. Напряженное состояние звеньев, позиция г)

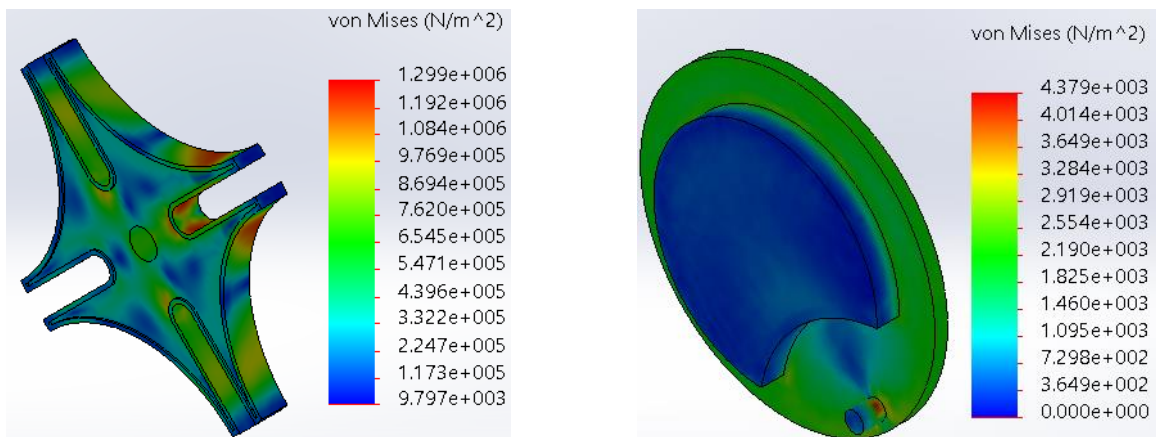


Рис. 9. Напряженное состояние звеньев, позиция д)

Как показывает анализ представленных эпюр, наиболее нагруженной является позиция в), соответствующая центральному положению креста в пределах рабочего угла. Наибольшие напряжения в кресте примерно на порядок (а в крайних позициях – на несколько порядков) выше, чем в ведущем диске.

На рис. 10, 11 показаны обусловленные деформированием суммарные перемещения подвижных звеньев в крайних позициях а) и д), когда палец диска соприкасается с периферийным участком креста, где перемещения достигают наибольших значений. При этом сам палец находится в зоне наибольших перемещений диска. Совместно эти обстоятельства могут сказаться на точности работы механизма и потребовать мер по повышению жесткости звеньев.

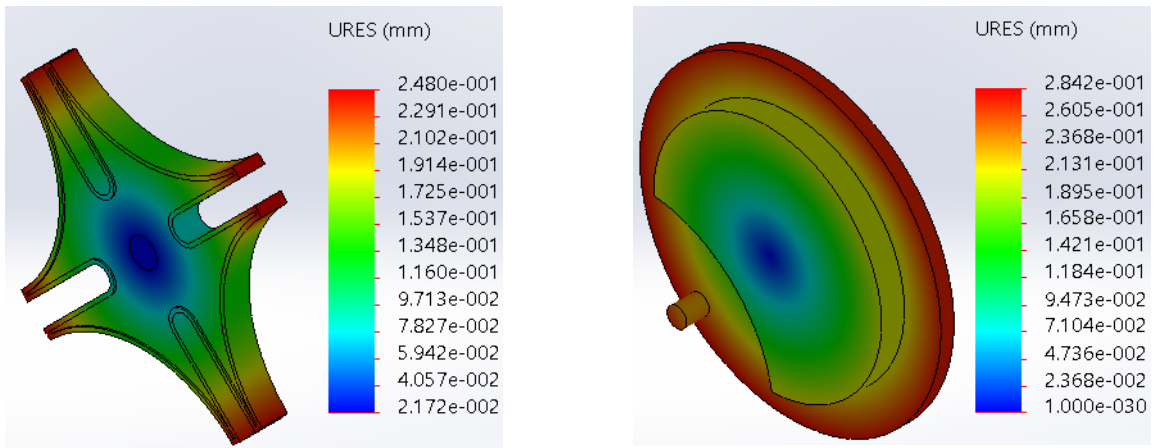


Рис. 10. Деформированное состояние звеньев, позиция а)

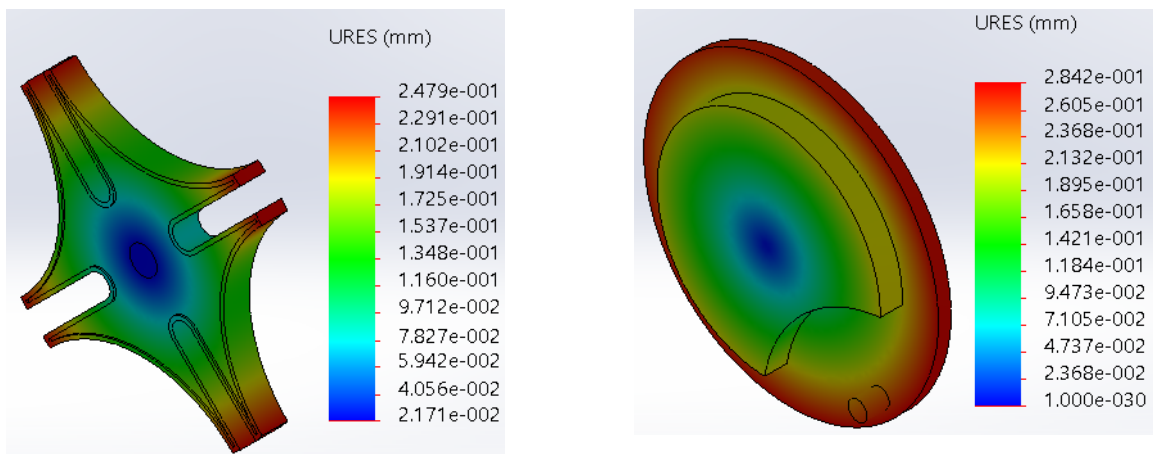


Рис. 11. Деформированное состояние звеньев, позиция д)

Приведенные выше данные соответствуют вертикальному положению мальтийского механизма, как на рис. 1. Определенный интерес представляет сопоставление двух пространственных положений механизма – вертикального и горизонтального, что дает возможность оценить влияние сил тяжести.

Ниже показаны результаты численного анализа напряженного состояния креста, как более нагруженного звена, для обозначенных на рис. 4 позиций при горизонтальном положении механизма.

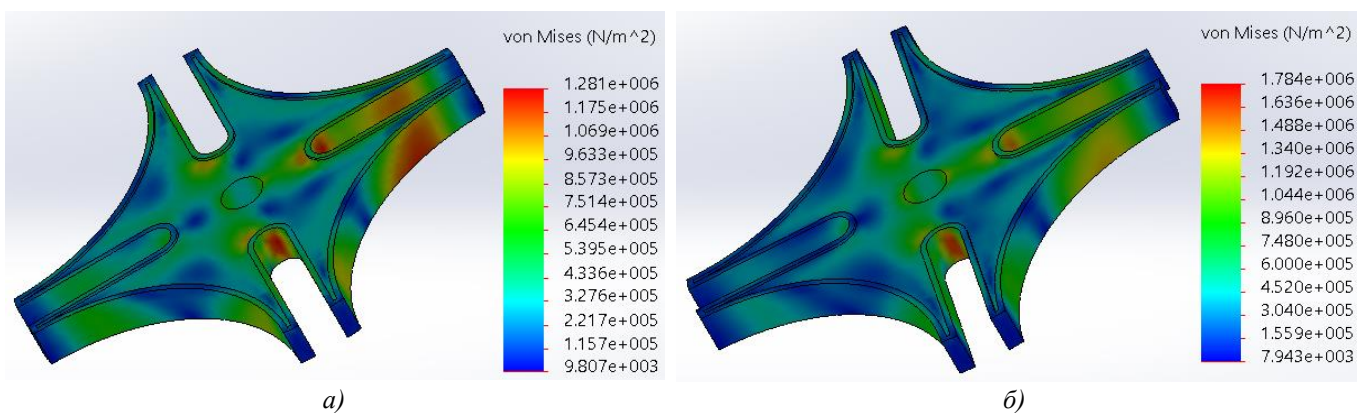


Рис. 12. Напряженное состояние креста горизонтального механизма, позиции а) и б)

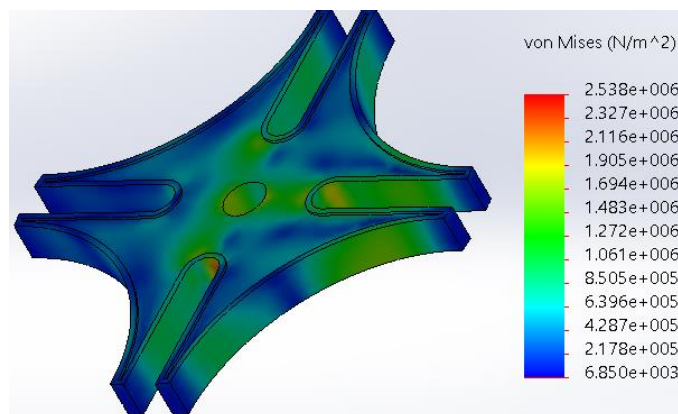


Рис. 13. Напряженное состояние креста горизонтального механизма, позиция в)

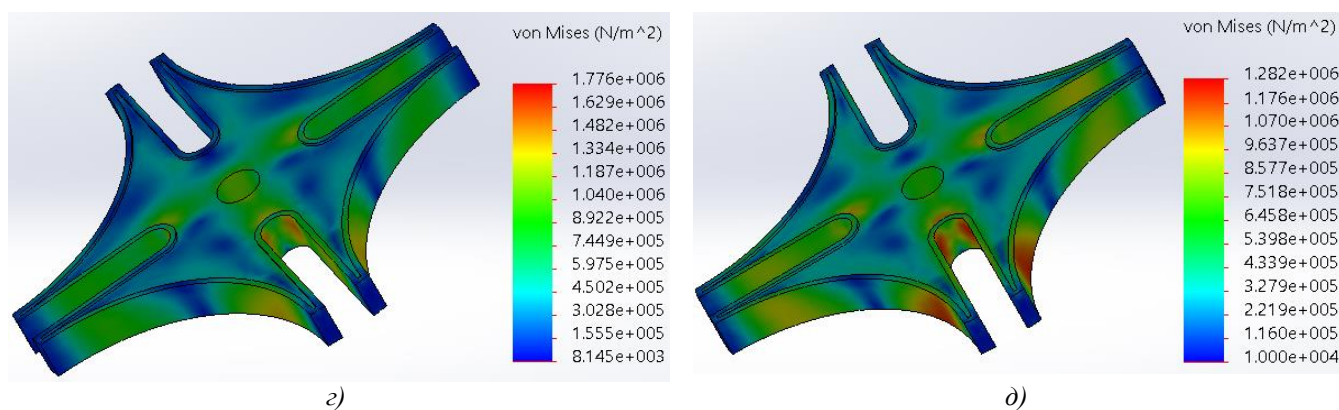


Рис. 14. Напряженное состояние креста горизонтального механизма, позиции з) и д)

Сравнение приведенных эпюр с данными рис. 5–9, полученными при вертикальном положении механизма, обнаруживает практическое сходство в распределении напряжений для соответствующих позиций креста, при этом максимальные напряжения отличаются не более, чем на 1,3%. Это дает основание считать фактор гравитации малосущественным.

В целом для принятых исходных данных уровень напряженного состояния звеньев весьма далек от предельных характеристик материалов, что гарантирует статическую прочность. Тем не менее, циклический характер напряжений означает необходимость контроля усталостной прочности, включая требование отсутствия концентраторов напряжений в конструкции звеньев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулия Н.В. Детали машин / Н.В. Гулия, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. – М.: Издательство «Лань», 2022. – 416 с.
2. Белов М.И. Теория механизмов и машин / М.И. Белов, С.В. Сорокин. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2020. – 322 с.
3. Фролов К.В. Теория механизмов и механика машин / К. В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. – М.: Высшая школа, 1998. – 493 с.
4. Сукиасов В.Г., Серeda Н.А. Динамический анализ базового механизма технологической машины // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2022. – № 66. – С. 112–126.
5. Сукиасов В.Г., Федоров С.В. Анализ напряженного состояния звеньев базового механизма технологической машины // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2023. – № 68. – С. 80–94.

THE STRESS STATE RESEARCH OF THE MALTESE MECHANISM

Sukiasov Vladimir Georgievich, Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor of the TMM and MP Department

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: vladimir.sukiasov@klgtu.ru

The computer modeling and numerical analysis results of stresses in the moving Maltese mechanism links are presented. A comparison has been made of two options for the spatial position of the mechanism as part of a technological machine. It is shown, that for the considered mass characteristics, taking gravity into account has practically no effect on the nature and level of the links stress state.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ СПУТНИКОВ

¹Хромушин Денис Игоревич, магистрант

²Николаев Иван Витальевич, магистрант

³Величко Вячеслав Вадимович, магистрант

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹denis.xromushin@mail.ru

Цель – анализ существующих и перспективных технологических процессов по изготовлению мелкоразмерных деталей двигателей спутников. Обоснованы пути повышения производительности изготовления спутников и снижения их себестоимости. Установлена необходимость перехода от универсального станочного оборудования к современным средствам технологического оснащения: станкам с системами ЧПУ, установкам 3D-печати, агрегатам селективного лазерного сплавления и др. Описаны перспективные направления по совершенствованию производства мелкоразмерных деталей двигателей спутников, обеспечивающие рост производительности труда и улучшение качества готовых изделий машиностроения.

Введение

В последние годы в стране активно развивается космическая программа, которая требует существенного роста количества и качества орбитальной техники. Известно, что спутники играют существенную роль в обеспечении национальной безопасности, мониторинге окружающей среды, а также телекоммуникациях и научных исследованиях.

В связи с этим имеется настоятельная необходимость в повышении производительности труда при изготовлении спутников, снижения их себестоимости и улучшения качества комплектующих изделий. Следует отметить, что одним из важнейших компонентов спутника является его двигательная подсистема.

К основным функциям двигателя космического аппарата относятся следующие [1-5]:

1. Выведение на орбиту. Заметим, что основную часть работы по выведению спутника на орбиту выполняет ракета-носитель. Тем не менее, двигатель спутника может использоваться для корректировки орбиты после отделения от ракеты. Это требуется для достижения точной позиции аппарата на его заданной орбите.

2. Орбитальные маневры. Нередкими являются случаи, когда в процессе эксплуатации изделия возникает необходимость изменения параметров орбиты. Это может быть вызвано различными факторами, среди которых возможно отметить следующие: изменение задач миссии, отклонение от космического мусора, а также корректировка высоты полета с целью компенсации гравитационного воздействия Земли и других небесных тел.

3. Поддержание орбитальной позиции. Это объясняется тем, что спутники, особенно геостационарные, требуют периодических коррекций параметров орбиты для поддержания стабильной позиции относительно Земли. В этом случае двигательная установка позволяет компенсировать воздействие солнечного ветра, лунной и солнечной гравитации, а также другие исключить воздействие других возмущений, которые могут вызывать нежелательный дрейф спутника.

4. Контроль ориентации. Известно, что выполнения проектных задач спутника должна поддерживаться его определенная ориентация в пространстве. С учетом этого, двигатели могут использоваться для управления ориентацией спутника, за счет чего обеспечивается точное направление бортовых антенн, камер и других инструментов на заданные объекты.

5. Деорбитация. При необходимости завершения полетного задания или в случае неустранимой неисправности аппарат может быть переведен на более низкую орбиту для последующего сгорания в слоях атмосфере или перемещен на так называемую «орбиту захоронения». Это содействует сокращению количества космического мусора и освобождению орбитального ресурса для новых спутников.

С ростом спроса на спутники возрастает и потребность отрасли в двигательных установках. Однако следует учитывать, что традиционные методы обработки не всегда соответствуют требуемой производительности и гибкости технологического процесса. В настоящее время машиностроительные предприятия работают с учетом следующих аспектов:

1. Увеличение объемов производства. Необходимо выпускать большее количество изделий в более короткие сроки без ухудшения качества.

2. Снижение себестоимости. В условиях ограниченного финансирования требуется оптимизировать затраты на производство и сокращать издержки.

3. Гибкость производства. В современных условиях все чаще необходимо оперативно перенастраивать технологическую цепочку для изготовления различных типов двигателей, что зачастую становится критически важным для удовлетворения изменяющихся требований заказчиков.

4. Тип производства – единичное или мелкосерийное. Значительная часть деталей имеет размеры менее 120x120x120 мм. Определенный перечень деталей имеет размеры менее 40 мм. Некоторые детали имеют плоские, цилиндрические или сложные поверхности.

5. Работа с малоразмерными деталями. Следует отметить, что указанные изделия являются важной частью многих производственных процессов. С учетом их значимости, работа с этими элементами связана с рядом трудностей и технологическими особенностями, которые в совокупности требуют особого подхода и тщательности при выполнении операций.

Вышеизложенные обстоятельства обуславливают следующие трудности при работе с малоразмерными деталями:

1. Высокие требования к точности изготовления: малоразмерные детали требуют высокой точности при изготовлении и сборке. Незначительные ошибки и просчеты зачастую могут привести к несоответствию заданной спецификации и снижению надежности всей двигательной подсистемы.

2. Хрупкость материалов: многие малоразмерные элементы изготавливаются из хрупких машиностроительных материалов, которые легко повреждаются при превышении уровня механических воздействий. Это дополнительно усложняет условия изготовления и монтажа изделий.

3. Сложности в проектировании: проектирование таких деталей требует учета существенного количества факторов, включая тепловые деформации, механические нагрузки и взаимодействие с другими компонентами. Это усложняет процесс разработки и увеличивает время на проектирование.

4. Трудности в производстве: изготовление малоразмерных деталей требует использования специализированного оборудования и технологий. К таким средствам относятся прецизионные металлообрабатывающие станки и установки лазерного резания. Данный аспект увеличивает стоимость производства и повышает требования к квалификации персонала.

5. Сложности монтажа и сборки узлов: малоразмерные детали сложно монтировать и интегрировать в более крупные подсистемы. Зачастую требуется использование автоматизированных систем и роботов для точной установки элементов.

6. Контроль качества: проверка качества указанных деталей требует использования сложных методов измерения и контроля, что практически всегда является трудоемким процессом.

Пути повышения производительности при производстве деталей двигательных установок

Вышеперечисленные обстоятельства позволяют сформулировать основные направления, позволяющие обеспечить рост производства двигателей спутников.

1. Внедрение современных технологий.

Предлагается использовать станки с числовым программным управлением (ЧПУ), установки 3D-печати [6], электроэрозионной обработки. Заметим также, что применение вибро- и турбогалтовки может значительно повысить точность и скорость производства. Указанные технологии позволяют автоматизировать технологические процессы, уменьшить количество брака и снизить потребность в дефицитной рабочей силе.

2. Оптимизация производственных процессов.

Проведение анализа и последующая оптимизация технологических процессов позволяют выявить малопродуктивные места и определить участки для внедрения мероприятий по улучшению качества. Внедрение принципов бережливого производства содействует сокращению вредных потерь времени и ресурсов [7].

3. Модульный подход к производству.

Известно, что переход к модульному производству позволяет быстрее адаптироваться к изменениям требований, предъявляемых к характеристикам двигателей. Этот подход включает в себя стандартизацию компонентов и использование универсальных средств технологического оснащения, которые возможно перенастраивать под разные производственные задачи.

4. Инвестиции в исследования и разработки.

Инвестирование в новые материалы и технологии может привести к созданию более эффективных и экономичных двигателей. Данное мероприятие предусматривает, среди прочего, использование композитных материалов, которые легче и прочнее традиционных, а также разработку более эффективных систем управления подачей топлива.

Пути перехода к современным технологиям

В последние годы в отрасли наблюдается переход от использования универсального станочного оборудования к более современным технологиям, таким как станки с числовым программным управлением (ЧПУ), электроэрозионные станки, установки 3D-печати и лазерные технологии [8]. Ниже рассмотрим преимущества такого перехода.

1. Станки с ЧПУ.

Указанные станки позволяют автоматизировать процесс обработки деталей, обеспечивая при этом высокую точность и повторяемость. Они способны выполнять сложные операции с минимальным вмешательством человека, что значительно сокращает вероятность ошибок. Программное управление таких станков позволяет быстро перенастраивать оборудование для изготовления различных деталей. Это особенно важно в условиях меняющегося производства мелкосерийной продукции.

2. Электроэрозионные станки.

Электроэрозионная обработка применяется для работы с труднообрабатываемыми материалами и сложными контурами. Данный метод позволяет достигать высокой точности и качества поверхности, что особенно критично для тонкостенных металлических мелкогабаритных деталей двигателей. Кроме того, применение электроэрозионных станков позволяет значительно снизить количество специализированной технологической оснастки, которая необходима в большом количестве при механической обработке. Электроэрозионные станки особенно эффективны для обработки материалов с высокой твердостью, таких как титановые и никелевые сплавы, которые часто используются в космической технике.

3. 3D-печать.

Технологии аддитивного производства открывают новые возможности при изготовлении сложных геометрических форм, которые трудно или невозможно создать традиционными методами [9, 10]. 3D-печать позволяет существенно сократить время на прототипирование и производство конечных изделий. Кроме того, данный метод снижает количество отходов материала, что делает процесс более экологичным и экономичным. Также с помощью 3D печати можно быстро производить специализированную технологическую оснастку.

4. Лазерные технологии.

Лазерные технологии находят широкое применение в резке, сварке и обработке поверхностей. Высокая концентрация энергии лазера позволяет выполнять эти операции с высокой скоростью и точностью. Лазерная обработка обеспечивает минимальное тепловое воздействие на материал, что снижает риск деформации деталей и улучшает их качество. Высокую эффективность показывает технология селективного лазерного плавления [11].

5. Виброгалтовка.

Данный метод подходит для обработки широкого спектра материалов, включая металлы, пластики и керамику. Виброгалтовка может использоваться для различных типов деталей, а также позволяет бережно обрабатывать детали, минимизируя риск повреждения или деформации. Метод хорошо подходит для обработки хрупких или тонкостенных изделий и имеет низкие эксплуатационные затраты. Возможность обработки большого количества деталей одновременно, а также легкость в настройке параметров процесса (время, интенсивность вибрации) позволяют рекомендовать данный метод при производстве двигательных установок.

6. Турбогалтовка.

Данный метод характеризуется высокой скоростью обработки и эффективностью при образовании сложных форм. Турбогалтовка обеспечивает более гладкую и однородную поверхность, что особенно важно для деталей, требующих высокого качества отделки. Метод может использоваться для обработки как мелких, так и крупных партий деталей, хорошо подходит для различных типов материалов, включая твердые металлы и сплавы. Следует отметить и снижение необходимости в ручной доводке деталей после обработки.

Преимущества модернизации традиционной производственной цепочки

К основным преимуществам модернизации можно отнести следующие:

1. Повышенная точность и качество: современные технологии обеспечивают более высокую точность изготовления деталей по сравнению с традиционными технологиями, что имеет существенное значение для формирования показателей надежности и эффективности двигателей спутников.

2. Сокращение времени производства: автоматизация и прогрессивные методы обработки позволяют значительно сократить время на изготовление деталей, ускоряя тем самым весь процесс постройки спутников.

3. Гибкость производства: возможность быстрой перенастройки оборудования под различные задачи способствует более гибким и адаптивным изменениям производственных возможностей.

4. Снижение затрат: несмотря на высокие первоначальные вложения в современное оборудование имеется последующий положительный эффект. Долгосрочные эксплуатационные расходы снижаются за счет сокращения брака, повышения производительности, уменьшения количества персонала, что в итоге приводит к снижению себестоимости производства [12, 13].

5. Экологичность: современные методы обработки, такие как 3D-печать и лазерная резка, снижают количество отходов материалов, что улучшает состояние окружающей среды.

Заключение

Для успешной реализации космической программы страны необходимо модернизация производства спутниковых двигателей. Это позволит не только удовлетворить растущий спрос на указанные аппараты, но и укрепить позиции РФ на международной арене как одного из лидеров в области космических технологий. Инвестиции в новые технологии и оптимизацию процессов станут ключевыми факторами для достижения этих целей. Переход от универсального оборудования к современным технологиям обработки, таким как станки с системами ЧПУ, установки 3D-печати, устройства селективного лазерного сплавления и другие, вносит существенный вклад в модернизацию производства мелкогабаритных деталей двигателей спутников.

Вышеизложенные мероприятия не только повышают точность и качество продукции, но и делают процесс более экономичным и экологически чистым. В условиях растущей конкуренции на рынке космических технологий такие улучшения становятся принципиально важными для успеха компаний в этой отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортаковский, А. С. Оптимальный вывод спутника на геостационарную орбиту при ограниченном количестве включений двигателя / А. С. Бортаковский, А. А. Коновалова // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2013. – № 6. – С. 97. – DOI 10.7868/S000233881306005X. – EDN REKAQR.

2. Бортаковский А.С., Пегачкова Е.А. Оптимальный переход спутника на геостационарную орбиту с учетом неэффективных затрат топлива // Тез. докл. Междунар. конф. “Управление и оптимизация неавтономных систем”. Переславль-Залесский: Изд-во “Университет города Переславля”, 2011. С. 11–13.

3. Салмин, В. В. Приближённое решение плоской задачи терминального управления геостационарным спутником с помощью двигателя малой тяги / В. В. Салмин, А. С. Четвериков // Навигация и управление движением : Материалы XVII конференции молодых ученых, Санкт-Петербург, 17–20 марта 2015 года / ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Международная общественная организация

«Академия навигации и управления движением», Научный редактор О. А. Степанов; Под общей редакцией В. Г. Пешехонова. – Санкт-Петербург: Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор", 2015. – С. 115-121. – EDN VHKZZV.

4. Кажлаев, Р. Г. Расчет параметров двигателя малого космического спутника Земли / Р. Г. Кажлаев // Наукосфера. – 2021. – № 7-1. – С. 181-184. – EDN ZIBBTG.

5. Духопельников Д.В., Ивахненко С.Г., Рязанов В.А., Шилов С.О. О возможности использования холлового двигателя на забортном воздухе для удержания космического аппарата на низкой околоземной орбите // Машиностроение и компьютерные технологии. 2016. №12.

6. Карелин, О. О. Применение композиционных материалов в авиадвигателестроении / О. О. Карелин, К. Ю. Колтырина // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. – 2015. – № 2(33). – С. 53-59. – EDN UCNVSF.

7. Маликова, Д. М. Модернизация технологических процессов на основе концепции бережливого производства / Д. М. Маликова, А. А. Урасова // Научное обозрение. – 2016. – № 12. – С. 286-290. – EDN WISRDL.

8. Зарафутдинов, Р. Д. Применение альтернативного способа изготовления деталей в отраслях машиностроения / Р. Д. Зарафутдинов, А. И. Ахмадиев // Итоги 2016 года: идеи, достижения : Сборник материалов III Региональной научно-практической конференции с всероссийским участием, Альметьевск, 25 ноября 2016 года / Под общей редакцией С.В. Юдиной. – Альметьевск: Издательство "Перо", 2016. – С. 138-141. – EDN XSEHEN.

9. Развитие технологии 3D печати с армированием непрерывным волокном / И. С. Торубаров, А. В. Дроботов, А. Л. Плотников, И. А. Гушин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2021. – № 8(255). – С. 81-86. – DOI 10.35211/1990-5297-2021-8-255-81-86. – EDN ZPIGFL.

10. Габдрашитов, Т. А. Импортозамещение с использованием 3D-печати и 3D-сканирования / Т. А. Габдрашитов, И. И. Шарипов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения : Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 58-60. – EDN NXZQHI.

11. Отработка конструктивных и технологических решений для изготовления опытных образцов внутренней оболочки камеры сгорания многофункционального жидкостного ракетного двигателя с использованием аддитивных технологий / А. Л. Артемов, В. Ю. Дядченко, А. В. Лукьяшко [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2017. – № 1(16). – С. 50-62. – EDN YTWBCV.

12. Ключникова, Н. А. Экономический потенциал предприятия (методы повышения) / Н. А. Ключникова, О. В. Ксенофонтова // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научно-практической конференции, Курск, 12 ноября 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 154-159. – EDN FXYYGU.

13. Абрютин М.С. Экономический анализ: учебное пособие /М.С.Абрютин. –М: Дело и Сервис, 2019. – 192 с.

MODERNIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MANUFACTURING SMALL-SIZED PARTS OF SATELLITE ENGINES

¹Khromushin Denis Igorevich, undergraduate student

²Nikolaev Ivan Vitalievich, undergraduate student

³Velichko Vyacheslav Vadimovich, undergraduate student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹denis.xromushin@mail.ru

The aim of the work is to analyze existing and prospective technological processes for the production of small-sized parts of space satellite engines, ensuring an increase in the production. It is necessary to switch from universal equipment to modern processing technologies such as CNC machines, 3D printing, selective laser fusion, etc., which represents a significant step forward in the production of small-sized parts of satellite engines.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

¹Цветков Александр Николаевич, магистрант

²Сенютин Юрий Владимирович, магистрант

³Горелов Вадим Александрович, магистрант

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹sanbit081993@mail.ru

Цель – анализ требований к производительности и эффективности в производстве спутниковых двигателей, модернизации оборудования и его расположения в цехах. Делается вывод о том, что модернизация производственных цехов, изменение состава и расположения оборудования, позволит оптимизировать производственные процессы и значительно сократить временные и ресурсные затраты изготовления малоразмерных деталей и узлов спутников.

Введение

Проектирование механосборочных цехов всегда играло важную роль в машиностроении. В настоящее время предприятия данной отрасли стремительно развиваются и наращивают объёмы производства, что в свою очередь, как правило, требует капитальных ремонтов существующих производственных помещений и их проектирование под новые задачи с большей эффективностью.

На сегодняшний день на территории Российской Федерации наблюдается значительный рост потребности в производстве спутников, а как следствие и двигателей для них. Растут требования к производительности производственных процессов таких двигателей, требуется модернизация существующего оборудования, закупка нового оборудования, изменение и интенсификация технологических процессов. Проведение этих работ позволит не только оптимизировать производственные процессы, но и значительно сократить время технологического процесса.

Модернизация производственных цехов

Внедрение новых технологий в производственные процессы требует пересмотра традиционных подходов к организации производственных площадей.

К основным вопросам при модернизации производственных цехов можно отнести следующие:

1. Первым шагом является детальный анализ текущих производственных процессов для выявления узких мест и не эффективных процессов. Интеграция новых технологий: внедрение ЧПУ, 3D-печати [1, 2], селективного лазерного сплавления [3] и других современных технологий требует специальных условий и нового оборудования, которое должно быть правильно интегрировано в существующие процессы. Оптимизация технологических процессов сократит время на выполнение операций и уменьшит количество простоев [5]. Изменение технологических процессов приводит к использованию новых видов оборудования. На основе анализа разрабатывается проект нового расположения оборудования. Важно учитывать не только текущие потребности, но и возможные будущие изменения в производстве. Использование компьютерных моделей и симуляций может значительно упростить этот процесс.

2. Необходимо провести анализ и изменение потоков материалов. Улучшение логистики позволит более эффективно управлять запасами материалов и комплектующих и быстрее доставлять материалы на рабочие места.

3. Повышение гибкости производства: возможность быстрой переналадки производства под разные типы продукции требует более гибкой компоновки оборудования [4]. Необходима автоматизация процессов, внедрение автоматизированных систем управления производством для повышения его эффективности [11-16]. Также рационально использовать модульный подход в комплектации оборудования. Модульные производственные системы позволяют быстро адаптироваться к

изменениям в производственном процессе. Это включает использование мобильного оборудования и универсальных станций, которые можно легко перенастроить или переместить.

4. Более эффективное использование пространства и ресурсов снижает общие затраты на производство [6, 7]. Современное оборудование при правильной эксплуатации часто требует меньше затрат на обслуживание. За счет грамотной расстановки технологического оборудования в производственных помещениях предприятия можно добиться снижения объёма незавершенной продукции, что в свою очередь скажется на снижении затрат по изготовлению изделия в целом.

5. С внедрением нового оборудования и новых технологических процессов необходимо уделять особое внимание вопросам безопасности персонала и контроля качества готовой продукции. Необходимо проведение обучения персонала по охране труда и технике безопасности, это может включать в себя техническое обучение работе с новым оборудованием и обучение новым методам организации труда.

6. Для наиболее эффективной разработки планировки производственных площадей различным службам предприятия необходимо прорабатывать и анализировать следующие аспекты мероприятий по подготовке вновь возводимого (реконструируемого) производства:

- новое технологическое оборудование, за счет расширенных технологических возможностей может потребовать изменение конструкторской документации на изготавливаемое изделие с целью обеспечения снижения трудоёмкости работ;

- корректировка существующих технологических процессов с учетом возможностей вновь приобретаемого оборудования позволит провести повторный расчет мощности механосборочного производства, что обеспечит выявление «узких» мест в организации работ непосредственно на участках, а так же позволит осуществить пересмотр типов, видов и количества используемой технологической оснастки.

- распределение работы по видам, используемому материалу, режущему инструменту и габаритным размерам изделия позволит сформировать участки, на которых оборудование будет подвергаться наименьшему количеству переналадок за отчетный период. Более того, подобная информация позволит повысить качество обеспечения таких участков средствами технологического оснащения, расходным материалом и пр., за счет прозрачности объёмов выполняемой работы.

7. Использование современных технологий производства позволяет повысить точность и скорость процесса производства, а также уменьшить вероятность ошибок и дефектов. Перед тем, как начать процесс оптимизации качества, необходимо провести анализ и определить требования к продукции со стороны потребителя. Необходимо понять, какие характеристики продукции являются наиболее важными для потребителя, чтобы сконцентрировать усилия на их достижении.

Необходимо обеспечить управление качеством продукции в процессе производства, вести контроль качества сырья и комплектующих. Необходимо использовать статистические методы контроля качества. Они позволяют выявить и устранить причины возникновения дефектов, а также определить оптимальные параметры производственных процессов. Создание и внедрение комплексной системы управления качеством на предприятии является одним из важнейших шагов в оптимизации качества продукции. Система управления качеством позволяет установить и соблюдать стандарты качества, контролировать процессы производства и анализировать потенциальные риски и возможности для улучшения качества.

Новые требования к персоналу

1. Повышение квалификации.

Современное оборудование и технологии требуют от сотрудников более высокого уровня технической грамотности. Это включает:

- Знание современных технологий: персонал должен быть обучен работе с новыми системами управления, такими как ЧПУ и автоматизированные линии.

- Навыки работы с программным обеспечением: умение работать с CAD/CAM системами, а также с программами для управления производственными процессами.

- Понимание принципов бережливого производства: знание методов оптимизации процессов, таких как 5S, Kaizen и другие.

2. Гибкость и адаптивность.

Сотрудники должны быть готовы быстро адаптироваться к изменениям в производственном процессе. Это включает в себя:

- Способность к обучению: быстрое освоение новых навыков и технологий.
 - Готовность к изменениям: умение работать в условиях постоянных изменений и адаптироваться к новым требованиям.
3. Командная работа.
- Современные производственные процессы требуют высокой степени координации между различными отделами и специалистами. Это подразумевает:
- Эффективное взаимодействие: способность работать в команде и эффективно коммуницировать с коллегами.
 - Распределение ответственности: умение брать на себя ответственность за выполнение задач и достигать общих целей.
4. внедрение новых систем мотивации персонала [17].

Изменение производственной логистики при модернизации производства

Производственная логистика охватывает все процессы, связанные с планированием, управлением и контролем потоков материалов и информации на всех этапах производства [8, 9]. При модернизации цехов возникает необходимость пересмотра этих процессов для достижения следующих целей:

- Снижение затрат: оптимизация логистики помогает минимизировать затраты на транспортировку и хранение материалов.
- Повышение скорости производства: эффективная логистика способствует сокращению времени цикла производства за счет своевременной доставки материалов.
- Улучшение качества продукции: контроль качества на всех этапах логистической цепочки позволяет снизить количество дефектов.

Основные аспекты изменения производственной логистики:

1. Оптимизация маршрутов и потоков материалов.

При модернизации оборудования и технологий необходимо пересмотреть существующие маршруты перемещения материалов:

- Анализ текущих потоков: проведение анализа существующих маршрутов для выявления узких мест и избыточных перемещений.
- Разработка новых схем: создание оптимизированных маршрутов с учетом нового расположения оборудования и рабочих мест.

2. Внедрение автоматизированных систем управления.

- Системы управления складом (WMS): Внедрение WMS для автоматизации учета и управления запасами.

- Автоматизация транспортировки: Использование автоматизированных транспортных систем (AGV) для перемещения материалов между участками производства.

3. Сокращение запасов и улучшение управления ими.

Эффективное управление запасами позволяет снизить затраты на хранение и уменьшить риски дефицита:

- Внедрение принципов Just-in-Time (JIT): поставка материалов точно в срок для минимизации запасов на складе.

- Использование прогнозирования спроса: применение аналитических инструментов для точного прогнозирования потребностей в материалах.

4. Улучшение информационных потоков.

Информационные потоки играют ключевую роль в координации всех логистических процессов:

- Интеграция систем управления: объединение систем управления производством и логистикой для обеспечения прозрачности и оперативности обмена данными.

- Обучение персонала: подготовка сотрудников к работе с новыми информационными системами для повышения точности и скорости обработки данных.

Преимущества изменения производственной логистики:

Оптимизация производственной логистики в условиях модернизации позволяет достичь следующих преимуществ:

- Повышение производительности: сокращение времени простоя и повышение скорости выполнения операций.

- Гибкость производства: возможность быстрого адаптирования к изменениям в производственных процессах и рыночных условиях [10].

- Устойчивое развитие: снижение экологического воздействия за счет оптимизации транспортировки и сокращения отходов.

Заключение

Актуальность темы обусловлена стремительным развитием ракетнокосмической отрасли машиностроения, активными темпами импортозамещения что требует незамедлительной реконструкции и перевооружения производственной базы любого механосборочного предприятия чья работа направлена на достижения поставленных задач. Для достижения такой цели, как разработка планировочного решения механосборочного цеха, работа которого направлена на серийное изготовление изделия необходимо решить следующие задачи: модернизировать действующие технологические процессы, изучить принципы проектирования механосборочных цехов, исследовать методы и принципы расстановки технологического оборудования, провести расчет необходимой мощности механосборочного цеха, разработать проект планировочного решения производственного цеха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие технологии 3D печати с армированием непрерывным волокном / И. С. Торубаров, А. В. Дроботов, А. Л. Плотников, И. А. Гушин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2021. – № 8(255). – С. 81-86. – DOI 10.35211/1990-5297-2021-8-255-81-86. – EDN ZPIGFL.

2. Габдрашитов, Т. А. Импортозамещение с использованием 3D-печати и 3D-сканирования / Т. А. Габдрашитов, И. И. Шарипов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения : Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 58-60. – EDN NXZQHI.

3. Обработка конструктивных и технологических решений для изготовления опытных образцов внутренней оболочки камеры сгорания многофункционального жидкостного ракетного двигателя с использованием аддитивных технологий / А. Л. Артемов, В. Ю. Дядченко, А. В. Лукьяшко [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2017. – № 1(16). – С. 50-62. – EDN YTWBCV.

4. Иванов В. К. К задаче аналитического проектирования элементов гибких производственных систем // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2010. № 1. С. 93-96.

5. Горбунов, П. Г. Система автоматизированного проектирования заданий на разработку проектов механических и сборочных участков и цехов / П. Г. Горбунов, Н. В. Беляков // Тезисы докладов 46 Республиканской научно-технической конференции преподавателей и студентов : Сборник тезисов, Витебск, 24 апреля 2013 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2013. – С. 171-172. – EDN WGOVZC.

6. Маликова, Д. М. Модернизация технологических процессов на основе концепции бережливого производства / Д. М. Маликова, А. А. Урасова // Научное обозрение. – 2016. – № 12. – С. 286-290. – EDN WISRDL.

7. Костин, Г. В. 3.1 Материальные условия перевода экономики на инновационный высокотехнологичный путь развития / Г. В. Костин, Ф. Ф. Тягунов // Экономика России: вызовы XXI века и импульсы развития : Монография / Под научной редакцией И.М. Братищева. – 2-е издание. – Санкт-Петербург : Центр научно-информационных технологий "Астерион", 2022. – С. 278-298. – EDN UHWVTM.

8. Ганиева, Н. М. Логистика производственных процессов : Учебное пособие / Н. М. Ганиева. – Омск : федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Омский государственный технический университет", 2012. – 248 с. – ISBN 978-5-8149-1341-8. – EDN UXHGWB.

9. Михайлова, Д. Н. Логистика: производственная логистика / Д. Н. Михайлова, В. Г. Хабиров // Приоритетные направления развития науки в современном мире : Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Уфа, 20 февраля 2020 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2020. – С. 10-13. – EDN HPXVOX.

10. Иванов В. К. Автоматизация моделирования и управления возможностями производственной системы // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 4. С. 24-28.

11. Промышленная автоматизация в России: проблемы, опыт, решения / В. Ежеленко // Умное производство. - Режим доступа: http://www.umpro.ru/index.php?pageid=17&art_id_1=412&group_id_4=99 (дата обращения: 26.04.2017).

12. Развитие производственных систем: современные мировые тенденции. Управление производством. - М.: Центр исслед. и аналитики, 2012.

13. Грундиг, К.-Г. Проектирование промышленных предприятий. Принципы. Методы. Практика: [пер. с нем.] / К.-Г. Грундиг. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. - 340 с.

14. Wildemann, H. The modular factory. Customer near production through manufacturing segmentation / H. Wildemann. - 4th ed. – Munich, 1994.

15. Варнеке, Х.-Ю. Революция в предпринимательской структуре. Фрактальное предприятие: [пер. с нем.] / Х.-Ю. Варнеке. - М., 1999. - 280 с.

16. Шеер, А.В. Что скрывается за термином «Индустрия 4.0» / А.В. Шеер. - Режим доступа: <http://www.i-love-bpm.ru/scheer/chto-skryvaetsya-za-terminom-industriya-40> (дата обращения: 26.04.2017).

17. Волков, С. В. Практика внедрения на промышленном предприятии системы мотивации персонала на основе ключевых показателей эффективности (KPI) / С. В. Волков, М. А. Кирсанова // Управленческий учет. – 2015. – № 9. – С. 10-18. – EDN UIWMBL.

MODERNIZATION OF PRODUCTION FACILITIES FOR THE MANUFACTURE OF SMALL PARTS

¹Tsvetkov Alexander Nikolaevich, undergraduate student

²Senyutin Yuri Vladimirovich, undergraduate student

³Gorelov Vadim Alexandrovich, undergraduate student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹sanbit081993@mail.ru

The purpose of the work is to analyze the requirements for productivity and efficiency in the production of satellite engines, modernization of equipment and its location in workshops. It is concluded that the modernization of production workshops, changing the composition and location of equipment, will optimize production processes and significantly reduce the time and resource costs of manufacturing small-sized parts and satellite assemblies.

ОБЗОР ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ КЛАПАНОВ ОДНОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ

¹Целиков Павел Валерьевич, аспирант кафедры инжиниринга технологического оборудования

²Кисель Антон Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹patersort@list.ru; ²anton.kisel@klgtu.ru

Представлен обзор существующих конструкций клапанов однократного действия, приведены примеры и описаны принципы их действия. Все конструкции применяются в гидравлических или пневматических системах для подачи жидкости или газа из одной камеры в другую при возникновении избыточного давления или при принудительном включении, после чего они переходят в нерабочее состояние. Обзор конструкций показал, что у всех из них для восстановления рабочего состояния требуется замена разрушенного элемента или возврат в первоначальное положение человеком. Недостатками клапанов однократного действия являются необходимость точного изготовления деталей, возможность заклинивания, отсутствие стабильности срабатывания.

Введение

Клапан однократного действия – это устройство которое срабатывает при определенных условиях и после выполнения своей функции переходит в нерабочее состояние, т.е. отсутствует возможность возврата в первоначальное (рабочее) положение автоматически.

Такие клапаны применяются либо как предохранительные устройства в различных системах, либо как устройства автоматики, после срабатывания которых отсутствует необходимость повторного выполнения функции клапана.

Клапаны однократного действия применяются в гидро- и пневмо-системах различных машин и механизмов в следующих областях:

- в арматуростроении [1, 2];
- в машиностроении [3, 4];
- в электротехнике [5, 6];
- в военной технике [7];
- в добывающей промышленности [8];
- и в других областях.

Принципы действия таких клапанов можно рассмотреть на нескольких примерах.

Принципы действия клапанов однократного действия

Пример клапана однократного действия с разрушающимися элементами представлен на рисунке 1 [1].

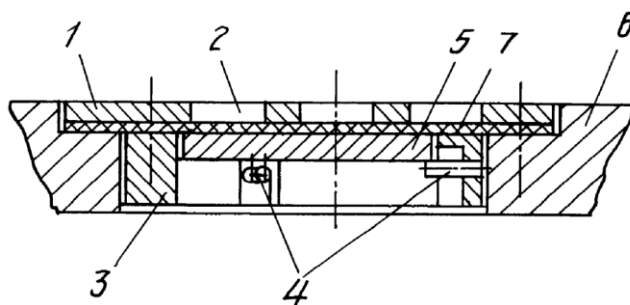


Рис. 1. Предохранительный клапан однократного действия

Данный клапан состоит из следующих элементов: решетки 1 с отверстиями 2, кольца 3, опорных разрушаемых стержней 4, поршня 5, корпуса 6 и разрываемой прокладки 7. Согласно рисунку 1, на клапан сверху действует давление жидкости (например, воды). При достижении определенного предельного давления стержни 4 разрушаются, прокладка 7 прорывается, и давление в системе сбрасывается.

Другим примером изучаемых устройств может служить предохранительный клапан, изображенный на рисунке 2 [5].

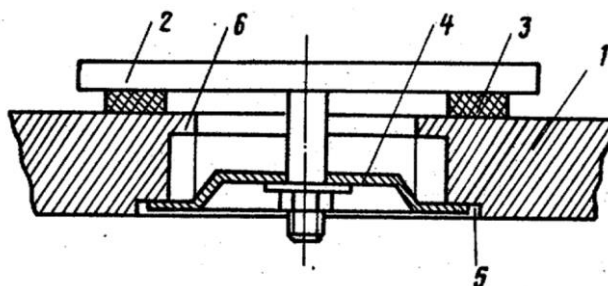


Рис. 2. Предохранительный клапан однократного действия

Представленный клапан состоит из: днища 1, тарелки 2, прокладки 3, многолучевой пластинчатой пружины 4, проточки 5, кольцевого ограничителя 6. Согласно рисунку 2, на клапан снизу действует давление газа (например, воздуха). При достижении предельного давления пружина 4 прогибается, и между тарелкой 2 и прокладкой 3 появляется зазор, и давление в системе сбрасывается. При дальнейшем повышении давления возможно сжатие пружины 4 и ее дальнейший ход вверх вместе с тарелкой 2, что ещё больше увеличивает возникший зазор. При сбрасывании давления в таком случае возврат пружины 4 в первоначальное положение не происходит.

Еще один пример клапана однократного действия представлен на рисунке 3 [7].

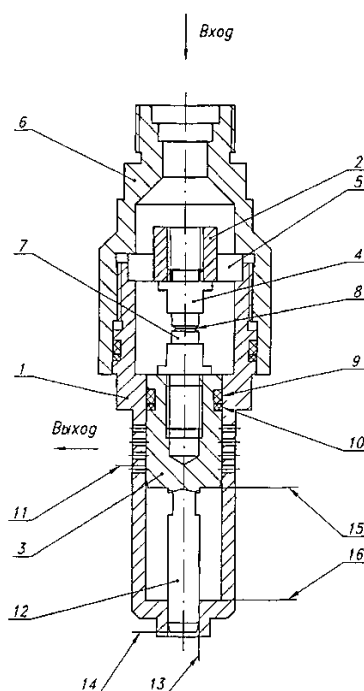


Рис. 3. Предохранительный клапан однократного действия

Клапан, представленный на рисунке 3 состоит из: корпуса 1, диска 2, поршня 3, штока 4, расходного отверстия 5, штуцера входа 6, шейки 7, риски 8, уплотнительного кольца 9, защитной шайбы 10, радиальных отверстий 11, хвостовика 12, отверстия 13, торца 14 хвостовика 12, торца 15 поршня 3 и торца 16 корпуса 1. При превышении заданного давления, действующего сверху на поршень 3, шток 4 разрушается по шейке 7. В результате этого поршень смещается вниз до торца 16 корпуса 1, рабочая среда сбрасывается через отверстия 11, и давление в системе снижается.

Также известен клапан однократного действия, представленный на рисунке 4 [4].

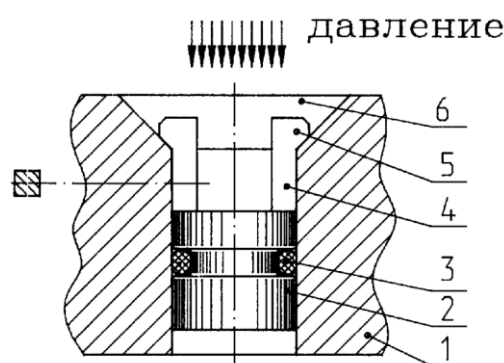


Рис. 4. Предохранительный клапан однократного действия

Предохранительный клапан однократного действия, представленный на рисунке 4, состоит из: корпуса 1, поршня 2, уплотнения 3, опорного элемента 4, скошенного выступа 5, проходного отверстия 6 для подачи жидкости (например, воды). При превышении заданного давления, действующего на поршень сверху, опорные элементы 4 прогибаются, а поршень 2 смещается вниз и падает, освобождая отверстие 6, в результате чего давление жидкости в системе снижается.

Следующий пример клапана однократного действия представлен на рисунке 5 [2].

Клапан, представленный на рисунке 5, состоит из следующих элементов: цилиндрического корпуса 1, нагревателя 2, входного штуцера 3, выходного штуцера 4, толкателя 5 из материала с эффектом памяти формы, фланца 6, гайки 7, хвостовика 8, набора шайб 9, центрирующего уступа 10, сквозных отверстий 11, стоек 12, резьбового соединения 13, сварки 14, глухого отверстия 15, кольцевой проточки 16, сетки 17, зазора 18, вакуумной теплоизоляции 19. Для срабатывания клапана на нагреватель 2 подается напряжение, в результате чего толкатель 5 (из материала с эффектом памяти формы) начинает удлиняться, чем создает усилие на фланец 6 и гайку 7, хвостовик разрывается в месте проточки 16, и рабочее тело начинает поступать в отверстие выходного штуцера через появившийся зазор и отверстия, предусмотренные в конструкции.

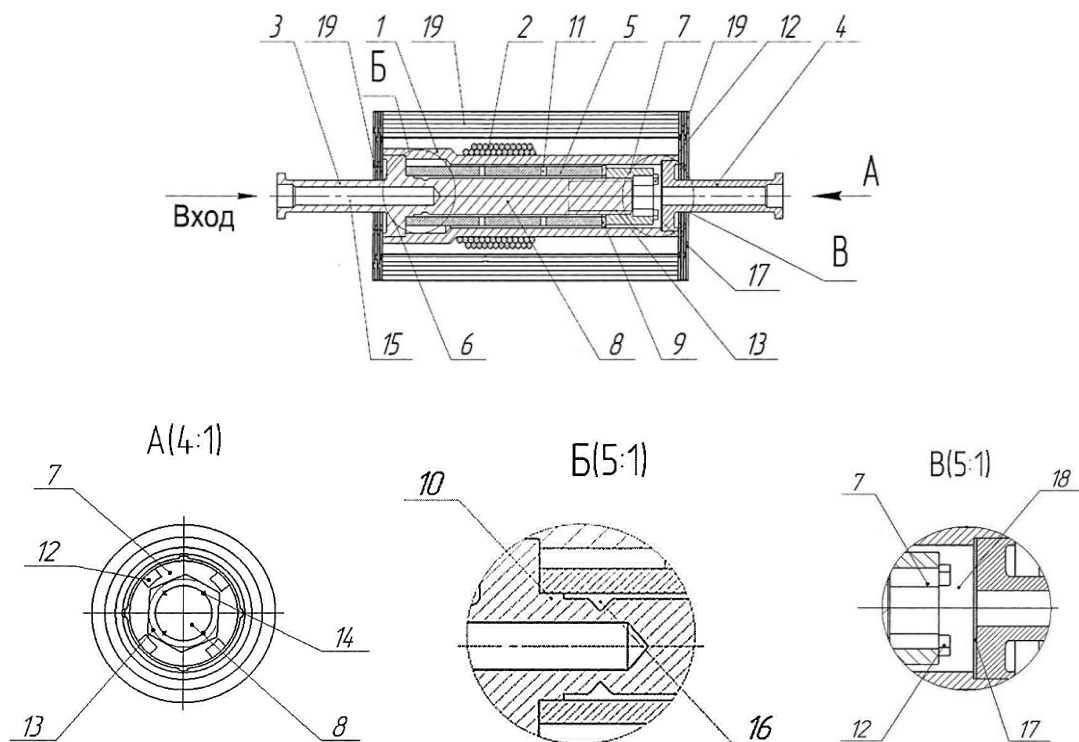


Рис. 5. Клапан однократного действия высокого давления

Выводы

Обзор конструкций клапанов однократного действия показал следующее. Все конструкции применяются в гидравлических или пневматических системах для подачи жидкости или газа из одной камеры в другую при возникновении избыточного давления или при принудительном включении, после чего они переходят в нерабочее состояние. У всех из них для восстановления рабочего состояния требуется замена разрушенного элемента или возврат в первоначальное положение человеком. Недостатками клапанов однократного действия являются необходимость точного изготовления деталей, возможность заклинивания, отсутствие стабильности срабатывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2079758 С1 Российская Федерация, МПК F16K 17/40. Предохранительный клапан однократного действия : № 93041235/06 : заявл. 16.08.1993 : опубл. 20.05.1997 / А. Е. Андреев-Андриевский, А. Д. Куропаткин ; заявитель Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики.
2. Патент № 2821357 С1 Российская Федерация, МПК F16K 17/38, F16K 17/40. Клапан однократного действия высокого давления : № 2023130441 : заявл. 21.11.2023 : опубл. 21.06.2024 / Н. М. Вертаков, В. А. Гречушников, А. В. Каташов, В. А. Панфилов ; заявитель Акционерное общество "Опытное конструкторское бюро "Факел".
3. Сыркин, В. В. Анализ конструкций и методов исследования гидравлических регуляторов давления систем гидроприводов и гидроавтоматики / В. В. Сыркин, В. А. Трейер // Наука и военная безопасность. – 2017. – № 1(8). – С. 45-59.
4. Патент № 2105916 С1 Российская Федерация, МПК F16K 17/40. Предохранительный клапан однократного действия : № 95100045/06 : заявл. 11.01.1995 : опубл. 27.02.1998 / А. Е. Андреев-Андриевский, А. Д. Куропаткин, А. В. Кумачев ; заявитель Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики.
5. Авторское свидетельство № 1376162 А1 СССР, МПК H01T 1/15. Предохранительный клапан однократного действия : № 4089859 : заявл. 14.04.1986 : опубл. 23.02.1988 / В. Г. Вартазарян, Б. А. Ереган ; заявитель ЕРЕВАНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ.В.И.ЛЕНИНА.
6. Авторское свидетельство № 243023 А1 СССР, МПК H01T 1/02. Предохранительный клапан однократного действия : № 1216276/24-7 : заявл. 08.02.1968 : опубл. 05.05.1969 / А. И. Бронфман, Б. Н. Зеленцов.
7. Патент № 2518782 С1 Российская Федерация, МПК F16K 17/40. Предохранительный клапан однократного действия : № 2013110626/06 : заявл. 11.03.2013 : опубл. 10.06.2014 / Р. А. Винокуров, С. Ф. Дергунов, В. А. Туртушов ; заявитель Открытое акционерное общество "Конструкторское бюро химавтоматики".
8. Патент на полезную модель № 202002 U1 Российская Федерация, МПК E21B 34/06. активационный клапан : № 2020126510 : заявл. 07.08.2020 : опубл. 27.01.2021 / Н. В. Паршин, К. А. Бугаев, В. И. Дарищев, П. В. Дога ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Российская инновационная топливно-энергетическая компания" (ООО "РИТЭК"), Закрытое Акционерное Общество "Совместное Предприятие Мекаминэфть" (ЗАО "СП Мекаминэфть").

OVERVIEW OF SINGLE-ACTING VALVE DESIGN TYPES

¹Tselikov Pavel Valer'evich, postgraduate student of the Department of Engineering of Technological Equipment

²Kisel' Anton Gennad'evich, including academic degree and position

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹patersort@list.ru; ²anton.kisel@klgtu.ru

The article provides an overview of existing single-acting valve designs, provides examples and describes the principles of their operation. All designs are used in hydraulic or pneumatic systems to supply liquid or gas from one chamber to another in case of overpressure or forced activation, after which they become inoperable. A review of the structures showed that all of them require replacement of the destroyed element or return to its original position by a person in order to restore the working condition. The disadvantages of single-acting valves are the need for precise manufacturing of parts, the possibility of jamming, and the lack of operation stability.

**III НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОТРАСЛЕВЫХ И СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ»**

**III NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
"DIGITAL TECHNOLOGIES
IN INDUSTRY-SPECIFIC AND RELATED FIELDS"**

УДК 004:51

**ACOUSTIC EMISSION AND ELECTROMAGNETIC RADIATION SIGNAL
ADAPTIVE DENOISING BASED
ON INTELLIGENT OPTIMIZATION ALGORITHM**

¹Zhao Shenglei, PhD candidate in Safety science and engineering

²Wang Enyuan, Professor, PhD in Safety science and engineering

³Wang Jinxin, Associate professor, PhD in Power engineering and engineering thermal physics

^{1,2,3}China University of Mining and Technology, Xuzhou, China,
e-mail: ¹shengleizhao@cumt.edu.cn

Acoustic emission (AE) and electromagnetic radiation (EMR) technologies have promising applications in geological environment monitoring. However, such signals are highly susceptible to noise caused by external factors, which further affects the monitoring effect. This paper proposes an adaptive denoising method based on intelligent optimization algorithm for AE and EMR monitoring signals. Gray Wolf optimization algorithm combined with variational mode decomposition to decompose the monitoring signals. Kalman filter is applied to each mode to remove the noise component, and the mode component is reconstructed to obtain the denoised signal. The case study shows that the method is feasible and effective.

Introduction

Mineral resources are the foundation and pillar supporting economic development [1-3]. No matter in the exploitation of deep earth or ocean mineral resources, environmental safety monitoring problems will be faced, such as the stability of geological rock mass during mining [4]. The reliability of the monitoring signal is the premise of effective monitoring [5]. However, the geological environment of mining is harsh and complex, and the monitoring signal is inevitably accompanied by a lot of noise, so it is critical to accurately remove the monitoring signal noise.

The AE and EMR signal can fully reflect the fracture condition of geological rock. In the loading test of rock mass, AE and EMR signals of rock mass show different changes in different stages such as compaction, deformation, instability and failure, and are corresponding to the load [6]. Characteristic signals such as pulse and intensity can comprehensively reflect the degree of stress concentration and failure state [7]. However, as sensitive nonlinear and non-stationary signals, AE and EMR are susceptible to interference from complex external environments, such as geological structure and production activities, resulting in a large amount of noise in the collected signals, which further overwhelms the precursor information and affects the monitoring effect.

The existing denoising methods, such as wavelet, empirical mode decomposition and variational mode decomposition [8-11], will lose the local information of the signal and lead to the distortion of signal reconstruction due to the limitation of correlation coefficient. In addition, the denoising effect of a single type of monitoring signal is obvious, and the denoising method suitable for a variety of monitoring signals cannot be realized, which is not conducive to the construction and implementation of intelligent monitoring

and early warning system. Therefore, it is necessary to continue to study the adaptive denoising methods for multi-type monitoring signals.

To solve these problems, an adaptive denoising method for acoustic emission and electromagnetic radiation based on intelligent optimization algorithm is proposed in this paper. In the following chapter, Chapter 1 is the theory of GWO-VMD-KF adaptive denoising method. Chapter 2 shows the application of the proposed method in practical cases. Chapter 3 is the conclusions of this paper.

GWO-VMD-KF adaptive denoising method

1.1. Variational mode decomposition

Variational mode decomposition (VMD) is a variable scale signal processing method, which is suitable for nonlinear signal analysis and processing. The method iteratively searches the optimal solution of the variational model, determines the frequency center and bandwidth of each component, and can adaptively decompose the signal into sparse components and reconstruct the original signal [11, 12].

Construct and solve a constrained variational model as follows:

$$\begin{cases} \min_{\{y_l\}, \{\omega_l\}} \left\{ \sum_l \left\| \partial_t \left[\left(\delta(t) + \frac{j}{\pi t} \right) y_l(t) \right] e^{-j\omega t} \right\|_2^2 \right\} \\ s.t. \sum_l y_l(t) = x(t) \end{cases} \quad (1)$$

where l is the number of modal decomposition layers; $y_l(t)$ is the l th mode component; $\omega_l(t)$ is the center frequency of the l th mode component; $x(t)$ is the original signal.

$$L(y_l, \omega_l, \lambda) = \alpha \sum_l \left\| \partial_t \left[\left(\delta(t) + \frac{j}{\pi t} \right) y_l(t) \right] e^{-j\omega t} \right\|_2^2 + \lambda \int s(t) \quad (2)$$

where $\lambda(t)$ is the Lagrangian multiplication operator to maintain the rigor of the constraints, α is the secondary penalty factor, which is used to ensure the reconstruction accuracy of the signal.

Alternating Direction Method of Multipliers (ADMM) is used to iterative updates as follows:

$$\left\{ y_l^{n+1} \right\} = \frac{\hat{x}(\omega) - \sum_{i \neq l} y_i^{n+1}(\omega) + \frac{\hat{\lambda}^n(\omega)}{2}}{1 + 2\alpha(\omega - \omega_l^n)^2} \quad (3)$$

$$\omega_l^{n+1} = \frac{\int_0^\infty \omega |y_l^{n+1}(\omega)|^2 d\omega}{\int_0^\infty |y_l^{n+1}(\omega)|^2 d\omega} \quad (4)$$

$$\hat{\lambda}^{n+1}(\omega) = \hat{\lambda}^n + \beta \left[\hat{f}(\omega) - \sum_l y_l^{n+1}(\omega) \right] \quad (5)$$

Continuous update iterations being made until the function meets the criteria as follows:

$$\sum_l \frac{\|y_l^{n+1} - u_l^n\|_2^2}{\|y_l^n\|_2^2} < \theta \quad (6)$$

where θ is the accuracy of judgment.

1.2. Gray wolf optimization algorithm

Grey Wolf Optimization (GWO) algorithm is a novel intelligent population algorithm, which is used to search for spatial optimization by studying the living style and hunting action of grey wolves. In the GWO algorithm, wolves are divided into four categories: α , β , δ and ω . In the process of optimization, the GWO first determines the initial position of α wolf, β wolf and δ wolf, and then uses α Wolf, β wolf and δ wolf to update the position of the prey, and then the ω wolves within the group update the position around the prey by referring to the position information of α wolf, β wolf and δ wolf [13].

The characteristics of the GWO algorithm are described as follows:

(1) Social hierarchy

GWO algorithm simulates the survival method of gray wolf population in the wild, conducts space hunting, searches for prey, simulates the wolf pack structure, and divides the wolf pack into α , β , δ and ω . The first three groups are the decision-making and coordination leadership, located in the leadership of the alpha, beta, δ gray wolves not only high fitness, but also need to command the ω wolf. At the same time, the algorithm constantly updates the leadership in the process of optimization.

(2) Surround the prey

The reproduction mode of offspring gray wolf is as follows:

$$D = |C \cdot Y_p(t) - Y(t)| \quad (7)$$

$$Y(t+1) = Y_p(t) - Q \cdot D \quad (8)$$

where D represents the distance between individuals in the group and the target food, C vector is the disturbance to the prey, Y_p represents the position of the target, t represents the number of current iterations, and Y is the position of the current individual.

$$Q = 2a \cdot r_2 - a \quad (9)$$

where random variable Q is the randomization function of convergence factor a , and the size of Q is related to the degree of wolf pack expansion. $|Q| > 1$ indicates that wolves are dispersed as much as possible, and more scout wolves are sent to expand the territory for reconnaissance; $|Q| < 1$ indicates that wolves are shrunk as much as possible, and more wolves are concentrated in the key search area. r_2 is Q random number, and the convergence factor a is the main control parameter Q .

$$C = 2r_1 \quad (10)$$

The iterative convergence process for convergence factor a is represented as follows:

$$a = 2 - 2\left(\frac{m}{\max}\right) \quad (11)$$

where m is the number of iterations of the algorithm. \max is the maximum number of iterations. r_1 and r_2 are random numbers between [0,1].

(3) Hunting

When the leader of the pack finds the prey information, the joint management group will consult

with the wolf, notify the target to the management group at all levels to conduct the overall command of the wolf pack and hunt the prey, this behavior is described as follows:

$$D_\alpha = |C_1 \cdot Y_\alpha(m) - Y(m)| \quad (12)$$

$$D_\beta = |C_2 \cdot Y_\beta(m) - Y(m)| \quad (13)$$

$$D_\delta = |C_3 \cdot Y_\delta(m) - Y(m)| \quad (14)$$

where Y_α , Y_β , and Y_δ represent the current position of α , β , and δ , respectively. C_1 represents the random disturbance of the pair, C_2 represents the random disturbance of the pair, and C_3 represents the random disturbance of the pair. The direction and distance of ω wolf's advance towards α , β and δ are shown as follows:

$$Y_1 = X_\alpha - Q_1 \cdot D_\alpha \quad (15)$$

$$Y_2 = X_\beta - Q_2 \cdot D_\beta \quad (16)$$

$$Y_3 = X_\delta - Q_3 \cdot D_\delta \quad (17)$$

where Q_1 , Q_2 , and Q_3 are random vectors. Y_1 , Y_2 , and Y_3 represent the updated position of the wolf after guiding ω .

The final position of the gray wolf after the location update is as follows:

$$Y(m+1) = (Y_1 + Y_2 + Y_3) / 3 \quad (18)$$

1.3. Kalman filtering

Kalman filtering (KF) is a recursive filtering method based on time series. At each step of the filtering process, new measurement data is introduced to supplement the information, while constantly returning to the system to revise the estimate of the system state, reducing the error of the state estimation and achieving the optimal estimation [14].

The states and observed equations are as follows:

$$X(k) = AX(k-1) + W(k-1) \quad (19)$$

$$Z(k) = HX(k-1) + V(k) \quad (20)$$

Where X is the state of the system at time, and Z is the observation signal at time k , that is, the collected on-site monitoring data. W is the noise matrix of the process noise covariance matrix in the time $k-1$ state, and V is the observed noise of the measurement noise covariance matrix R in the time $k-1$ state. A is the state transition matrix and H is the observation matrix.

The state prediction of the recursive Kalman filter is as follows:

$$X(k | k-1) = AX(k-1) \quad (21)$$

The mean square error of state prediction is as follows:

$$P(k | k-1) = AP(k-1)A^T + U \quad (22)$$

The Kalman gain is expressed as follows:

$$K(k+1) = \frac{P(k|k-1)H^T}{HP(k|k-1)H^T + R} \quad (23)$$

Where, $P(k|k-1)$ is the prior error matrix.
State estimates are expressed as follows:

$$X(k) = X(k|k-1) + K(k)[Z(k) - HX(k|k-1)] \quad (24)$$

The error covariance matrix is expressed as follows:

$$P(k) = [I - K(k)H]P(k|k-1) \quad (25)$$

Where I is the identity matrix and $P(k)$ is the posterior error matrix. When the initial values $X(k)$ and $Z(k)$ are known, the estimated state $X(k)$ can be computed recursively from the observed signal.

Case study

2.1. Denoising process

The GWO-VMD-KF adaptive denoising method is shown in Figure 1. AE and EMR sensors process the collected monitoring signals, including AE pulse, intensity, EMR pulse and intensity, as original noisy signals. According to the internal characteristics of the original monitoring signal, GWO optimizes the parameters of VMD including penalty factor and mode number, and performs the optimal mode decomposition of the monitoring signal. KF adaptively filters out excess noise for each mode component under the premise of retaining the original characteristics, and reconstructs each mode component after processing to obtain the de-noised monitoring signal.

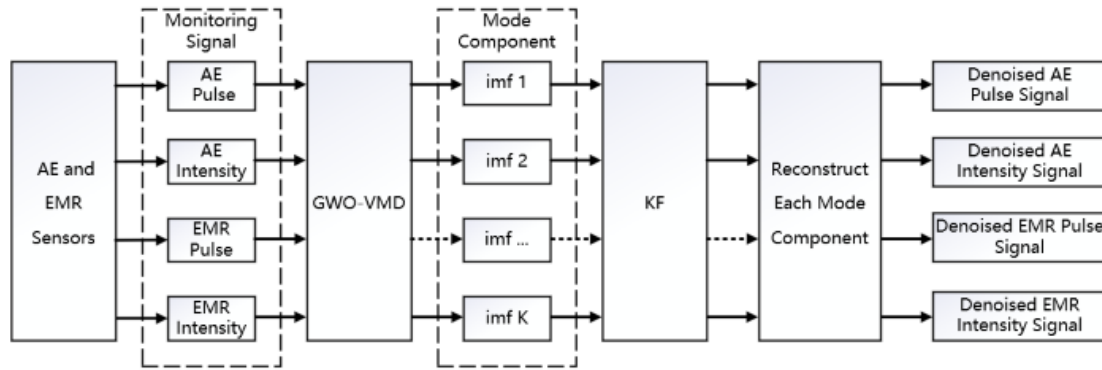


Fig. 1. GWO-VMD-KF denoising process

2.2. Data source

The original data for this case study came from GDD12(A) coal-rock dynamic disaster monitoring and warning system installed in a coal mine in western China. This equipment is independently developed by China University of Mining and Technology, and can realize 24-hour continuous online monitoring of AE and EMR signals generated by underground mining activities. After standardized pre-processing with a frequency of 0.03Hz, it can be uploaded to the coal-rock dynamic disaster monitoring and warning system in real time (version :1.38.3.21).

2.3. Denoising effect

(1) GWO Optimizes VMD parameters

The EMR intensity was studied and analyzed as an example. The parameters of VMD optimization using GWO were set as the number of gray wolves was 30, the maximum number of iterations was 20, and the convergence factor was 2. The optimization process is presented in the form of fitness value iteration, as shown in Figure 2. The fitness value steadily converges to about 8.35 after 20 rounds of iteration. After VMD parameters are optimized, the number of modes is 5 and the penalty factor is 899.

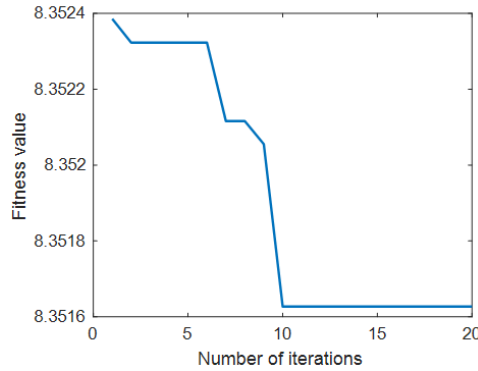


Fig. 2. Fitness value iteration process

(2) Mode decomposition

The EMR intensity signal is decomposed into five different modes, as shown in Figure 3. From IMF1 to IMF5, the frequency gradually increases, and there is no mode aliasing between different modes. IMF1 best reflects the overall trend of the signal, while IMF5 has the highest noise content.

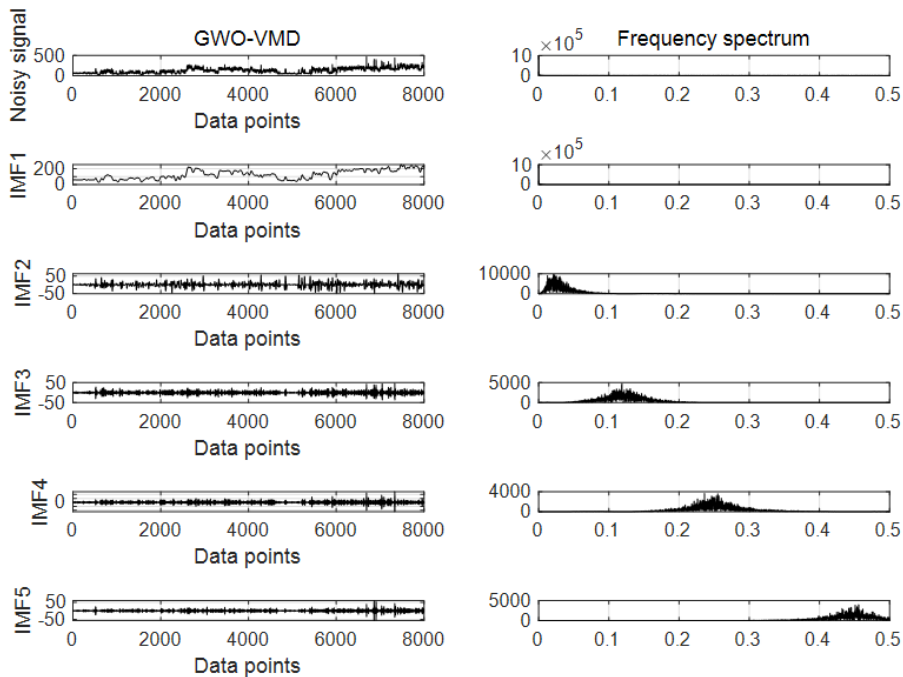


Fig. 3. GWO-VMD signal decomposition

(3) Mode component denoising and reconstruction

KF is executed on each modal component after the decomposition of GWO-VMD. As shown in Figure 4, the retained signal features from IMF1 to IMF5 gradually decrease, while the removed noise components gradually increase. The reconstructed signal is shown in Figure 4 (f).

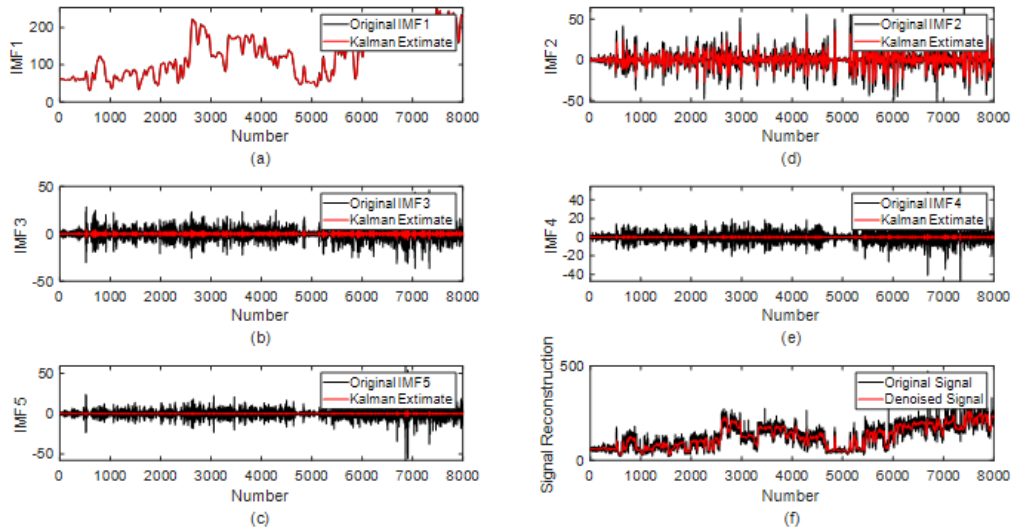


Fig. 4. KF performs filtering in each mode

(4) Comparison and evaluation

We introduced Signal to Noise Ratio (SNR), Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) denoising evaluation indexes, and compared them with existing methods including Variational Mode Decomposition-Permutation Entropy (VMD-PE) and Wavelet Transform (WT) to verify the feasibility and effectiveness of the proposed method. As shown in Table 1-4, the denoising indexes of AE pulse, intensity, EMR pulse and intensity monitoring signals are superior to the existing methods.

Table 1

Comparison of different denoising methods for AE pulse signal

Method	GWO-VMD-KF	VMD-PE	WT
SNR	15.3845	11.6985	9.6322
PSNR	26.3854	22.1740	20.3331
MAPE	0.2538	0.3207	0.4412

Table 2

Comparison of different denoising methods for AE intensity signal

Method	GWO-VMD-KF	VMD-PE	WT
SNR	18.6963	14.8251	13.5744
PSNR	20.5871	17.6259	15.6840
MAPE	0.2587	0.3364	0.3204

Table 3

Comparison of different denoising methods for EMR pulse signal

Method	GWO-VMD-KF	VMD-PE	WT
SNR	14.0917	13.2871	8.2643
PSNR	19.3600	17.2001	12.4677
MAPE	0.4587	0.7425	0.7521

Table 4

Comparison of different denoising methods for EMR intensity signal

Method	GWO-VMD-KF	VMD-PE	WT
SNR	16.3632	12.4558	12.9678
PSNR	21.3678	16.2014	13.0237
MAPE	0.2833	0.4455	0.5236

Conclusion

Aiming at the adverse effects of AE and electromagnetic radiation monitoring signals which are easily accompanied by noise in geological activities, an adaptive denoising method based on intelligent

optimization algorithm is proposed. The main conclusion is that GWO algorithm is used to optimize VMD parameters to obtain the expected signal decomposition effect and avoid mode aliasing. After optimization, the added signal of VMD is decomposed into different modes, and the frequency increases gradually with the increase of the number of modes. KF removes excess noise for each modal component and retains the original signal characteristics. The signal after mode reconstruction is denoised signal, which has obvious advantages compared with the existing methods.

References

1. Wang K. Du F., *Process Safety and Environmental Protection*. Coal-gas compound dynamic disasters in China: A review, 2020, 133: 1-7.
2. Heydari M. Osanloo M., *Resources Policy*. Untangling the complex web of environmental, social, and economic impacts in deep and large-scale open-pit mining projects using a dynamic modeling framework, 2024, 90: 104690.
3. Khan K. Khurshid A. Cifuentes-Faura J., *Resources Policy*, Energy security analysis in a geopolitically volatile world: A causal study, 2023, 83: 103673.
4. Zhang C.G. Canbulat I. Hebblewhite B. Ward C.R., *International Journal of Coal Geology*. Assessing coal burst phenomena in mining and insights into directions for future research, 2017, 179: 28-44.
5. Askaripour M. Saeidi A. Rouleau A. Mercier-Langevin P., *Underground Space, Rockburst in underground excavations: A review of mechanism, classification, and prediction methods*, 2022, 7: 577-607.
6. Liu Q.P. Wang Z.Q. Wang Z.Q. Lu S.Q. Sa Z.Y. Wang H., *Chaos, Solitons & Fractals*. Dynamic multifractal characteristics of acoustic emission about composite coal-rock samples with different strength rock, 2022, 164: 112725.
7. Qiu L.M. Liu Z.T. Wang E.Y. He X.Q. Feng J.J. Li B.L., *Engineering Geology*. Early-warning of rock burst in coal mine by low-frequency electromagnetic radiation, 2020, 279:105755.
8. Li B.L. Li Z.H. Li N. Huang J. Ji Y.C. Niu Y., *Minerals*. Discrimination of Different AE and EMR Signals during Excavation of Coal Roadway Based on Wavelet Transform, 2022, 12: 63.
9. Zhang S.J. Sun X.Y. Li C.W. Xu X.X. Xiong Z., *The Analysis of Coal or Rock Electromagnetic Radiation (EMR) Signals Based on Hilbert-Huang Transform (HHT)*, 2011, 26: 689-698.
10. Jiang R.C. Dai F. Liu Y. Wei M.D., *Tunnelling and Underground Space Technology*. An automatic classification method for microseismic events and blasts during rock excavation of underground caverns, 2020, 101:103425.
11. Zhao S.L. Wang J.X. Wang E.Y. Yang H.H. Yang W.X., *Proceedings of the UNified Conference of DAMAS, InCoME and TEPEN Conferences (UNified 2023)*. Noise Reduction of Mine Acoustic Emission and Electromagnetic Radiation Signals Using VMD-PE, 2024, 1115-1124.
12. Liu F. Li G.H. Yang H., *Ocean Engineering*. Application of multi-algorithm mixed feature extraction model in underwater acoustic signal, 2024, 296:116959.
13. Fattahi H. Ghaedi H. Armaghani D.J. *Measurement*. Optimizing fracture toughness estimation for rock structures: A soft computing approach with GWO and IWO algorithms, 2024, 115306
14. Bai Y.T. Yan B. Zhou C.G. Su T.L. Jin X.B. *Annual Reviews in Control*. State of art on state estimation: Kalman filter driven by machine learning, 2023, 56: 100909.

АДАПТИВНОЕ ШУМОПОДАВЛЕНИЕ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ

¹Чжао Шэнглеи, канд. наук в области науки и техники безопасности

²Ван Эньюань, профессор, д-р наук в области безопасности и техники

³Ван Цзиньсинь, доцент, канд. энергетич. наук и инженерной теплофизики

^{1,2,3}Китайский горно-технологический университет, Суйчжоу, Китай,
e-mail: ¹shengleizhao@cumt.edu.cn

Технологии акустической эмиссии (АЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ) имеют перспективное применение в мониторинге геологической среды. Однако такие сигналы весьма чувствительны к помехам, вызванным внешними факторами, что еще больше влияет на эффект мониторинга. Предлагается метод адаптивного шумоподавления, основанный на интеллектуальном алгоритме оптимизации сигналов мониторинга АЭ и ЭМИ. Алгоритм оптимизации Grey Wolf использовался в сочетании с вариационным разложением режима для разложения сигналов мониторинга. Фильтр Калмана применяется к каждому режиму для удаления шума, и элемент режима восстанавливается для получения сигнала без шума. Исследование показывает, что метод осуществим и эффективен.

АНАЛИЗ АРГУМЕНТОВ КУРТА ГЁДЕЛЯ, ЛУКАСА-ПЕНРОУЗА О НЕВЫЧИСЛЯЕМОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОНТЕКСТЕ ПАРАКОНСИСТЕНТНЫХ ФОРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

¹Ампилогов Владимир Алексеевич, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий

²Степанова Ксения Владимировна, аспирант

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: vladimir.ampilogov@klgtu.ru

²Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: kseniya.stepanova@klgtu.ru

Анализируется аргумент Лукаса-Пенроуза, который утверждает, что человеческий разум не может быть полностью описан через формальные системы, ссылаясь на теоремы о неполноте Курта Гёделя. Этот аргумент получил широкую известность в области философии разума, особенно после публикации книги Роджера Пенроуза «Ум императора». Тем не менее, в последние годы интерес к этому аргументу несколько снизился в связи с многочисленными возражениями, что сделало дискуссию вокруг него более острой. Основная задача – проанализировать статус аргумента Лукаса-Пенроуза и озвученную к нему критику с учетом актуальных параконсистентных формальных систем, которые становятся все более популярными в последние десятилетия в сфере развития технологий искусственного интеллекта. Для этого будет представлено сжатое введение в теорему Гёделя о неполноте, сам аргумент Лукаса-Пенроуза и концепцию параконсистентных формальных систем.

Введение

Анализ аргументов Курта Гёделя и Лукаса-Пенроуза о невычислимости человеческого интеллекта погружает нас в сложные области философии, математической логики и теории познания. Гёдель, демонстрируя свои знаменитые теоремы о неполноте, утверждал, что в любой достаточно мощной формальной системе имеются истинные утверждения, которые не могут быть выведены из её аксиом. Это поднимает вопрос о границах формализации разума. Лукас и Пенроуз, опираясь на идеи Гёделя, предполагают, что человеческий интеллект превосходит вычислимость, что делает его не поддающимся полному алгоритмическому описанию.

Параконсистентные формальные системы, которые допускают наличие противоречий без разрушения своей внутренней логики, могут предложить более гибкое понимание когнитивных процессов. В рамках таких систем стоит рассмотреть, как человек способен справляться с неоднозначностями и парадоксами, что может быть недоступно традиционным вычислительным моделям. Таким образом, аргументы Гёделя и Лукаса-Пенроуза о невычислимости не только бросают вызов нашим представлениям о разуме, но и подчеркивают необходимость рассматривать интеллект как сложный и многогранный феномен, который может преодолевать стандартные логические ограничения.

Хотя теоремы о неполноте (GIT) Курта Гёделя (Godel's Incompleteness Theorems, GIT) [1] широко распространены в дискуссиях в металогической философии, они также вошли в дискурс по философии разума главным образом через две популярные работы.

Во-первых, через "Strange Loop Constructions" Дугласа Хофстейдера (введенное в "Godel, Escher, Bach" [2]), которое он использует, чтобы объяснить возникающее «я» в форме запутанных иерархий [3]. Затем, через аргумент Роджера Пенроуза за невычислимость человеческого интеллекта в "Emperor's New Mind" [4] (который позже был уточнен в "Shadows of the Mind" [5]). Отметим, что версия этого аргумента была представлена до Пенроуза Джоном Лукасом. Еще более ранние версии можно найти в работах Э. Нагеля и Дж. Р. Ньюмена. Однако, вероятно, ни одна из них не была столь популярна, как работа Пенроуза. Широко распространено мнение, что публикация

"Нового разума императора" возродила интерес к геделевским аргументам относительно человеческого интеллекта.

В то время как использование Хофстадером результатов Геделя носило в основном метафорический характер, в "Аргументе Лукаса-Пенроуза" они занимают центральное место.

Было много возражений против аргумента Лукаса-Пенроуза, которые получили в основном дискуссионный характер и привели к снижению интереса к предмету среди основных философов разума. Резко контрастирует область парасогласованных формальных систем, которая набирает все большую популярность в последние десятилетия.

Естественно, возникает вопрос о статусе аргумента Лукаса-Пенроуза и его возражений в свете параконсистентности.

В этой статье дается краткое введение в теорему Гёделя (первую) о неполноте, аргумент Лукаса-Пенроуза и параконсистентные формальные системы. Затем кратко излагается авторитетная трактовка аргумента Лукаса-Пенроуза Дэвидом Чалмерсом. Далее мы систематически рассматриваем некоторые возможные неприятные ситуации, которые могут возникнуть в контексте параконсистентности. Наконец, представлены некоторые спекулятивные взгляды на параконсистентность в более широкой дискуссии о человеческом интеллекте.

1. Предварительные рассуждения

В этом разделе будут представлены необходимые исходные рассуждения, прежде чем перейдем к обсуждению параконсистентности. Поскольку основной целью данной статьи является рассмотрение статуса этих результатов в параконсистентных системах, поэтому эти рассуждения носят чисто педагогический характер.

1.1 Теорема о неполноте Курта Гёделя

Гениальный трюк Курта Гёделя заключался в том, что он нашел умную математическую технику, позволяющую заставить формальную систему (такую, например, как Арифметика Пеано) говорить о самой себе. Еще до Гёделя Рассел и Уайтхед надеялись в своей *Principia Mathematica* аксиоматизировать математику таким образом, чтобы избавиться от парадоксов, возникающих из-за самореференции (таких как парадокс лжеца, парадокс Рассела и т. д.). Итоги исследования Гёделя показали, что любая формальная система, которая является столь же представительной и внушительной, как Арифметика Пеано (или другая, значительно большая), может быть либо непоследовательной, либо неполной. Для того чтобы подтвердить это, было необходимо кодирование Гёделевского предложения для данной формальной системы F , которое бы напоминало форму:

$$G(F) \equiv \text{Это предложение не имеет доказательств в системе } F$$

Если истинность предложения Гёделя, может быть выведена с помощью доказательства, то значит существует доказательство $G(F)$. Это означает, что в итоге мы получаем противоречие как с $G(F)$, так и с $\sim G(F)$. С другой стороны, если доказательство $G(F)$ не существует, то $G(F)$ истинно, но без доказательства. Таким образом, мы либо получаем полную, но несовместимую систему. Либо мы получаем систему, которая непротиворечива, но имеет, по крайней мере, одно истинное утверждение, которое невозможно доказать. Конечно, существует целый ряд технических тонкостей, делающих возможными такие утверждения, которые мы пропустили, но их можно легко найти в [1, 6, 7, 8, 4].

1.2 Аргумент Лукаса-Пенроуза

Но какое отношение все это имеет к интеллекту? Вот тут-то и приходит на помощь аргументация Лукаса-Пенроуза. Существуют различные версии этого подхода, но здесь адаптируем и резюмируем то, что считается одним из самых ясных и благожелательных изложений второго аргумента Пенроуза в "Тенях разума. В поисках науки о сознании" [5], которая является продолжением его книги "Новый ум короля", Дэвида Чалмерса [9]. При первом прочтении аргументация кажется несколько окольной, но мы вернемся к ней и проясним, почему она построена именно так. Стоит также

отметить, что Пенроуз строит эту аргументацию относительно неспособности формальной системы отразить человеческие рассуждения и, используя теорему Крейга, утверждает, что человеческий интеллект, а впоследствии и сознание, не поддаются логике и не могут быть представлены в нынешней физической картине мира, через математическое моделирование. Действительно, известная в настоящее время физика действительно во многом логичная, использует математический аппарат моделирования. Пенроуз использует эти два утверждения, чтобы показать, что требуется радикально новая физика для решения загадки сознания.

1. Предположим, что «мои» рассуждения подчиняются некоторой формальной системе F .
2. Поскольку «я» знаю, что «я» есть F , а «я» есть звук, «я» знаю, что F тоже есть звук.
3. Рассмотрим другую формальную систему F' , которая является объединением F с предположением, сделанным в [1].
4. «Я» знаю, что F' соответствует действительности, потому что если дополнить звуковую систему правдивым утверждением, то получится еще более звучная система.
5. «Я» знаю, что предложение F' (т.е. $G(F')$) истинно, потому что «я» знаю, что теорема о неполноте Гёделя истинна и что система F' непротиворечива.
6. Поскольку F' непротиворечива, никакие алгоритмические рассуждения в рамках этой системы не приведут к доказательству $G(F')$.
7. «Я» могу «увидеть» истину $G(F')$, но F' никогда не сможет «увидеть» истину $G(F')$.
8. Но в действительности «я» являюсь F' . Значит, «я» должен и знать, и не знать, что $G(F')$ истинно. Это противоречие, и мы должны отбросить предположение, сделанное в [1].
9. Поэтому, должно быть, F не полностью овладел «моими» способностями к рассуждению.
10. Поскольку F была произвольной формальной системой, ни одна формальная система не сможет полностью отразить «мои» способности к рассуждению.

Интуитивно кажется, что более простой способ получить этот результат было бы просто утверждать, что если «мои» рассуждения отражены в разумной формальной системе F , которая не может знать истинность своего предложения $G(F)$, то «моё» знание того, что $G(F)$ истинно, противоречит исходному предположению. Однако эта формулировка допускает возражения относительно того, что F является «заведомо разумной». Эти возражения обсуждаются в [9] и не очень важны для нашей текущей дискуссии. На данном этапе мы просто отметим, что вышеупомянутая формулировка обходит несколько обычных возражений против наивного представления аргумента Лукаса-Пенроуза.

1.3 Возражение Чалмерса против рациональности

Утверждения Чалмерса [9], что противоречие в приведенном выше аргументе не порождается предположением, что «я» (алгоритмически) изоморфен формальной системе F . Вместо этого противоречие возникает в первую очередь в [2], где мы утверждаем, что «я» звук, то есть F есть звук. Чалмерс представляет адаптацию теоремы Лоба в своей статье в поддержку этого противоречия. Здесь мы излагаем непосредственно соответствующий результат, но общее доказательство можно найти в [8].

Теорема Лоба гласит, что любая формальная система, которая может доказать свою собственную обоснованность, становится непоследовательной. Таким образом, еще до начала аргументации мы в некотором смысле уже создали непоследовательность, утверждая, что знаем о своей непротиворечивости. Поскольку теорема Лоба является мощным метаматематическим результатом, этот случай был замалчиваемым.

1.4 Параконсистентные формальные системы

Параконсистентные формальные системы [10, 11] были разработаны для того, чтобы отказаться от Принципа Взрыва. В классической логике тот факт, что мы можем проводить доказательства *reductio ad absurdum*, начиная с предположения об отрицании теоремы и доказательства противоречия для снятия отрицания, основывается на том, что противоречия делают классическую формальную систему тривиальной (а мы хотим избежать тривиальности любой ценой). Другими словами, в силу Принципа Взрыва из противоречия в классической логике можно доказать любое другое утверждение. Это делает логику бесполезной для всех практических целей, если в классической логике возникнет противоречие. Понятие параконсистентности было введено для того, чтобы связно рассуждать о противоречиях, не разрушая систему до тривиальности.

Параконсистентные системы отгораживаются от противоречий таким образом, что их логические следствия не распространяются диким образом на те области, где мы этого не хотим. Это открывает возможности для построения формальных систем, которые стремятся более точно моделировать лингвистику, научные рассуждения, каузальный модус поненс, адаптивные рассуждения, парадоксы и т. д.

Ключевой вывод этого подраздела состоит в том, что существуют нетривиальные параконсистентные логические системы, в которых в соответствующих областях истинными могут быть как утверждение, так и их отрицание.

2. Пересмотр Лукаса-Пенроуза в условиях параконсистентности

Попытка провести анализ, аналогичный текущему, была предпринята Мегиллом [12]. Однако находим аргументацию, представленную в [12], рыхлой, неполной и неудовлетворительной. Мегилл использует параконсистентность, чтобы просто растворить аргументацию Лукаса-Пенроуза в более слабой форме, которая не включает принцип "человеческий интеллект невычислим". Вместо этого слабая форма включает дизъюнкцию "либо человеческий интеллект невычислим, либо он следует параконсистентной формальной системе". В этом разделе систематически исследуем, какие возражения против аргумента Лукаса-Пенроуза сохраняют вес после включения параконсистентности, а какие не выдерживают критики. Введя соответствующие технические детали, давайте рассмотрим статус некоторых возражений против аргумента Лукаса-Пенроуза и поймем, какие из них допустимы в параконсистентных фреймворках, а какие нет.

2.1 Возражение 1 - пересмотр нападения на обоснованность

Возражение Чалмера против теоремы Лоба заключалось в том, что если F может утверждать свою собственную состоятельность, то F должна быть непоследовательной. Если параконсистентная формальная система должна поддерживаться как нетривиальная, то доказательство теоремы Лоба не проходит (как утверждает Прист в [8]). Таким образом, теперь не обязательно следует, что теория, утверждающая свою собственную состоятельность, является непоследовательной. Заметим, однако, что мы работаем с параконсистентной системой по предположению. Напомним, что параконсистентность отличается от непоследовательности (по крайней мере) тем, что параконсистентность не делает формальную систему тривиальной. В классической логике непротиворечивость является необходимым условием для того, чтобы система была надежной. Однако можно построить нетривиальную параконсистентную систему, в которой можно учесть противоречие без ущерба для обоснованности. Таким образом, утверждение «о неспособности формальной системы уловить ход человеческих рассуждений» является (логически) непроблематичным, если F является параконсистентной формальной системой. Возражение Чалмера, использующее адаптацию теоремы Лоба, не работает в параконсистентных режимах.

2.2 Возражение 2 - доказательство через противоречие

Однако теперь возникает опасение, что структура аргумента Лукаса-Пенроуза следует классическому *reductio ad absurdum*. Поэтому, если принять во внимание параконсистентность, то аргумент Лукаса-Пенроуза не сможет даже встать на землю. Это также не потому что действительно можно построить параконсистентные формальные системы, которые допускающие доказательства *reductio ad absurdum* из определенных классов противоречий (релевантная логика - пример параконсистентной логики). Логика - пример параконсистентной системы, допускающей доказательство через противоречие). Это утверждение следует из того факта, что хотя параконсистентные системы допускают противоречия, они не обязательно должны допускать все противоречия. Скорее, параконсистентные системы предназначены для того, чтобы иметь возможность изучать логические последствия противоречий в контролируемых способах.

2.3 Возражение 3 - особый статус $G(F)$

Даже если параконсистентность позволяет аргументу Лукаса-Пенроуза избежать двух предыдущих возражений, это свойство самой параконсистентности обеспечивает неизбежное возражение, ко-

торое уничтожает и этот аргумент. Прежде всего, напомним, что теорема Гёделя о неполноте не утверждает, что достаточно выразительные формальные системы неполны - скорее, она утверждает, что достаточно выразительные формальные системы либо неполны, либо непоследовательны. Поскольку мы обычно склонны предполагать непротиворечивость, мы идем на компромисс именно с полнотой. В параконсистентных системах, однако, мы допускаем (частичную) непоследовательность, но это позволяет нам избежать неполноты. Чтобы понять это, посмотрим, что происходит с предложением Гёделя в параконсистентной системе. Если $G(F)$ не имеет доказательства, то $G(F)$ истинно. В качестве альтернативы, если $G(F)$ имеет доказательство, то в итоге мы получаем и $G(F)$, и $\sim G(F)$, как описано в пп.1.1.

В параконсистентных режимах это не является проблемой, поскольку мы можем построить нашу систему так, чтобы она вмещала это противоречие, не разрушая остальную логику до тривиальности (п. 1.4).

Таким образом, в некотором смысле предложение Гёделя в параконсистентных системах теряет свой "особый статус", поскольку даже после анализа $G(F)$ система остается полной и параконсистентной. Другой способ подумать об этом - признать, что в основе доказательства Гёделя лежит парадокс, которого мы пытаемся избежать, но параконсистентная логика может с комфортом его разрешить.

Это тревожит аргумент Лукаса-Пенроуза, поскольку он переходит к выводу о невычислимости человеческого интеллекта на основании утверждения, что формальная система F' никогда бы не узнала истинность $\sim G(F)$, поскольку в классическом случае $G(F)$ не имела бы доказательства.

Поскольку параконсистентная система является полной, если разрешить F быть параконсистентной, то F' действительно может доказать истинность $G(F')$. Это устраняет несоответствие между тем, что человеческий интеллект как знает, так и не знает истинность $G(F')$.

3. Механицизм в свете параконсистентности

В последнем разделе мы установили, что - в соответствии с параконсистентными соображениями - авторитетный аргумент Чалмерса против Лукаса-Пенроуза не работает и что структура *reductio ad absurdum* Лукаса-Пенроуза может быть обоснованно сохранена, но аргумент все равно не приводит к выводу о невычислимости человеческого интеллекта, поскольку предложение Гёделя теряет свой особый статус. Важно отметить, однако, что возражения, представленные в данной работе, подрывают аргументы против "поражений", а не опровергают их. Поэтому мы можем лишь заключить, что даже если человеческий интеллект не поддается вычислению, аргумент Лукаса-Пенроуза не может объяснить, почему. Механицизм, то есть философская доктрина, рассматривающая все живые существа как сложные машины, не поддерживается и не атакуется на основе одного лишь аргумента Лукаса-Пенроуза. Без учета параконсистентности теорема Лоба не выдерживает аргумента Лукаса-Пенроуза, а с учетом параконсистентности не выдерживает и доказуемость предложения Гёделя. Хотя кажется маловероятным, что окончательный аргумент против механицизма может быть получен из чисто формальных соображений, (относительно) новая область теории вычислительной сложности дает некоторые перспективы [13]. Сравнение оценок верхних пределов вычислительной компетенции мозга и нижних пределов временной сложности достижений человеческого интеллекта, безусловно, кажется низко висящим плодом, который может дать приятные результаты и послужить семенем для различных захватывающих будущих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kurt Gödel. On formally undecidable propositions of principia mathematica and related systems. - New York, NY, USA: Basic Books (1931).
2. Douglas R. Hofstadter. Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid. Basic Books, 20th anniversary ed edition. - New York : Vintage Books, 1980.
3. Douglas R. Hofstadter. I am a strange loop.- New York : Basic Books, 2007.
4. Roger Penrose. The emperor's new mind: concerning computers, minds and the laws of physics. Oxford landmark science. - Oxford University Press, revised impression as oxford landmark science edition. OCLC: ocn948795136, 1989.

5. Roger Penrose. *Shadows of the mind: a search for the missing science of consciousness*. - New York : Oxford University Press, 1996.
6. Panu Raatikainen. Gödel's incompleteness theorems. In Edward N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University, spring 2022 edition.
7. *Foundations of logic: completeness, incompleteness, computability.*/ Dag Westerståhl.// Beijing: CSLI Publications & Tsinghua University.-2022.
8. Graham Priest. Lob's theorem and curry's paradox. 6(3). Section: Logic.- New York : Sterling, 2010.
9. Chalmers, David J. (1995). Minds, Machines, And Mathematics A Review of *Shadows of the Mind* by Roger Penrose. *PSYCHE: An Interdisciplinary Journal of Research On Consciousness* 2:11-20.
10. Graham Priest, Koji Tanaka, and Zach Weber. Paraconsistent logic. In Edward N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University, spring 2022 edition.
11. Incompleteness and inconsistency/ Stewart Shapiro.// *Mind* – 2002. - 111 (444):817-832.
12. Are we paraconsistent? on the lucas-penrose argument and the computational theory of mind/ Jason L. Megill.// *Auslegung* – 2004. - 27 (1): 23-30.
13. Why philosophers should care about computational complexity/ Scott Aaronson.// *Computability: Turing, Gödel, Church, and Beyond* – 2013. - 261-328.

ANALYSIS OF THE ARGUMENTS OF KURT GOEDEL, LUCAS-PENROSE ON THE NON-COMPUTABILITY OF HUMAN INTELLIGENCE IN THE CONTEXT OF PARACONSISTENT FORMAL SYSTEMS

¹Ampilogov Vladimir Alekseevich, Associate Professor of Applied Mathematics and Information Technology Department

²Stepanova Ksenia Vladimirovna, a graduate student

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: vladimir.ampilogov@klgtu.ru

²Baltic Fishing Fleet State Academy FSBEI HE "KSTU",
Kaliningrad, Russia, e-mail: kseniya.stepanova@klgtu.ru

*The article examines the Lucas-Penrose argument, which argues that the human mind cannot be fully described through formal systems, referring to Kurt Gödel's incompleteness theorems. This argument became widely known in the field of philosophy of mind, especially after the publication of Roger Penrose's book *The Mind of the Emperor*. However, in recent years, interest in this argument has decreased somewhat due to numerous objections, which has made the discussion around it more controversial. The main objective of this article is to analyze the status of the Lucas-Penrose argument and the critics voiced against it, taking into account the current paraconsistent formal systems that have become increasingly popular in recent decades. For this purpose, a concise introduction to the Gödel's incompleteness theorem, the Lucas-Penrose argument itself, and the concept of paraconsistent formal systems will be presented.*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ СУБСТРАТОВ ДНА ПО ДАННЫМ С МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА

¹Васильев Данил Евгеньевич, студент 2 курса магистратуры

²Ершов Юрий Александрович, студент 2 курса магистратуры

³Шашин Никита Владимирович, студент 2 курса магистратуры

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹danil.vasilev@digital-klgtu.ru; ²yurij.ershov@digital-klgtu.ru;
³nikita.shashin@digital-klgtu.ru

Рассматривается вопрос применения нейронных сетей для автоматизации процесса классификации типов субстратов дна, представлено описание традиционных методов классификации, приведены примеры успешного применения нейронных сетей в смежных задачах, проанализированы методы обработки изображений на разных стадиях. Составлена и описана схема процесса обработки данных с применением нейронных сетей для повышения качества классификации.

Введение

Изучение типов субстратов дна является важной задачей для различных областей науки и техники, таких как океанография, гидрология, геология, биология, рыболовство и др. Знание типов субстратов дна позволяет получить информацию о геоморфологии дна, его физико-химических свойствах, распределении биоценозов, а также о потенциальных ресурсах.

Традиционные методы классификации типов субстратов дна основаны на экспертном визуальном анализе данных многолучевого эхолота, что является трудоемким и субъективным процессом. В связи с этим существует потребность в разработке автоматизированных методов классификации, которые могли бы повысить точность и эффективность работы.

В настоящее время наблюдается противоречие между объемами и качеством накапливаемых данных в ходе изучения субстратов морского дна и используемыми методами их обработки и анализа, что определяет значимость рассматриваемой проблемы.

Объект исследования

Объектом исследования являются алгоритмы и методы классификации типов субстратов дна на основе данных многолучевого эхолота.

Под классификацией типов субстратов понимают отнесение элемента признакового пространства к одному из известных классов, на основе имеющихся размеченных данных.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка автоматизированного метода классификации типов субстратов дна с использованием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения.

Задачами текущего этапа исследования являются:

- анализ существующих методов предобработки, классификации, постобработки изображений, и алгоритмов выделения контуров объектов на изображениях;
- анализ собираемых экспериментальных данных многолучевого эхолота;
- разработка схемы процесса обработки данных.

Методы исследования

Задача классификации типов субстратов дна по данным с многолучевого эхолота (МЭ) может быть сформулирована как задача распознавания образов по изображению. Для её решения была разработана схема процесса обработки данных в общем виде с момента их поступления до получения результатов классификации (рис. 1).



Рис. 1. Схема процесса обработки данных

Рассматриваемая на рисунке 1 схема отражает 4 этапа, через которые проходят данные.

На этапе подготовки данных используются первичные данные (рис. 2), получаемые с помощью многолучевого эхолота. Многолучевой эхолот используется, чтобы получить детальную информацию о структуре дна, что является необходимым условием для точной классификации [1]. Данные могут содержать шумы и артефакты, которые могут негативно повлиять на качество классификации. Поэтому необходимо провести предобработку данных, которая включает в себя процессы - нормализации: приведение данных к единому масштабу; шумоочистка: из данных удаляются помехи и артефакты, который может быть вызван различными факторами, такими как погодные условия или технические неисправности эхолота; сегментации: выделение отдельных объектов, которые в дальнейшем будут классифицироваться. Выбор методов предобработки данных зависит от специфики данных и задачи классификации. Для нормализации данных могут использоваться различные методы, такие как масштабирование min-max или стандартизация. Для удаления шума могут применяться методы фильтрации, такие как медианный фильтр или фильтр Калмана [2]. Для сегментации данных могут использоваться методы на основе пороговых значений, методы слияния регионов или методы, основанные на машинном обучении [3,4].

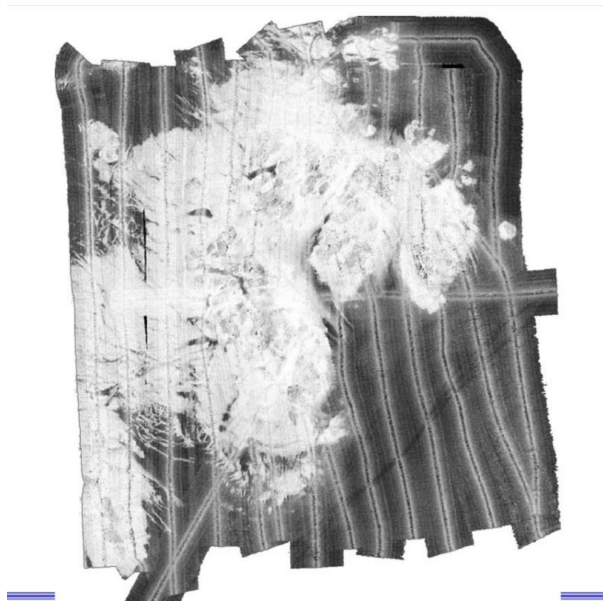


Рис. 2. Пример необработанных данных

На этапе выделения контуров объектов используются преобработанные данные. Целью выделения контуров объектов является получение точного представления о форме и границах объектов, которые будут классифицироваться. Для выделения контуров объектов могут быть использованы методы - определения краев: метод позволяет обнаружить границы объектов в изображении; сглаживания: метод позволяет устранить неровности на контурах объектов; аппроксимации: метод позволяет упростить контуры объектов [5,6]. Выбор методов выделения контуров объектов зависит от качества данных и задачи классификации. Для определения краев могут использоваться различные методы, такие как оператор Кэнни или оператор Собеля [7,8]. Для сглаживания контуров могут применяться методы усреднения или медианной фильтрации. Для аппроксимации контуров могут использоваться методы на основе сплайнов или методов активного контура.

На этапе классификации объектов используются полученные контуры объектов. Целью классификации объектов является определение типа каждого объекта, выделенного на предыдущем этапе. Основными классами объектов будут являться песок, галька, скалы, ил, глина и другие виды субстратов. Для классификации объектов могут использоваться различные типы нейронных сетей - сверточные нейронные сети (CNN): CNN являются эффективным инструментом для классификации изображений [9]. Они могут извлекать локальные признаки из изображений, которые затем используются для определения класса объекта; сверточные рекуррентные нейронные сети (CRNN): CRNN являются расширением CNN, которые могут обрабатывать последовательности изображений [10]. Это делает их подходящими для задач, в которых объекты могут быть представлены последовательностью кадров, например, для видео. Выбор методов классификации объектов зависит от типа данных, размера набора данных и вычислительных ресурсов. CNN являются универсальным инструментом, который может быть эффективным для различных задач классификации. CRNN могут быть более эффективными для задач, в которых объекты представлены последовательностью кадров.

Постобработка основывается на полученных на предыдущих этапах классах объектов. Целью постобработки является улучшение качества результатов классификации. Для постобработки могут использоваться следующие методы - визуализация: результаты классификации могут быть визуализированы для того, чтобы оценить их качество; статистический анализ: результаты классификации могут быть проанализированы с помощью статистических методов для того, чтобы выявить закономерности и ошибки классификации. Выбор методов постобработки зависит от задачи классификации и требуемого уровня детализации. Визуализация результатов является важным инструментом для оценки качества классификации. Статистический анализ может быть использован для выявления закономерностей и ошибок классификации, что может использоваться для настройки алгоритма классификации с целью повышения качества его работы.

Результаты исследования

На сегодняшний день подходы к изучению субстратов морского дна нуждаются в изменении. Традиционные методы классификации типов субстратов дна, основанные на визуальном анализе данных многолучевого эхолота, обычно требуют значительного времени и участия эксперта.

Современные устройства регистрации данных – эхолоты, обеспечивают возможность сбора данных в объемах, превышающих объемы данных, которые могут быть в разумное время обработаны экспертом, что ставит задачу в контексте анализа больших данных (BigData). Помимо этого, отмечается, что экспертный подход ограничен в точности из-за субъективности оценок экспертов.

Решением возникших проблем может стать использование методов, основанных на машинном обучении. Машинное обучение предлагает следующие решения [11]:

- автоматизация процесса классификации типов субстратов дна;
- сокращение времени анализа;
- повышение точности классификации путём обучения модели на основе больших объемов данных и учёта множества признаков данных;
- классификация сложных паттернов и обнаружение скрытых зависимостей в данных.

В сравнении с традиционными методами классификации, методы, основанные на машинном обучении, обеспечивают более высокую точность и эффективность классификации, что делает их выбор более предпочтительным в работе с большим объемом и сложностью данных.

Примеры успешного внедрения методов машинного обучения и искусственного интеллекта в реальные исследования подтверждают их целесообразность и эффективность в решении задач классификации типов субстратов дна:

– исследование морского дна в Арктике [12]. Исследователи применили нейронные сети для классификации типов субстратов дна в Арктике. Это позволило им создать детальную карту распределения различных типов субстратов дна в этом уникальном регионе. Полученные данные не только помогают в изучении и понимании морской экосистемы Арктики, но и способствуют выявлению паттернов изменений в подводной среде, связанных с климатическими изменениями и антропогенными воздействиями;

– картирование морских водорослей. Ученые применили методы машинного зрения для создания карт распространения морских водорослей [13]. Это позволило им отслеживать изменения в распространении водорослей во времени и пространстве. Полученные данные не только полезны для научных исследований и планирования охраны окружающей среды, но и находят широкое применение в различных отраслях, включая морское сельское хозяйство, фармацевтику и пищевую промышленность;

– обнаружение подводных объектов. Алгоритмы машинного обучения эффективно применяются для обнаружения различных подводных объектов, включая затонувшие корабли и самолеты [14,15]. Это имеет критическое значение для морской археологии, поисково-спасательных операций и обеспечения безопасности судоходства. Применение методов машинного обучения в этой области демонстрирует их важность и широкий спектр применения в решении реальных проблем морской деятельности. Например, в результате применения этих методов удалось обнаружить затонувшие корабли и самолеты, что не только имеет историческую ценность, но и помогает в решении множества вопросов в области безопасности и археологии.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, отметим, что использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки данных МЭ открывает новые возможности для классификации типов субстратов дна. Эти технологии позволят повысить точность, эффективность и объективность процесса классификации.

Разработанная схема может быть положена в основу разработки автоматизированной системы для решения задачи классификации типов субстратов дна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астров, В.Ю. Миграции морских рыб. – М.: Пищ. пром-сть, 1982. – 230 с.
2. Булатов, М.И. Калинин, И.Г. Практическое руководство по фотометрическим методам. – Ленинград, 1986. – 432 с.
1. X. Lurton, G. Lamarche. Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. Guidelines and Recommendations // GeoHab – 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://zenodo.org/records/10089261> (дата обращения: 02.05.2024);
2. High-resolution Seafloor Survey and Applications / Z. Wu [etc.]. – Singapore: Springer, 2021. – 400 p. (дата обращения: 02.05.2024);
3. Паламарь И.Н., Сизов П.В. Метод сегментации изображений с применением выращивания областей и многомасштабного анализа / И.Н. Паламарь, П.В. Сизов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева – 2010 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-segmentatsii-izobrazheniy-s-primeneniyem-vyraschivaniya-oblastey-i-mnogomasshtabnogo-analiza/viewer> (дата обращения: 02.05.2024);
4. «Обзор алгоритмов сегментации» [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/intel/articles/266347/> (дата обращения: 02.05.2024);
5. «Smoothing» [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Smoothing> (дата обращения: 03.05.2024);
6. «Active contour model» [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Active_contour_model (дата обращения: 03.05.2024);
7. «Canny Edge Detector» [Электронный ресурс]. URL: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/canny.htm> (дата обращения: 03.05.2024);

8. «Sobel Edge Detector» [Электронный ресурс]. URL: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/sobel.htm> (дата обращения: 03.05.2024);
9. «Introduction to Convolutional Neural Networks (CNN)» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/convolutional-neural-networks-cnn/> (дата обращения: 03.05.2024);
10. «Convolutional Recurrent Neural Network For Text Recognition» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xenonstack.com/insights/crnn-for-text-recognition> (дата обращения: 03.05.2024);
11. I. Marsh, C. Brown. Neural network classification of multibeam backscatter and bathymetry data from Stanton Bank (Area IV) // Applied Acoustics. – 2009. – №70. – P. 1269-1276 (дата обращения: 26.04.2024);
12. «A new dataset of Arctic images will spur artificial intelligence research» [Электронный ресурс]. URL: <https://news.mit.edu/2023/new-dataset-arctic-images-will-spur-artificial-intelligence-research-0724> (дата обращения: 26.04.2024);
13. «World's largest map of kelp forest canopies now available» [Электронный ресурс]. URL: <https://phys.org/news/2022-04-world-largest-kelp-forest-canopies.html> (дата обращения: 29.04.2024);
14. «Underwater Rescue Target Detection Based on Acoustic Images» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10974114/> (дата обращения: 30.04.2024);
15. «Archaeologic Machine Learning for Shipwreck Detection Using Lidar and Sonar» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/9/1759> (дата обращения: 30.04.2024);

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF CLASSIFICATION OF BOTTOM SUBSTRATE TYPES FROM MULTIBEAM ECHOSOUNDER DATA

¹Vasiliev Danil Evgenyevich, 2nd year Master's student

²Ershov Yuri Alexandrovich, 2nd year Master's student

³Shashin Nikita Vladimirovich, 2nd year Master's student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹danil.vasilev@digital-klgtu.ru; ²yurij.ershov@digital-klgtu.ru;

³nikita.shashin@digital-klgtu.ru

This article deals with the application of neural networks to automate the process of classification of bottom substrate types. The article presents a description of traditional classification methods, gives examples of successful application of neural networks in related tasks, analyses methods of image processing at different stages. The scheme of the data processing process, implying the application of neural networks for automation, is compiled and described.

КОМПОНЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА РАБОТНИКОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Гоконаев Мирослав Валерьевич, канд. техн. наук,
и. о. директора института цифровых технологий

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: miroslav.gokonaev@klgtu.ru

В настоящее время компьютерное моделирование и технологии машинного обучения широко используются в различных сферах человеческой деятельности благодаря растущей адаптации компьютерной техники к потребностям человека. Это связано как с увеличением вычислительных мощностей, так и совершенствованием программного обеспечения и алгоритмов.

Использование таких технологий для анализа человеческих способностей на основе результатов социологических и психологических опросов представляет собой перспективное направление исследований. Результаты таких исследований могут быть полезны при разработке кадровой политики в организациях разных уровней, включая государственные учреждения.

Таким образом, представленное исследование направлено на создание структурированного подхода к анализу человеческого капитала и трудового потенциала, а также на выявление факторов, влияющих на результаты трудовой деятельности.

Введение

Одним из факторов, определяющих способность социально-экономической единицы или субъекта хозяйственной деятельности (структуры, ведомства, организации, предприятия, фирмы, подразделения или сотрудника) быстро и качественно достигать поставленных целей и решать возникающие задачи, является оптимальное использование трудового потенциала. В свою очередь, трудовой потенциал это разноуровневое и структурно зависящее определение, которое применимо и к групповым структурам (предприятиям, организациям, ведомствам и т.д) и локальным трудовым единицам – работникам (сотрудникам).

Анализ трудового потенциала представляет собой актуальную задачу в контексте вклада человеческого капитала в экономический рост и производительность. В исследованиях и публикациях представлено несколько подходов и методов, позволяющих провести такую оценку, с особым акцентом на отдельные характеристики рабочей силы или персонала.

Некоторые авторы [5, 8, 9, 15] относят к аспектам человеческого капитала количественные показатели, которые позволяют формализовать различные уровни образования, квалификации и навыков работников, коммуникативные способности, креативность, командную работу, лидерство и т.п.

В работе [14] подчеркивается необходимость использования композиционного подхода в оценке и управлении трудовым потенциалом, что подразумевает необходимость учитывать не только параметры, относящиеся к работнику, но и средовые параметры: условия труда и применяемые технологии менеджмента.

Большинство исследований затрагивает разнообразные аспекты оценки трудового потенциала, а также методики его формирования и управления. Эти работы акцентируют внимание на важности эффективного управления трудовым потенциалом, что способствует более точному определению возможностей и ограничений на разных уровнях – от отдельных подразделений организаций до государственных учреждений.

Базовым элементом при формировании группового трудового потенциала является трудовая единица – человек. В этой работе будут представлены результаты исследования характеристик формирующих трудовой потенциал, а также выявлено их влияние на уровень трудового потенциала отдельного человека, в зависимости от различных форм занятости.

Цель исследования

В работах отдельных авторов [6, 7, 10] встречается определение трудового потенциала. Одним из наиболее емких, на наш взгляд, является определение, представленное в работе [3]: «Трудовой потенциал – социальный феномен, объясняющий способность актора (работника, коллектива) к выполнению трудовой функции, чувствительный к взаимодействию с другими трудовыми потенциалами, изменениям трудовой среды и проявляющий себя в процессе трудовой деятельности».

Огий О.Г. рассматривает трудовой потенциал как свойство актора, характеризующее возможность достигать определенной результативности, зависящая от его способностей, компетентности, поведения; условий труда и качества управления [1, 4].

Также, понятие трудового потенциала отдельной личности можно представить как меру располагаемых ресурсов и возможностей человека, непрерывно формируемых в процессе жизни и реализующихся в трудовом поведении, определяющих результативность труда.

В большинстве определений трудового потенциала присутствуют, в той или иной форме, такие характеристики, как профессиональные знания, практические навыки, личностные черты и психофизиологические качества [12, 13]. Это позволяет сформировать набор составляющих признаков, которые можно оценить посредством тестирования или анкетирования, и на основании которых, возможно формирование индекса трудового потенциала.

В целях исследования, описанные характеристики личности определим как внутренние признаки или факторы.

Факторы, связанные с материально-техническим обеспечением трудового процесса и уровнями сложности труда в различных сферах деятельности, будем считать внешними и на данном этапе исследования примем константными. В данной работе не будет рассмотрено изменение факторов во времени и влияние этих изменений на трудовой потенциал. Однако, взаимосвязь внутренних признаков и их корреляция с трудовым потенциалом будут рассмотрены и проанализированы.

Материалы и методы

Экспериментальные данные составила база данных «Человеческий капитал рыбохозяйственного комплекса» [2]. Для анализа использованы 1049 строк базы данных, представляющих результаты опроса и обследования работников рыбохозяйственного комплекса, включая членов экипажей морских судов. Возрастная категория опрошенных от 16 до 75 лет.

Рассматривается стационарная модель трудового потенциала, что подразумевает анализ текущего состояния параметров.

Для оценки компонентов трудового потенциала работников, попавших в выборку, рассмотрен индивидуальный случай, включающий такие параметры, как возраст, семейное положение, субъективная оценка здоровья, социальное самочувствие, уровень образования, стаж работы и стремление повысить квалификацию, а также результаты обследования по методикам BFI-2 (характеристики личности), ценностный опросник Шварца (ценностные ориентации и ценностный профиль), Motype(мотивация).

Как уже отмечалось, в базе данных представлены результаты по различным формам уровням занятости. Это позволяет сформировать дифференцированный подход к оценке влияния признаков на индекс трудового потенциала в зависимости от должностного статуса и характеристик занятости.

Значения индекса трудового потенциала определили как целевой признак, который позволяет наиболее объемно определить текущие возможности работника в зависимости от тех или иных признаков.

Как было условлено ранее, внешние факторы трудового потенциала не учитывались. Поэтому, в данной работе, проанализированы показатели трех субиндексов трудового потенциала: способности, компетентность, поведение [14].

Каждый аспект включает следующие критерии:

1) способности – собственные возможности человека, наследственные и сформированные в процессе жизни: физическое состояние, потенциал здоровья, особенности личности.

2) компетентность – приобретенные способности человека, за время обучения и в течение трудовой деятельности (уровень квалификации, компетентностная проактивность, трудовой стаж и опыт).

3) поведение – мотивации и ценности, определяющие активность и целенаправленность при выполнении работы (тип трудовой мотивации, ценностные идеалы, ценностный профиль личности).

Для понимания оценки влияния каждого признака на индекс трудового потенциала представим их логическую схему (рис. 1). На схеме, также, представлена кодировка признаков.

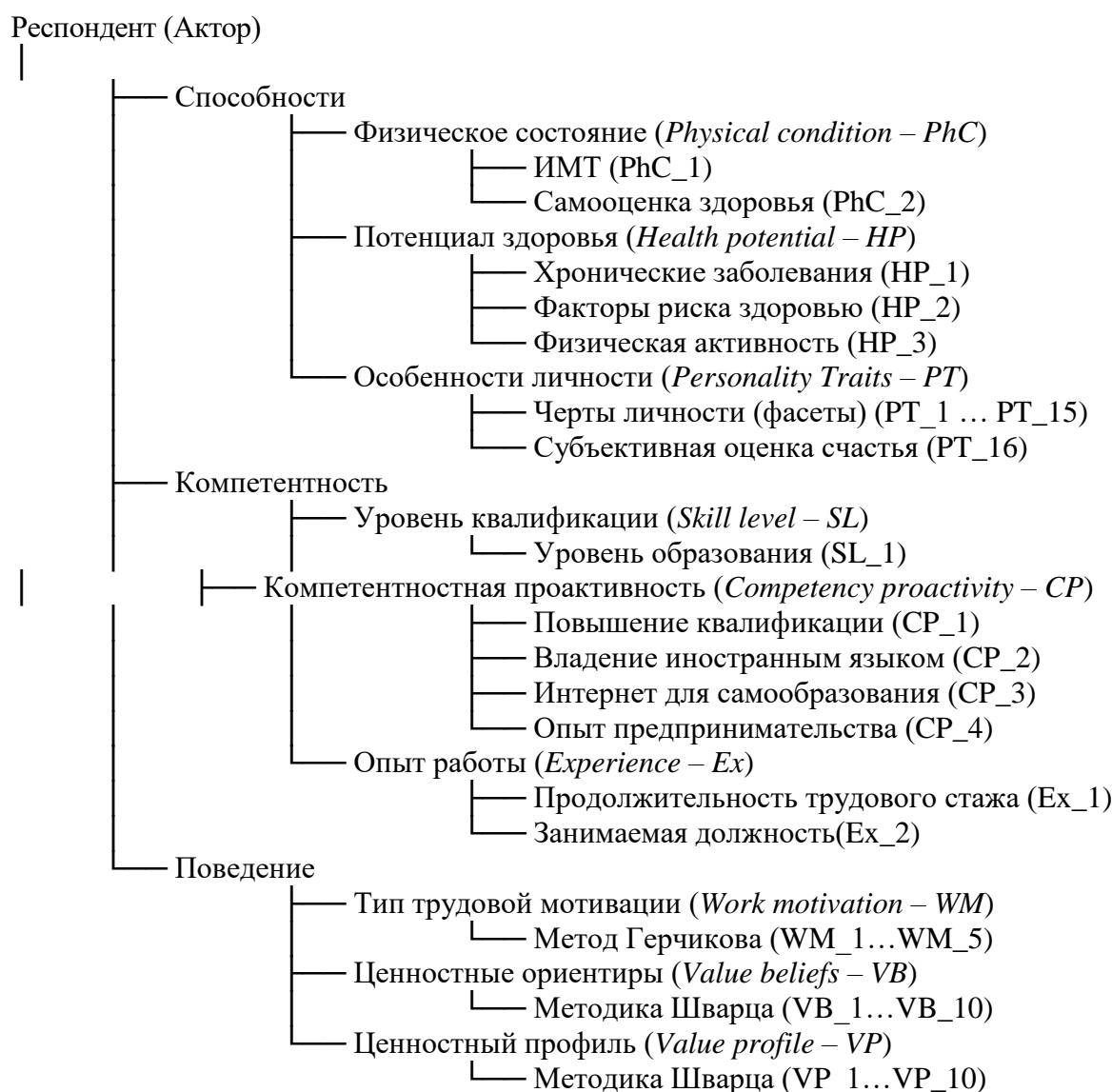


Рис.1. Схема компонентов личностных качеств респондента

Для удобства представления результатов анализа, исследуемые показатели признаков BFI-2 (характеристики личности), ценностного опросника Шварца (ценностные ориентации и ценностный профиль), Мотуре (мотивация), также закодированы¹.

¹BFI-2 (характеристики личности): Общительность – PT_1; Настойчивость – PT_2; Энергичность – PT_3; Сочувствие – PT_4; Уважительность – PT_5; Доверие – PT_6; Организованность – PT_7; Продуктивность – PT_8; Ответственность – PT_9; Тревожность – PT_10; Депрессивность – PT_11; Эмоциональная изменчивость (Эмоциональная волатильность) – PT_12; Любознательность – PT_13; Эстетичность – PT_14; Творческое воображение – PT_15.

Ценностные ориентиры / Ценностный профиль (Шварц): Безопасность – VB_1/VP_1; Традиции – VB_2/VP_2; Самостоятельность – VB_3/VP_3; Достижения – VB_4/VP_4; Гедонизм – VB_5/VP_5; Доброта – VB_6/VP_6; Конформность – VB_7/VP_7; Универсализм – VB_8/VP_8; Стимуляция – VB_9/VP_9; Власть – VB_10/VP_10.

Мотуре: Профессиональный тип – WM_1; Инструментальный тип – WM_2; Патриотический тип – WM_3; Хозяйский тип – WM_4; Избегательный тип – WM_5.

Результаты и обсуждение

В процессе предобработки данных определили признаки, относящиеся к категориальному и дискретному типам. Категориальные признаки: PhC_1, HP_1, HP_3, CP_1, CP_2, CP_3, CP_4 привели к булевому виду, а признаки PhC_2, PT_16, SL_1, Ex_1, Ex_2 преобразовали в целочисленный вид: $x_i \in [0, n]$, где n – максимальное значение в цепи.

Для дальнейшего анализа полученных данных, результаты визуализировали в виде непрерывного графика. Пример визуализации четырех случайных респондентов, дифференцированных по количеству должностей, представлен на рис. 2.

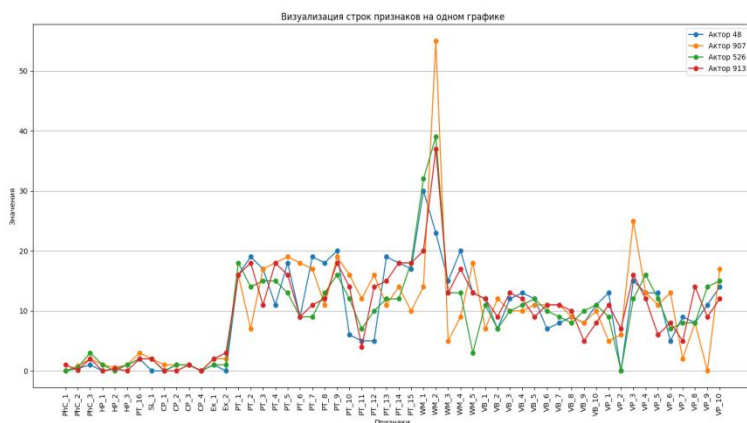


Рис.2 Диаграмма значений компонентов ТП для случайного респондента (цвет линии: синяя – студенты; зеленая – рабочие и служащие; оранжевая – специалисты; красная – руководители)

При построении графика (рис. 2), для признаков с дискретными данными, использовали непосредственные величины (баллы), полученные в результате тестирования. Представленные графики отражают индивидуальность и уникальность психофизиологических характеристик каждого респондента. Заметны всплески максимумов и минимумов в различных областях графика отличающиеся для каждого респондента.

Рассмотрим распределение значений индекса ТП и его взаимосвязь с признаками.

На рисунке 3 представлено распределение значений индекса трудового потенциала для каждого респондента.

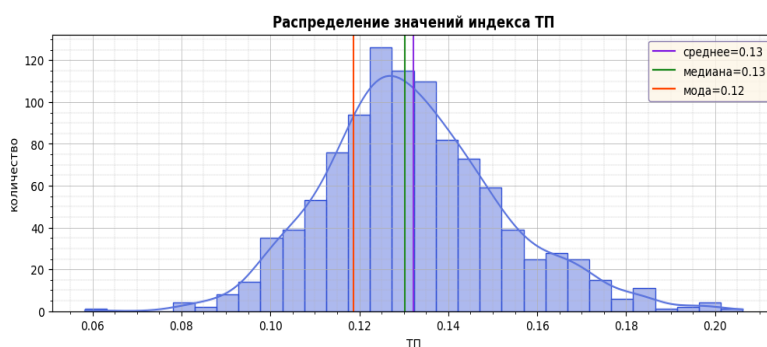


Рис. 3 Распределение значений индекса трудового потенциала

Как видно из диаграммы, приведенной на рисунке 3, распределение значений индекса ТП стремится к нормальному. Также, на рисунке приведены значения медианы, среднего и моды признака для всего набора значений индекса ТП.

Для выявления выбросов, воспользовались методикой группировки данных ТП по заданной категории – занимаемой должности, затем построили диаграмму размаха для визуализации выбросов в значениях индекса ТП.

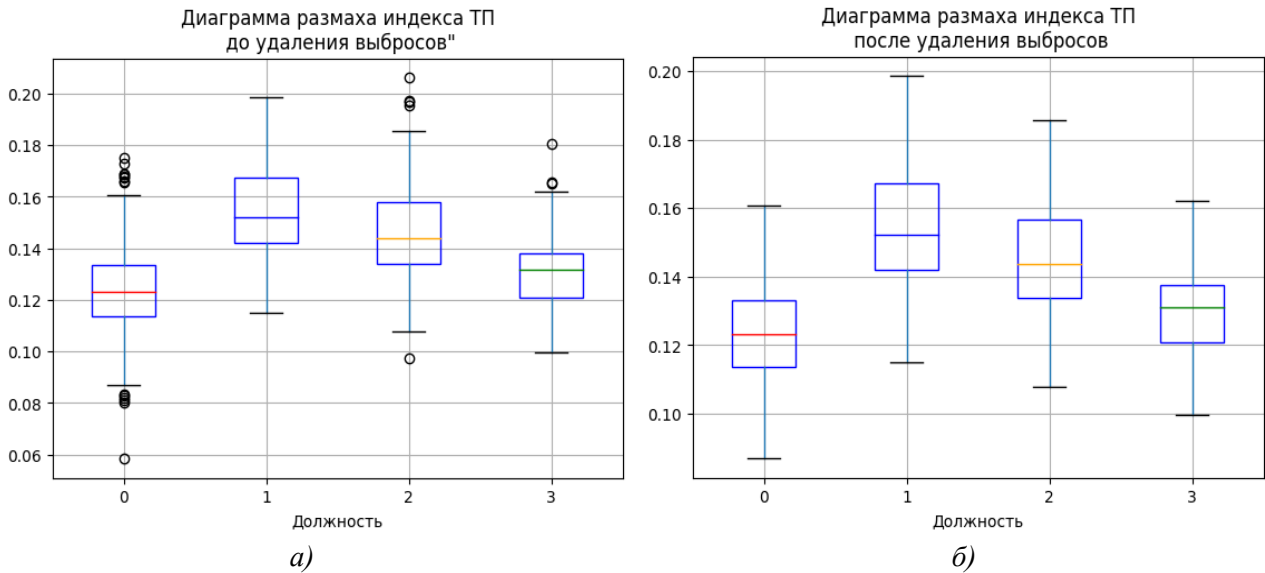


Рис.4 Диаграммы размаха индекса ТП: а -до удаления выбросов; б – после удаления выбросов

Как видно из диаграммы размаха (рис.4. а.) во всех категориях, в значениях целевого признака присутствуют выбросы, искажающие данные. Если обратить внимание на медианы (рис.4. а, б.), изображенные цветными линиями, то видно изменение значений в зависимости от занимаемой должности.

Для дальнейших исследований удалили выбросы и привели сгруппированные данные в табличной форме.

Таблица 1

Распределение значений индекса ТП по роду деятельности

Должностной статус	ТП_ср	ТП_мед	ТП_макс	ТП_мин
0	0,123447	0,123095	0,160596	0,086875
1	0,153986	0,152119	0,198631	0,115107
2	0,145189	0,143574	0,18558	0,107735
3	0,129462	0,130878	0,162093	0,099592

В табл.1 представлены статистические характеристики распределения индекса ТП, сгруппированные по должностному статусу. Категории соответствуют следующему виду деятельности: 0 – обучающиеся в образовательных организациях, подведомственных Росрыболовству, 1 – занимающие руководящие должности (руководители, заместители руководителей), 2 – специалисты, 3 – рабочие и служащие. Как видно, из анализа данных среднего (ТП_ср) и медианы (ТП_мед) индекса ТП, наибольшие величины трудового потенциала относятся к классу руководящих должностей (ТП_ср = 0,153986 и ТП_мед = 0,152119), затем идет снижение трудового потенциала по порядку: для специалистов, служащих и рабочих, и самые низкие значения трудового потенциала отмечены у обучающихся (ТП_ср = 0,123447 и ТП_мед = 0,123095). Такое распределение коррелирует с результатами анализа при помощи диаграммы размаха для данных, очищенных от выбросов (рис.4.б).

На основании представленного анализа, можно сделать вывод, о том, что величина индекса трудового потенциала зависит от уровня занимаемой должности и возрастает с повышением этого уровня. Также можно отметить, что трудовой потенциал возрастает с опытом, если предположить, что продвижение по «карьерной лестнице» требует соответствующего стажа работы. Очевидно, что стаж у обучающихся меньше, чем у других категорий и, соответственно, коэффициент трудового потенциала ниже. Это подтверждает значительное влияние рабочего опыта на коэффициент ТП.

В тоже время, влияние личностных черт и психоэмоциональных качеств работника на трудовой потенциал неочевидно.

Для проверки гипотезы о влиянии этих характеристик на ТП, и с целью визуального анализа потенциальных закономерностей (зависимостей) построили диаграмму взаимосвязей пар призна-

ков. Исследуемый набор данных представлен признаками различных типов: категориальные и дискретные. Часть диаграммы, в рамках критерия «Особенности личности», приведена на рисунке 5.

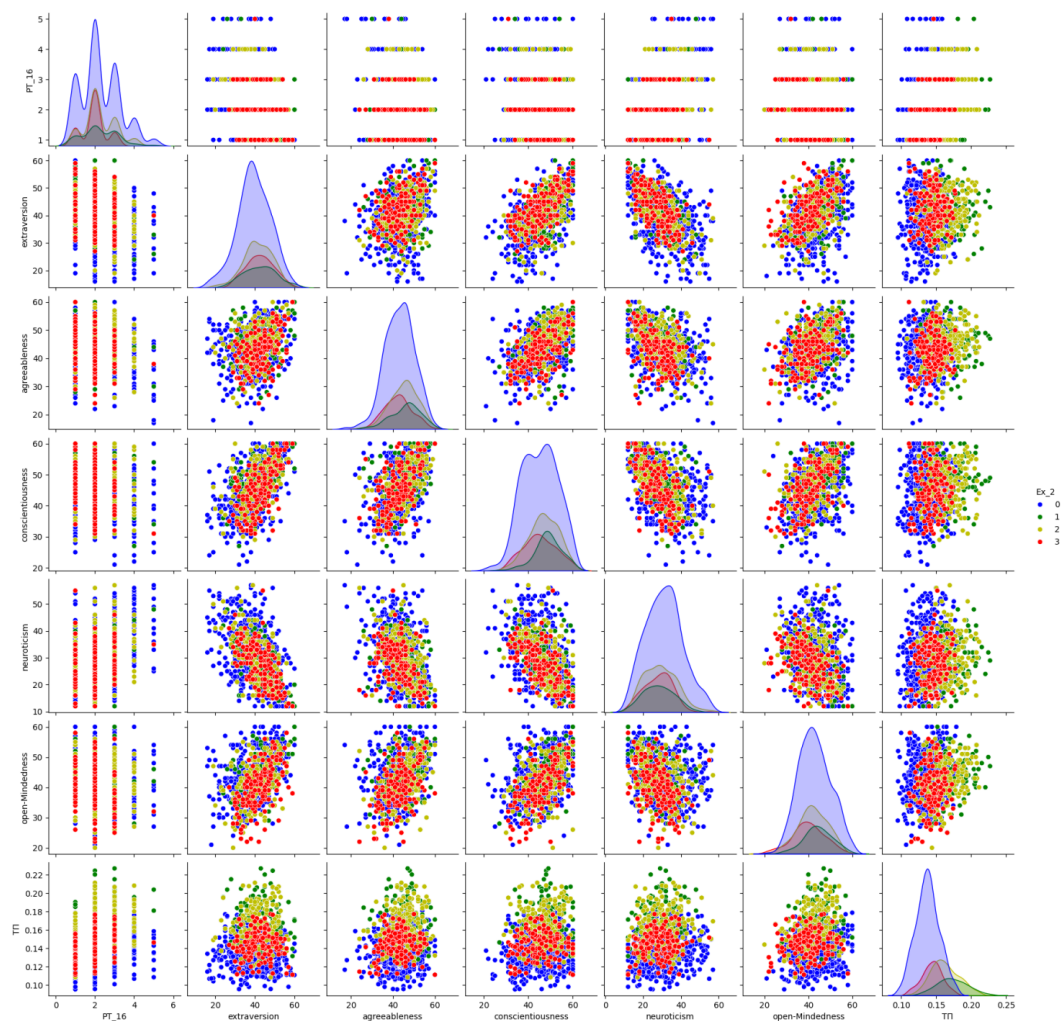


Рис. 5 Диаграмма взаимосвязей признаков критерия «Особенности личности»

На диаграмме (рис. 5) представлены взаимосвязи пяти общих черт личности по BFI-2 (экстраверсия, доброжелательность, добросовестность, негативная эмоциональность, открытость опыту), а также признака PT_16 (субъективная оценка счастья) с индексом ТП, аналогичным образом были проанализированы все показатели, представленные на схеме (рис. 1.). Как видно из рисунка 5, явная взаимосвязь между признаками не прослеживается, и сделать вывод о значимости отдельных признаков в оценке трудового потенциала невозможно.

Для компонентного анализа взаимосвязей признаков применили методы расчета и сравнения коэффициентов корреляции.

Расчет коэффициентов корреляции между парными переменными данных является стандартным инструментом для анализа взаимосвязей. Выбор метода корреляционного анализа зависит от типов данных. Для количественных переменных хорошие результаты может дать корреляция Пирсона, тогда как для категориальных данных применяется коэффициент Крамера.

Коэффициент корреляции Пирсона используется для анализа взаимосвязи количественных переменных и представляется в диапазоне значений $[-1, 1]$, где: 1 – означает идеальную положительную линейную зависимость, -1 – означает идеальную отрицательную линейную зависимость, а 0 – указывает на отсутствие линейной зависимости. Применение коэффициента Пирсона предполагает нормальное распределение данных и линейность взаимосвязи. При оценке категориальных переменных дает некорректные результаты, а дискретные значения могут использоваться только при ранжировании.

Коэффициент Крамера ϕ_C применяется для категориальных переменных и представляется в диапазоне значений $[0, 1]$, где: 0 – означает отсутствие связи между переменными, 1 – означает полную зависимость. При расчете, не зависит от нормальности распределения данных.

В работе [11] утверждается, что при относительно небольшом размере выборки, сопоставимом с количеством ячеек, статистические колебания могут привести к большим значениям ϕ_C без убедительных доказательств значимой корреляции.

Принимая во внимание вышесказанное, анализ взаимосвязей разнородных типов данных с применением коэффициентов Пирсона и Крамера не даст достоверных результатов, отражающих обобщенную взаимосвязь признаков с целевым индексом ТП. Потребуется разделять признаки на категориальные и непрерывные, затем анализировать отдельно, применяя различные методики расчета коэффициента корреляции: Пирсона и Крамера.

С целью оценки взаимосвязей всех признаков представленных данных применили методику вычисления коэффициента корреляции ϕ_K (ФиКей) для каждого признака и ТП. Данный коэффициент позволяет сравнивать нелинейные зависимости интервальных, порядковых и категориальных переменных [11].

Коэффициент ϕ_K находит все более широкое применение в современном анализе данных при изучении зависимостей между набором переменных со смешанными типами, где некоторые переменные являются категориальными, а другие непрерывными. Диапазон значений коэффициента корреляции лежит в пределах $[0; 1]$, где: 0 – отсутствие ассоциации, а 1 – полная взаимосвязь.

Коэффициент корреляции ϕ_K вычисляется путем инверсии статистики χ^2 теста на сопряженность. Значение χ^2 , полученное из данных, интерпретируется как исходящее из двумерного нормального распределения с фиксированным уровнем статистического шума и параметром корреляции ϕ_K . Нелинейные зависимости учитываются ϕ_K через тест χ^2 на независимость переменных. В случае двумерного нормального распределения входных данных с равномерно распределенными интервальными переменными, корреляция ϕ_K сводится к коэффициенту корреляции Пирсона. В отличие от ϕ_C Крамера, значение ϕ_K остается стабильным независимо от количества выбранных интервалов для каждой интервальной переменной, что делает его интерпретацию более однозначной. В то же время, как и ϕ_C Крамера, ϕ_K подвержен статистическим флуктуациям. Однако, в отличие от ϕ_C Крамера, ϕ_K включает поправку на статистический шум. Также, отмечается, что ϕ_K может быть применен к многокомпонентным данным [11].

Результаты расчета коэффициентов ϕ_K корреляции, исследуемых признаков, представлены в виде диаграммы на рис.6.

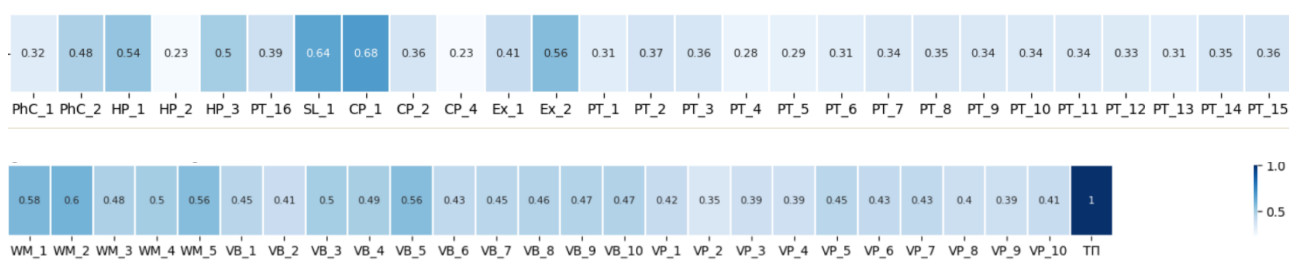


Рис.6 Коэффициенты корреляции ϕ_K признаков с целевым признаком ТП

На рис.6 наглядно представлена сила связи компонент трудового потенциала сего целевым индексом. Как видно, признаки, относящиеся к «Компетентности», имеют более высокие коэффициенты корреляции с ТП. Среднее значение коэффициентов корреляции признаков (уровень образования, наличие повышения квалификации, владение иностранными языками, опыт предпринимательской деятельности и стаж) составляет 0,48. Это свидетельствует о важности постоянного повышения уровня знаний и компетентностей работников с целью повышения трудового потенциала.

Также высокую корреляцию с ТП имеют физиологические компоненты, относящиеся к критерию «Способности». Средний коэффициент корреляции, входящих в аспект признаков, составляет 0,42. Эти результаты указывают на высокое влияние физиологических факторов на способности актора и его ТП. Необходимо отметить, что большую корреляцию с ТП имеют признаки: субъективная оценка здоровья,

наличие хронических заболеваний и уровень физической активности, факторы риска здоровью. К критерию «способности», также отнесены признаки ВФИ-2 (на уровне фасет), отмеченные кодом «РТ» на диаграмме, и субъективная оценка счастья. Как видно, данные признаки имеют, аналогично, высокие коэффициенты корреляции. Это позволяет предположить, что личностные характеристики, сформированные в процессе жизни, имеют значительное влияние на трудовой потенциал актора.

Признаки, входящие в аспект «Поведение», имеют разброс значений коэффициентов корреляции от 0,27 до 0,55. Эти значения показывают значимость отдельных компонент и подтверждают гипотезу о влиянии трудового поведения на результативность работника.

Заключение

Результаты анализа базы данных о характеристиках работников рыбохозяйственного комплекса позволяют сделать вывод о перспективности мультифакторных исследований в оценке результативности труда.

Доступные инструменты предобработки данных позволяют сопоставлять и использовать композиционно разноуровневые показатели и метрики, в том числе результаты социологических исследований, специального тестирования, данных самооценки и формализованных показателей без потери валидности результатов.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о высокой информативности и значимости всех компонент и показателей рассматриваемой модели трудового потенциала.

Проведено сравнение и выбор методов оценки корреляции признаков с целевыми значениями, в результате чего выбран метод определения ϕ_k корреляции. На основании результатов расчета коэффициентов ϕ_k корреляции проведен анализ взаимосвязей признаков с индексом ТП.

Данные о степени влияния отдельных компонент на результирующий индекс трудового потенциала имеют не только исследовательскую, но и практическую ценность, поскольку могут быть использованы для более точной «настройки» процессов управления персоналом, в целеполагании и стратегировании. Использование эффективного инструментария управления позволит принимать более адекватные ситуации (состоянию ТП) решения, экономить ресурсы за счет полноты и точности информации при постановке целей и оценке результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огий О. Г. Трудовой потенциал и экономическое поведение рыбохозяйственных организаций: взаимосвязь и влияние на отраслевую стратегию // Балтийский экономический журнал. 2024. №2(46). С 46-64. <https://doi.org/10.46845/20733364-2024-0-2-46-64>
2. Огий О. Г. Человеческий капитал рыбохозяйственного комплекса. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622181 от 03.07.2023 г.
3. Огий О. Г., Осипов В.Ю., Тристанов А. Б., Жукова Н.А. Процесс управления трудовым потенциалом рыбохозяйственного комплекса как объект моделирования // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. - № 3-1(53). – С. 255 –261
4. Огий, О. Г. Социальные аспекты воспроизводства трудового потенциала отраслей ресурсного типа на территориях с монопроизводственной специализацией : специальность 22.00.03 "Экономическая социология и демография" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата социологических наук. – Хабаровск, 2003. – 22 с. Электронный ресурс <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01003236719?page=1&rotate=0&theme=white>
5. Потуданская В. Ф., Трункина Л. В. Оценка трудового потенциала персонала предприятия // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2011. – № 4 (17).
6. Топилин А. В. Трудовой потенциал России: демографические и социально-экономические проблемы формирования и использования // Вестник Российской академии наук. - 2019. - Том 89. - № 7. - С. 736-744
7. Трудовой потенциал России: оценка и инструменты повышения уровня реализации: демография / А.В. Попов; под науч. рук. д.э.н. А.А. Шабуневой. –Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН, 2019. – 181 с.

8. Хадасевич Н. Р. Оценка трудового потенциала: подходы и методы. Интернет-журнал «Науковедение» – 2014. – № 6 (25)
9. Чернышова Л. И. К вопросу оценки трудового потенциала транспортного предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. - № 10. - С. 339 - 343
10. Шаталова, Н. И. Познание трудового потенциала работника как социальная проблема / Н. И. Шаталова // Дискуссия. – 2011. – № 10. – С. 152-157
11. Ваак, М. & Коопман, Р. & Сноек, Н. & Клус, Сандер. (2020). A new correlation coefficient between categorical, ordinal and interval variables with Pearson characteristics. Computational Statistics & Data Analysis. 152. 107043. 10.1016/j.csda.2020.107043.
12. heo, J.: A Study on the Factors Affecting Satisfaction with Working Conditions in Agriculture. Korean Journal of Agricultural Management and Policy. – 2022. - 49, P. 484-503;
13. Conway, P., Rose, U., Formazin, M., Schoellgen, I., d'Errico, A., Balducci, C., Burr, H.: Long term associations of psychosocial working conditions with depressive symptoms and work related emotional exhaustion: comparing effects in a 5 year prospective study of 1949 workers in Germany. International Archives of Occupational and Environmental Health, Springer. - 2023. DOI:10.1007/s00420-023-01959-8
14. Ogiy, O., Osipov, V. A Compositional Approach to Labor Potential Evaluation and a Neural Network Model for Its Forecasting. In: Polyakov, R. (eds) Ecosystems Without Borders 2023. EcoSystConfKlgtu 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 705. Springer, Cham (2023)
15. Tran P. High-Quality Human Resources in the Labor Market: A First Assessment of Potential and Obstacles. SAGE Open - 2024.- 14. DOI: 10.1177/21582440241267259

Анализ компонентов трудового потенциала рабочей силы рыболовства

COMPONENT ANALYSIS OF THE LABOR POTENTIAL OF EMPLOYEES OF THE FISHERIES COMPLEX

Gokonaev Miroslav Valerievich, Ph.D. in Engineering,
Director of the Institute of Digital Technologies

Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: miroslav.gokonaev@klgtu.ru

Currently, computer modeling and machine learning technologies are widely used in various areas of human activity due to the growing adaptation of computer technology to human needs. This is due to both the increase in computing power and the improvement of software and algorithms.

The use of these technologies for the analysis of human capabilities based on the results of sociological and psychological surveys is a promising area of research. The results of such studies can be useful in developing personnel policies in organizations at various levels, including government agencies. Thus, the presented study is aimed at creating a structured approach to the analysis of human resources and labor potential, as well as identifying factors influencing the results of labor activity.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

¹Лобачева Людмила Владимировна, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология»

²Щербакова Дарья Михайловна, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Горное дело, природообустройство и промышленная экология»

^{1,2}ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
Тверь, Россия, e-mail: ¹firslud@mail.ru; ²dscherbakowa@yandex.ru

На территории РФ находится значительное количество объектов захоронения отходов, не отвечающих требованиям безопасности для окружающей природной среды. Представлена математическая модель для оценки распространения загрязняющих веществ объекта захоронения отходов с учетом конвективной диффузии, дисперсии, процессов инфильтрации, трансформации веществ. При помощи программных комплексов, разработанных в ТвГТУ, выполнена компьютерная реализация представленной математической модели миграции загрязнений.

Введение

Для Российской Федерации, как и для большинства стран мира наиболее важной остается проблема загрязнения окружающей природной среды за счет функционирования объектов захоронения твердых коммунальных отходов (ТКО). Несмотря на разработку и положительную динамику внедрения современных технологий обращения с ТКО, большинство образующихся отходов депонируется на мусорных свалках и полигонах. Характерной чертой эксплуатации техногенных массивов подобного типа является совместное складирование различных групп коммунальных отходов, что формирует многокомпонентный состав очага загрязнения [1, с.74].

Потенциальная опасность объектов захоронения отходов связана с распространением загрязнений в различные элементы окружающей природной среды под воздействием внешних (температура, давление, физико-химические условия, состав отходов и др.) и внутренних (растворимость, сорбируемость, летучесть, валентность и др.) факторов. В связи с этим, важным аспектом оценки воздействия объектов утилизации ТКО в различных геосферах является изучение миграции загрязняющих веществ и факторов, способствующих вторичному загрязнению природной среды [2, с. 3].

Сложность, многофакторность и неоднозначность проблемы устойчивого развития территорий в экологическом аспекте делает необходимым алгоритмизацию процессов массопереноса поллютантов в почвогрунтовой толще техногенного объекта, что позволит дать количественную оценку нагрузки на нее и оценить экологический риск на разных этапах функционирования объекта захоронения ТКО.

Для прогнозной оценки распространения загрязнений объекта утилизации ТКО, необходимы научно обоснованные математические модели переноса поллютантов, которые останутся достоверными при широком варьировании пространственных и временных характеристик.

Важнейшим негативным воздействием свалки на окружающую среду является попадание образующегося в нем фильтрата в объекты гидросферы, и представляющего собой многокомпонентный, высокотоксичный раствор, образуемый в результате взаимодействия атмосферных осадков, вод поверхностного стока с отходами техногенного массива. Инфильтруясь через рабочее тело объекта захоронения отходов фильтрат в течение длительного времени является источником опасности загрязнения подземных и поверхностных вод, грунтового основания массива свалки [1. с. 74–75]. Поэтому оценка миграции загрязнений объекта размещения отходов представляется важной и актуальной задачей.

Постановка задачи

С целью анализа возможности применения расчетных моделей переноса веществ и компьютерных средств прогноза распространения поллютантов из тела полигона ТКО для оценки зон загрязнения подземных и поверхностных вод в районе размещения техногенного массива, проведена апробация расчетных данных для реального полигона ТКО, расположенного в Тверской области. Выбор объекта обусловлен сложными гидрогеологическими условиями, отсутствием сооружений по защите окружающей среды и размещением в водоохранной зоне водного объекта.

Материалы и методы

Для оценки текущего уровня загрязнения территории объекта захоронения коммунальных отходов, были выполнены полевые эксперименты, включающие отбор монолитов грунта, проб воды. В результате было установлено, что нормативные значения концентраций превышены по аммонийному и нитратному азоту, поэтому они были выбраны в качестве основных загрязнителей полигона ТКО [3, с.379].

Для оценки ареала распространения загрязнений водоносного горизонта территории полигона с помощью математических моделей была проведена серия лабораторных экспериментов по установлению гидродинамических параметров пласта. На основе полученных данных с помощью программных продуктов OWR-26 и ALPHA, разработанных в ТвГТУ были определены параметры миграции веществ (активная пористость, гидродисперсия, скорость сорбционного обмена, коэффициент распределения ионов и др.), входящие в расчетную модель массопереноса веществ.

Математическая модель распространения загрязняющих веществ от объекта захоронения отходов

Прогнозирование горизонтального переноса поллютантов в процессе фильтрации осуществлялось с помощью двухмерной математической модели процесса массопереноса веществ фильтрационным потоком в почвогрунтовой толще (1). При построении математической модели массопереноса, представляющую собой систему дифференциальных уравнений, учитываются основные факторы, влияющие на распространение загрязнений в подземном потоке: конвективный перенос, дисперсия, равновесный процесс сорбционного обмена между веществом в фильтрате и в почвенно-поглощающем комплексе. Исходя из анализа закономерностей миграции загрязнений в почве, в систему уравнений включены параметры k_1 и k_2 , характеризующие процессы трансформации вещества [3, с. 376]. Математическая модель массопереноса поллютантов включает уравнения материального баланса и кинетики сорбции веществ почвогрунтом:

$$\begin{cases} n_a \frac{\partial C_1}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - v \frac{\partial C_1}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial t} + k_1 C_2 - k_2 C_1, \\ \frac{\partial N_1}{\partial t} = -\beta(\alpha N_1 - n_a C_1), \\ n_a \frac{\partial C_2}{\partial t} = D_2 \frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} - v \frac{\partial C_2}{\partial x} - k_1 C_2. \end{cases} \quad (1)$$

где $C_1(x, t)$ – концентрация аммонийного азота в фильтрате, мг/дм³; $C_2(x, t)$ – концентрация нитрат-иона в фильтрате, мг/дм³; $N_1(x, t)$ – содержание аммонийного азота, сорбированного твердой фазой почвогрунта, г/м³; x – горизонтальная координата, м; $D_1 = D_{M1} + \lambda_1|v|$ – коэффициент конвективной диффузии аммонийного азота, м²/сут; $D_2 = D_{M2} + \lambda_2|v|$ – коэффициент конвективной диффузии нитрат-иона, м²/сут; D_{M1} , D_{M2} – коэффициенты молекулярной диффузии аммонийного и нитратного азота соответственно, м²/сут; λ_1 , λ_2 – гидродисперсия аммонийного и нитратного азота соответственно, м; v – скорость фильтрации, м/сут; n_a – активная пористость почвогрунта; β – коэффициент, характеризующий скорость сорбционного обмена, сут⁻¹; α – параметр, учитывающий распределение

вещества между поровым раствором и почвенно-поглощающим комплексом; k_1 – коэффициент, характеризующий скорость трансформации поллютантов, сут⁻¹; k_2 – эмпирический коэффициент, учитывающий процессы, приводящие к уменьшению содержания аммонийного азота в фильтрате за счет транспирации корнями растений, разбавления инфильтрационными водами, сут⁻¹; t – время, сут [3, с. 376–377].

Постановка краевых задач

Для получения численного решения математической модели массопереноса поллютантов в почвогрунтовой толще (1) определены начальные и граничные условия.

Математически начальные условия системы дифференциальных уравнений выражаются зависимостями вида (1):

$$t = 0: C_1(x, 0) = C_{10}(x), C_2(x, 0) = C_{20}(x), N_1(x, 0) = C_{10}(x) \cdot n_a / \alpha, \quad (2)$$

где $C_{10}(x)$, $C_{20}(x)$ – начальные (фоновые) распределения концентрации аммонийного и нитратного азота в фильтрате, мг/дм³;

На входном сечении потока ($x=0$) задано условие третьего рода, выражающее материальный баланс ингредиентов через сечение $x=0$ с учетом конвективного переноса и дисперсии.

В выходном сечении фильтрационного потока ($x=L$) задается условие второго рода, учитывающее отсутствие возврата поллютанта, где L – протяженность фильтрационного потока от свалки до озера, м:

$$t > 0 \begin{cases} x = 0: [C_1(0, t) - C_{n1}] \cdot v = D_1 [\partial C_1(0, t) / \partial x], \\ [C_2(0, t) - C_{n2}] \cdot v = D_2 [\partial C_2(0, t) / \partial x], \\ x = L: \partial C_1(L, t) / \partial x = 0, \partial C_2(L, t) / \partial x = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где C_{n1} – концентрация аммонийного азота в фильтрате, поступающая через сечение $x = 0$, мг/дм³; C_{n2} – концентрация нитратного азота в фильтрате, поступающая через сечение $x = 0$, мг/дм³ [2, с. 10–11].

При решении системы дифференциальных уравнений (1) за начальный отсчет времени ($t=0$) принято начало эксплуатации объекта захоронения коммунальных отходов. При этом для в начальном концентрационном состоянии подземные воды считались условно чистыми, т.е. незагрязненными. Начальное содержание аммонийного и нитратного азота в фильтрате было принято равным фоновым значениям концентраций мигрантов [2, с. 10–11].

Численное решение дифференциальных уравнений, описывающих перенос загрязняющих веществ

Математическая задача миграции поллютантов (1) – (3) решается с помощью интегрального преобразования Лапласа. Решение этой задачи имеет следующий вид [4, с.128]:

$$C(x, t) = \frac{1}{2} C_n (e^{z_1} \operatorname{erfc} \varphi_1 + e^{z_2} \operatorname{erfc} \varphi_2) - \frac{1}{2} C_0 e^{-\gamma' \cdot t} \left(e^{\frac{v' \cdot x}{D'}} \operatorname{erfc} \varphi_3 + \operatorname{erfc} \varphi_4 - 2 \right). \quad (4)$$

Здесь введены следующие обозначения

$$z_{1,2} = \frac{v' \cdot x (1 \pm \sqrt{1 + \varepsilon})}{2D'}; \quad \varphi_{1,2} = \frac{x \pm v' \cdot t \cdot \sqrt{1 + \varepsilon}}{2\sqrt{D' \cdot t}}; \quad \varepsilon = \frac{4\gamma' D'}{(v')^2}; \quad \varphi_{3,4} = \frac{x \pm v' \cdot t}{2\sqrt{D' \cdot t}};$$

$$v' = \frac{v}{n_3}; \quad \gamma' = \frac{\gamma}{n_3}; \quad D' = \frac{D}{n_3}; \quad n_3 = n_a \frac{1 + \alpha}{\alpha};$$

$$\operatorname{erfc} \eta = 1 - \operatorname{erf} \eta; \operatorname{erf} \eta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\eta} e^{-u^2} du - \text{интеграл вероятности, причем } \operatorname{erfc}(-\eta) = 2 - \operatorname{erf} \eta; \operatorname{erf}(-\eta) = \operatorname{erf}(\eta);$$

$\operatorname{erfc} \eta$ – табулированная функция; n_p – эффективная пористость грунта, характеризующая активную пористость и поглощающую способность грунта [4, с. 129].

При определенных условиях и в зависимости от свойств мигранта формула (4) принимает более простое выражение.

Так, в случае консервативного сорбируемого вещества аналитическое решение примет вид:

$$C(x, t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Vt}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) \quad (6)$$

В случае неконсервативного мигранта выражение (4) имеет следующее решение [4, с. 131]:

$$C(x, t) = \frac{1}{2} e^{\frac{-\gamma x}{v}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Vt}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) \quad (7)$$

Решение задачи распространения поллютантов полигона ТКО было выполнено с использованием параметров миграции ингредиентов, полученных в результате проведения полевых и исследований объекта [2, с. 12]

Компьютерная реализация математической модели миграции загрязняющих веществ объекта захоронения ТКО

Для компьютерной реализации математической модели распространения поллютантов исследуемого полигона ТКО использовался программный продукт «ПОЛИГОН», разработанный в ТвГТУ. Формирование пакета исходных данных осуществлялось на основе результатов полевых и лабораторных исследований объекта захоронения отходов, а также вычислительных экспериментов в программах OWR-26 и ALPHA для получения параметров миграции загрязнений.

Прогнозные расчеты распространения загрязнений полигона ТКО показывают, что миграция веществ под действием конвективного переноса, дисперсии, биологического разложения, трансформации веществ и др. в водоносном пласте образует три зоны (рис.1), отличающиеся содержанием загрязняющего вещества (аммонийного азота). Следует отметить, что между проникающими в пласт загрязненными водами и естественными подземными водами не будет наблюдаться четкой границы.

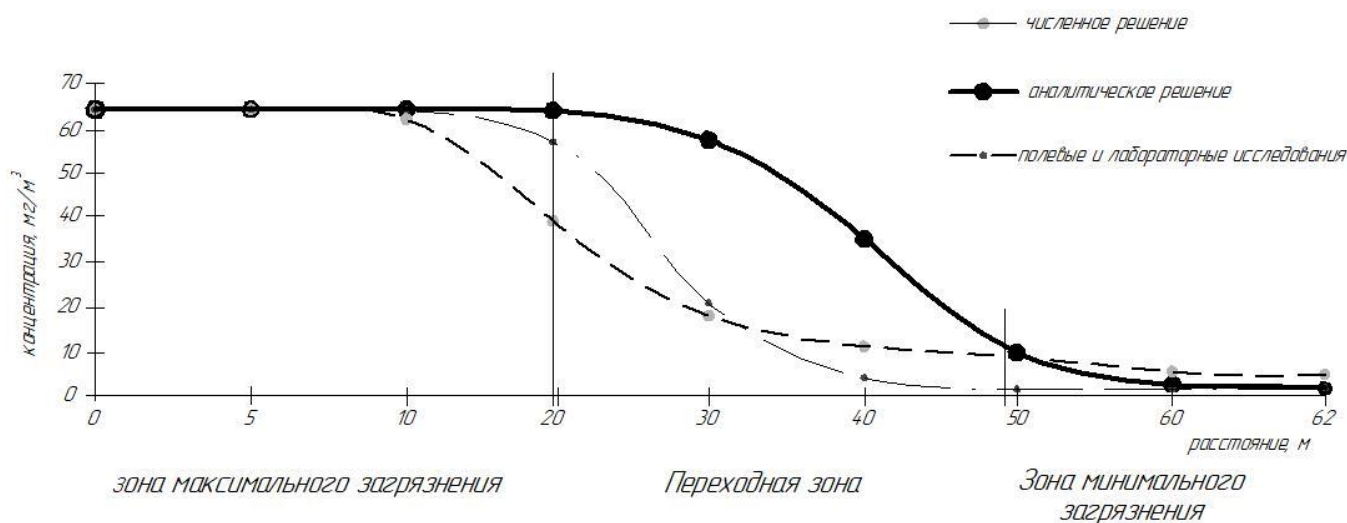


Рис. 1. Прогнозные расчеты миграции поллютантов полигона ТКО через 50 лет с момента начала функционирования

В первой зоне, близкой к входному сечению, концентрация вещества практически равна его содержанию на входе. Во второй (переходной) зоне или зоне смешения за счет рассеивания (дисперсии) происходит смешение поступающей загрязненной воды с естественными подземными водами, и относительная концентрация вещества изменяется. В наиболее удаленной третьей зоне либо сохраняется фоновая концентрация вещества, либо загрязняющие ингредиенты только начинают просачиваться в водоносный пласт.

При непрерывном поступлении загрязнений в пласт с течением времени границы зон перемещаются в направлении подземного потока. В конечном итоге проникающая в пласт загрязненная вода за счет так называемого поршневого вытеснения, полностью заполнит пространство водоносного пласта, что подтверждается прогнозными расчетами миграции веществ (аммонийного азота) через 100 лет с начала функционирования полигона ТКО (рис. 2).

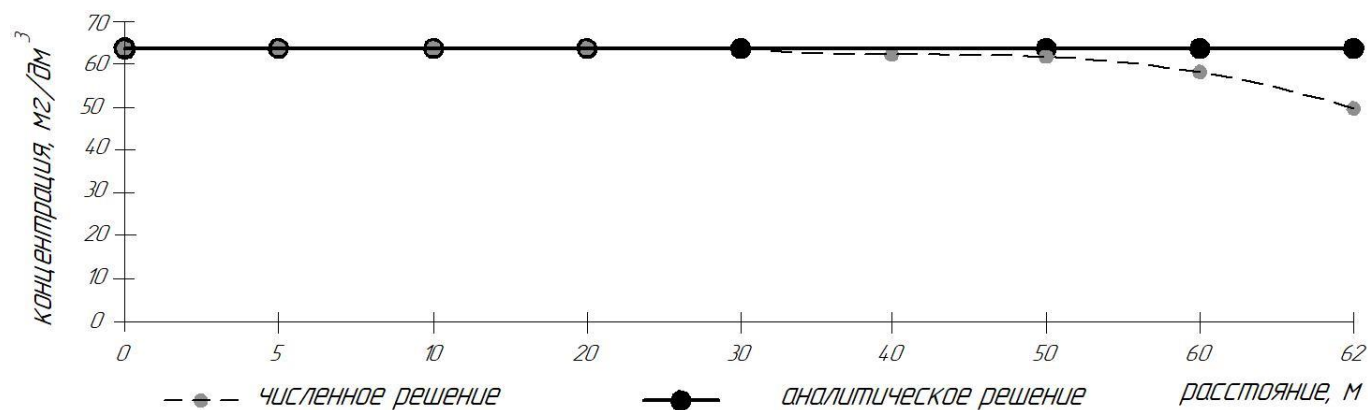


Рис. 2. Прогнозные расчеты миграции поллютантов полигона ТКО через 100 лет с момента начала функционирования

Таким образом, применение предложенной математической модели массопереноса поллютантов дает возможность оценить изменение содержания загрязнений (аммонийного азота) в почвогрунтовой толще в разные моменты времени, на какое расстояние и в течение какого момента времени распространяются загрязнения, что позволяет получить объективное представление о процессе изменения содержания ингредиентов в подземных водах объектах захоронения отходов. Кроме того, полученные результаты, могут служить основой для разработки мероприятий по уменьшению экологического риска воздействия объекта размещения отходов на окружающую природную среду в соответствии с концепцией устойчивого развития территорий.

Заключение

Представлена двухмерная математическая модель распространения загрязняющих веществ объекта захоронения ТКО с учетом конвективной диффузии, дисперсии, особенностью которой является учет воздействия на скорость миграции ингредиентов процессов инфильтрации, трансформации, биологического разложения веществ.

Показано численное решение системы дифференциальных уравнений, описывающих миграцию загрязняющих веществ в водоносный пласт, с помощью интегрального преобразования Лапласа.

Для компьютерной реализации математической модели массопереноса поллютантов исследуемого объекта захоронения отходов, использовались программные продукты, разработанные в ТвГТУ.

Верификация представленных моделей с использованием данных полевых и лабораторных экспериментов, показала, что погрешность моделирования не превышает 5 %.

Компьютерное моделирование распространения поллютантов, позволило сделать вывод о возможности использования представленной математической модели для прогнозных расчетов миграции веществ в почвогрунтовой толще объекта захоронения отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобачева Л.В. Мониторинг свалок твердых бытовых отходов с использованием программных систем моделирования распространения загрязнений в подземных водах // В сборнике: Информационно-вычислительные технологии и их приложения. сборник статей XXIV Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2020. – С. 74–77.
2. Лобачева Л.В. Системный анализ и управление водными эмиссионными потоками объекта захоронения твердых коммунальных отходов: автореф.дис. ... канд. техн. наук. – Тверь, 2023. – 20 с.
3. Лобачева Л.В., Борисова Е.В. Моделирование процессов миграции загрязнений от свалки твердых бытовых отходов// Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Т. 12. – № 2. – С. 369 – 385.
4. Математическое моделирование природных экосистем/ В.И. Косов, Д.Ф. Шульгин, В.Е. Клыков и др. – Тверь: ТГТУ, 1998. – 255 с.

APPLICATION OF SOFTWARE MODELING SYSTEMS TO ASSESS THE MIGRATION OF POLLUTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL FACILITIES

¹Lobacheva Lyudmila Vladimirovna, candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Mining,
Environmental Management and Industrial Ecology

²Shcherbakova Daria Mikhailovna, candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Mining,
Environmental Management and Industrial Ecology

^{1,2}Tver State Technical University, Tver, Russia,
e-mail: ¹firslud@mail.ru; ²dscherbakowa@yandex.ru

On the territory of the Russian Federation there are a significant number of waste disposal sites that do not meet safety requirements for the environment. The article presents a mathematical model for assessing the distribution of pollutants in a waste disposal facility, taking into account convective diffusion, dispersion, infiltration processes, and transformation of substances. Using software systems developed at TvSTU, a computer implementation of the presented mathematical model of pollution migration was carried out.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ГИДРОБИОНТОВ В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

¹Ражев Алексей Олегович, канд. тех. наук

²Недоступ Александр Алексеевич, канд. тех. наук, доцент

¹ООО «Лаборатория цифровых технологий»,

Калининград, Россия, e-mail: root@digitechlab.ru

²ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,

Калининград, Россия, e-mail: nedostup@klgtu.ru

Рассмотрена возможность применения технологий машинного зрения и математического моделирования для определения поведенческих параметров гидробионтов в установке замкнутого водоснабжения, влияющих на эффективность производства конечного пищевого продукта. Представлен метод, основанный на коррекции параметров математической модели при помощи данных видеодетекции с применением фильтра Калмана. Новизной исследования является метод коррекции параметров с использованием случайных величин с последующим отбором лучших вариантов на основании анализа вычисленной фильтром Калмана ошибки. Приведены результаты экспериментов. Обозначены области применения результатов исследования.

Введение

В сельскохозяйственной отрасли в целом и в индустриальной аквакультуре [1] в частности для выращивания ценных пород рыб широко применяются установки замкнутого водоснабжения (УЗВ). Необходимость увеличения производства товарной рыбы и других ценных гидробионтов, уменьшения затрат на их производство и себестоимости конечного пищевого продукта является актуальной научной проблемой, которой занимаются ученые многих стран.

Одним из направлений научных исследований в этой области является автоматизация производства рыбной продукции в УЗВ. В индустриальной аквакультуре применение технологий машинного зрения (Computer Vision) при выращивании гидробионтов поможет автоматизировать процессы рыбоводства, повысить эффективность и экологичность, а также уменьшить влияние человеческого фактора, что в конечном итоге будет способствовать увеличению продуктивности УЗВ и снижению рисков при их эксплуатации.

Машинное зрение можно применять для мониторинга состояния гидробионтов в бассейне установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) [2], определения их размера, скорости роста, плотности посадки, признаков заболеваний или стресса, общего состояния стада. Алгоритмы машинного зрения могут анализировать поведенческие и физические характеристики гидробионтов для определения режимов кормления, что позволит оптимизировать процесс кормления.

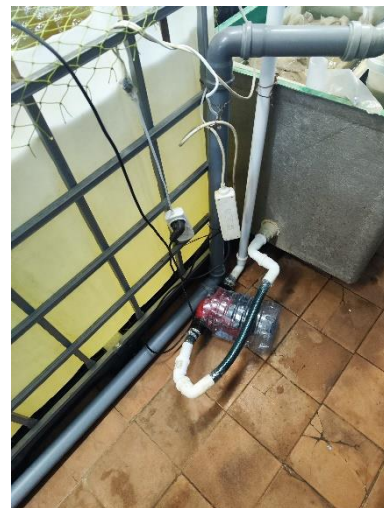
На рис. 1 показаны основные компоненты УЗВ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет». Структурная схема установки изображена на рис. 2.



а) бассейны с лампой



б) биофильтр



в) насос



г) УФ обеззараживание



д) механический фильтр



е) система трубопроводов и УФ обеззараживание

Рис. 1. Установка замкнутого водоснабжения

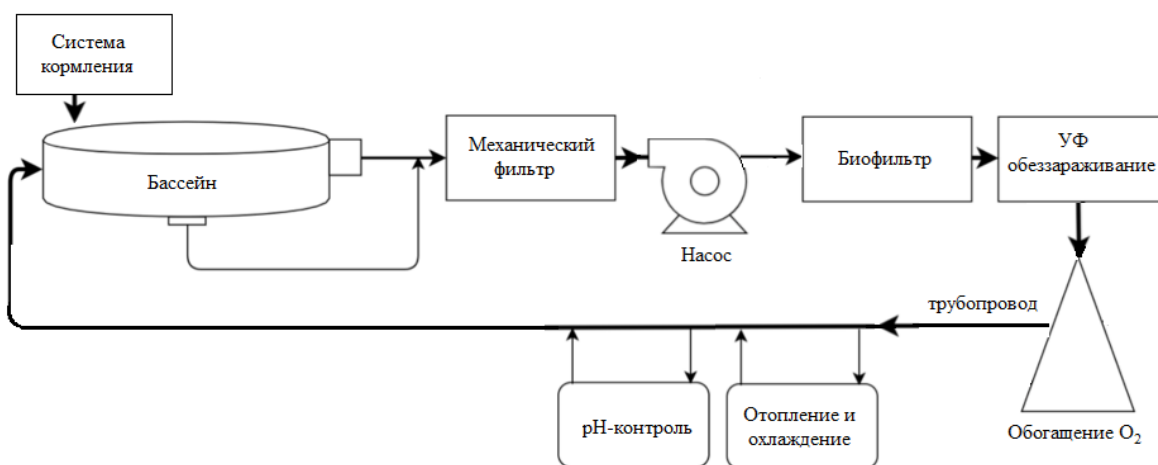


Рис. 2. Структурная схема УЗВ Калининградского государственного технического университета

К основным компонентам УЗВ относятся: бассейны с лампой; биофильтр; насос; УФ обеззараживание; механический фильтр; система трубопроводов.

Постановка задачи

С целью определения оптимальных режимов работы УЗВ, в том числе для автоматизации регулирования параметров ее компонентов, необходимо выявить влияние режимов работы на эффективность выращивания гидробионтов. Эффективность работы УЗВ можно определить такими параметрами, как скорость роста товарной массы гидробионтов, их смертность, качество готового пищевого продукта, экономические и энергозатраты на производство и др. Указанные параметры напрямую или косвенно зависят от состояния самих гидробионтов. Например, экономические затраты на кормовую базу зависят от требуемого количества и видов кормов, а значит и от их стоимости. В свою очередь, количество и вид кормовой базы влияет на степень роста, смертности и пищевого качества гидробионтов.

Представим, что поведение гидробионтов в УЗВ можно описать математически. Тогда состояние гидробионта можно определить конечным набором параметров математической модели – поведенческих параметров. Поведенческие параметры гидробионта определяют его внутреннее состояние, то есть являются переменными величинами. Зная значения и зависимость поведенческих параметров гидробионтов от режимов работы УЗВ, можно определить оптимальные условия выращивания, тем самым увеличить эффективность производства конечного пищевого продукта.

Зависимость режимов работы УЗВ от поведенческих параметров можно определить при помощи средств искусственного интеллекта (искусственной нейронной сети), предварительно обучив его набором данных, полученных экспериментально.

Задачей исследования является разработка метода определения поведенческих параметров гидробионтов для предсказательной математической модели при их выращивании в искусственной среде обитания – УЗВ.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи авторами предлагается совместное применение сверточной нейронной сети (CNN) [3], предсказательной математической модели поведения гидробионтов и фильтра Калмана [4].

Фильтр Калмана представляет собой рекурсивный алгоритм, используемый для оценки состояния системы на основе последовательности измерений (в нашем случае последовательности выходных данных CNN). Он эффективно учитывает как результаты измерений, так и динамику системы. Фильтр Калмана широко применяется в различных областях, включая управление, навигацию, машинное зрение, обработку сигналов и др.

Рассмотрим математическую модель предсказания поведения гидробионтов в ограниченной среде обитания [5, 6], которой является бассейн установки замкнутого водоснабжения (см. рис. 1, 2). Поведение каждого гидробионта в бассейне математически описывается системой дифференциальных уравнений движения в векторном виде (1)

$$\begin{cases} d\mathbf{x} / dt = \mathbf{v}(t) \\ m(d\mathbf{v} / dt) = \mathbf{F}(\mathbf{X}_f, \mathbf{V}_f, \mathbf{X}_e, \mathbf{V}_e, \mathbf{p}) \end{cases}, \quad (1)$$

где \mathbf{x} – вектор положения гидробионта в водном пространстве бассейна; \mathbf{v} – его векторная скорость движения; t – время; m – масса гидробионта; \mathbf{F} – векторная функция зависимости развиваемой гидробионтом силы от вектора относительного положения (относительно рассматриваемого гидробионта с положением \mathbf{x}) в пространстве других гидробионтов в замкнутой системе бассейна \mathbf{X}_f , вектора относительной скорости других гидробионтов \mathbf{V}_f , вектора относительного положения источников раздражения (включая стенки, дно бассейна и поверхность воды) \mathbf{X}_e , вектора относительной скорости источников раздражения \mathbf{V}_e и вектора параметров гидробионта \mathbf{p} .

Векторные величины \mathbf{X}_f , \mathbf{V}_f , \mathbf{X}_e и \mathbf{V}_e имеют размерность $3(n - 1)$, где n – количество гидробионтов в бассейне. Количество систем уравнений (1) равно n . Математическое описание векторной функции \mathbf{F} изложено в [5, 6]. В данной статье ее подробно не рассматриваем.

Вектор параметров запишем в виде:

$$\mathbf{p} = (\alpha, v_1, v_2, s_1, s_2, k, r_m, k^+, k^-, r^+, r^-, k_{b1}, k_{b2}, \alpha_1, \alpha_2, k_c, \delta, M)^T, \quad (2)$$

где T – обозначение операции транспонирования. Краткое описание компонентов вектора \mathbf{p} приведено в таблице 1, а также в [5, 6].

Таблица 1

Параметры особи карпа (*Cyprinus carpio* L.)

№ п/п	Обозначение	Размерность	Описание
1	a	Н/с	Коэффициент демпфирования, определяет степень влияния скорости движения особи на развиваемую ей силу
2	v_1	м/с	Номинальная (средняя) скорость
3	v_2	м/с	Максимальная скорость
4	s_1		Математическое ожидание степени восприятия
5	s_2		Дисперсия степени восприятия
6	k	Н/м	Степень влияния удаленности объекта-раздражителя
7	r_m	м	Предельное расстояние реакции на раздражитель
8	k^+	Па*с	Степень влияния скорости приближения к раздражителю
9	k^-	Па*с	Степень влияния скорости удаления от раздражителя
10	r^+	м	Предельная видимость при приближении к раздражителю
11	r^-	м	Предельная видимость при удалении от раздражителя
12	k_{b1}	Н*М	Реакция на ближнее присутствие другой особи
13	k_{b2}	Н*М	Реакция на дальнее присутствие другой особи
14	α_1	м	Граница влияния удаленности пары особей на степень реакции
15	α_2	м	Граница влияния удаленности пары особей на реакцию
16	k_c	Н*с/м	Реакция на относительную скорость движения пары особей
17	δ	м	Граница влияния взаимного движения пары особей
18	M		Максимальное количество других особей, на которые может реагировать данная особь

На рис. 3 графически представлены кусочно-линейные функции $b(r, k_{b1}, k_{b2}, \alpha_1, \alpha_2)$ и $c(r, k_c, \delta)$, определяющие степень влияния расстояния между парой особей r на развиваемую особью силу

$$\mathbf{F} = s(b\mathbf{r} / r + c\mathbf{v}_r / M), \quad (3)$$

где \mathbf{r} – вектор положения особи относительно другой особи; \mathbf{v}_r – вектор скорости особи относительно другой особи; s – зависимость степени восприятия гидробионта от его ориентации к раздражителю \mathbf{o}

$$s = s_1 + s_2(\mathbf{o} * \mathbf{r}) / r, \quad (4)$$

* - скалярное произведение векторов.

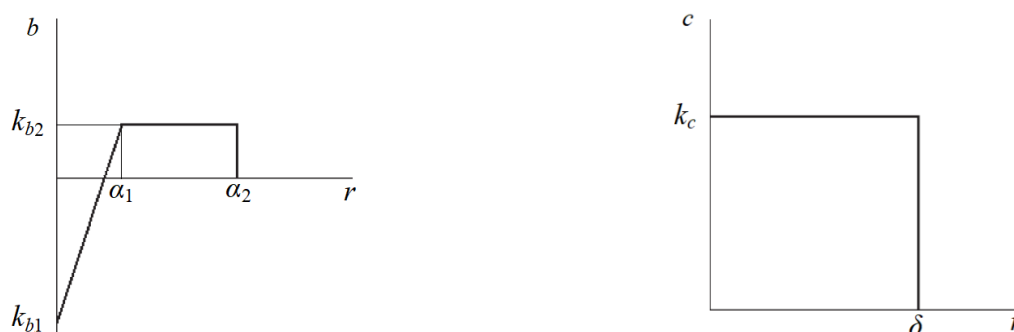


Рис. 3. Графики функций b и c

Вектор параметров гидробионта \mathbf{p} определяет его поведение, зависит от вида гидробионта, его возраста, внутреннего состояния (сытости, уровня стресса), а также от внешних биотических, абиотических и антропогенных факторов воздействия (уровня кислорода в воде, уровня ее загрязнений, температуры воды, значения pH, освещенности, времени дня, времени года и др.).

Данная зависимость априори неизвестна и может быть определена экспериментальным путем с использованием системы машинного зрения, построенной на основе сверточной нейронной сети, обученной на видеозаписях с натурального бассейна [7].

В связи с тем, что параметры \mathbf{p} математической модели одинаково влияют на все компоненты векторов сил, скоростей и перемещений в трехмерном пространстве, для поиска \mathbf{p} можно свести трехмерную постановку задачи к двухмерной, тем самым упростив систему машинного зрения. Таким образом, для построения траекторий движения гидробионтов в бассейне УЗВ достаточно одной видеокамеры, регистрирующей перемещения в горизонтальной плоскости бассейна.

Далее, по (1) вычисляются скорости движения особей $\mathbf{v}(t)$, по которым вычисляются значения функций \mathbf{F} для каждого гидробионта. Вычисления производятся методом численного дифференцирования [8]. Далее, по вычисленным $\mathbf{x}(t)$ и $\mathbf{v}(t)$ вычисляются взаимное расположение гидробионтов в пространстве бассейна $\mathbf{r}(t)$ и их относительные скорости $\mathbf{v}_r(t)$.

В итоге для гидробионтов $1 \dots n$ мы получаем систему уравнений вида

$$\begin{cases} \mathbf{F}_1(\mathbf{X}_f, \mathbf{V}_f, \mathbf{X}_e, \mathbf{V}_e, \mathbf{p}_1) = \mathbf{F}_{1t} \\ \mathbf{F}_2(\mathbf{X}_f, \mathbf{V}_f, \mathbf{X}_e, \mathbf{V}_e, \mathbf{p}_2) = \mathbf{F}_{2t} \\ \dots \\ \mathbf{F}_n(\mathbf{X}_f, \mathbf{V}_f, \mathbf{X}_e, \mathbf{V}_e, \mathbf{p}_n) = \mathbf{F}_{nt} \end{cases}, \quad (5)$$

которую нужно разрешить относительно неизвестных $\mathbf{p}_1 \dots \mathbf{p}_n$.

В общем случае данная система уравнений не имеет единственного решения так, как в ней количество неизвестных превышает количество уравнений. В частном случае, если в бассейне находятся гидробионты одного вида, массы и возраста, можно считать параметры всех гидробионтов одинаковыми. Тогда можно решить (5) приближенно одним из итерационных методов последовательных приближений [8] относительно неизвестных компонентов вектора \mathbf{p} . При количестве гидробионтов равным или большим количеству искомым параметров (в нашем случае не менее 18), возможно найти единственное решение. Полученное множество решений $\mathbf{p}(t)$ усредняется на заданном интервале времени (например, часовом) с получением осредненных значений \mathbf{p} .

Следует учесть, что уравнения (5) кусочно-линейные, что усложняет их решения итерационными методами линейной алгебры. Более того, существует вероятность ошибки машинного зрения, что может приводить как к погрешностям измерений $\mathbf{x}(t)$, так и к потерям объекта наблюдения, что в свою очередь может привести к ошибкам формирования траекторий движения.

Для устранения указанных недостатков авторами предлагается метод, основанный на плавной коррекции параметров \mathbf{p} с учетом значений ошибок моделирования методом их минимизации.

Математически каждый временной шаг коррекции запишем как

$$\Delta \mathbf{p} = \lambda \mathbf{p}, \quad (6)$$

где $\Delta \mathbf{p}$ – вектор изменения параметров \mathbf{p} ; λ – вектор случайных величин.

Векторы $\Delta \mathbf{p}$ и λ имеют размерность вектора \mathbf{p} . В (6) используется покомпонентное умножение векторов λ и \mathbf{p} . Все компоненты вектора случайной величины имеют нулевое математическое ожидание и заданную дисперсию $\Delta \lambda$.

Таким образом, генератор случайных чисел формирует на каждом шаге коррекции поведенческих параметров математической модели для каждого параметра формирует случайную величину в диапазоне $[-\Delta \lambda \dots \Delta \lambda]$. Согласно (6) изменение параметров происходит случайным образом.

На рис. 4 изображена схема предлагаемой системы машинного зрения.

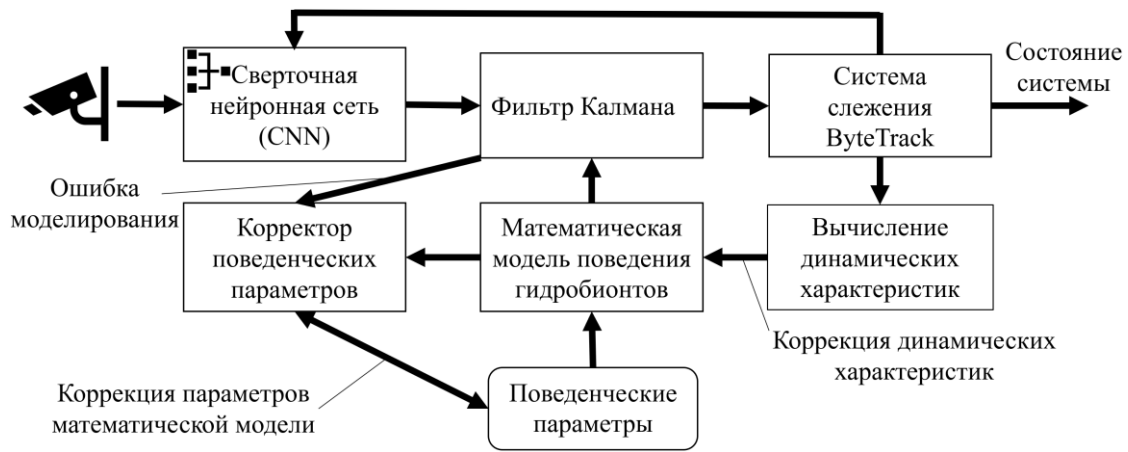


Рис. 4. Схема системы машинного зрения

Блок-схема алгоритма корректора приведена на рис. 5.

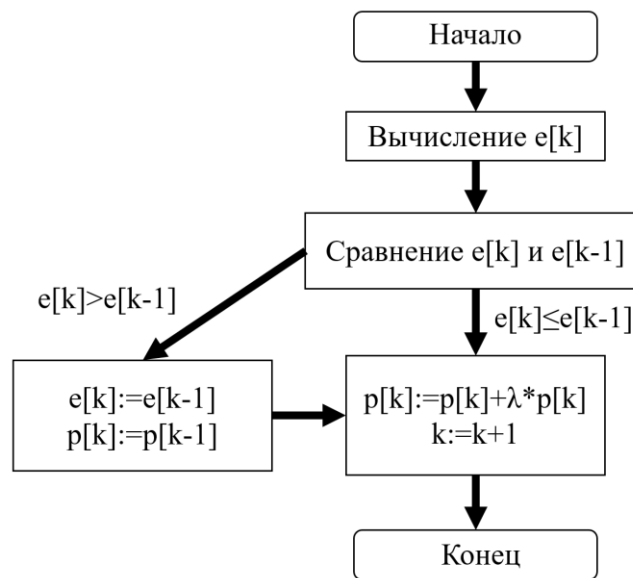


Рис. 5. Блок-схема шага алгоритма корректора поведенческих параметров

На каждом временном шаге работы системы машинного зрения k от фильтра Калмана [4] поступает вектор ошибок измерения системы \mathbf{v}_k , в нашем случае вектор ошибок моделирования

$$\mathbf{v}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k, \quad (7)$$

где \mathbf{z}_k – вектор измеренных значений, в нашем случае вектор положений гидробионтов, полученных с камеры видеонаблюдения; \mathbf{H} – матрица измерений, описывающая связь между состоянием системы и измерением, в нашем случае матрица проекции на плоскость камеры видеонаблюдения; $\hat{\mathbf{x}}_k$ – вектор прогноза состояния системы, в нашем случае вектор положений гидробионтов, полученных от математической модели.

На том же временном шаге в корректор поступает текущий вектор поведенческих параметров \mathbf{p} , который ставится в соответствие ошибке моделирования e_k

$$e_k = |\mathbf{v}_k / \mathbf{S}|, \quad (8)$$

где \mathbf{S} – вектор размеров бассейна.

В (8) применяется операция покомпонентного покоординатного деления, таким образом приводя ошибки моделирования положения всех гидробионтов к размерам бассейна. У полученного вектора вычисляется его абсолютное значение (длина), которая и является ошибкой моделирования.

Далее, ошибка моделирования e_k , полученная на текущем временном шаге, сопоставляется с ошибкой моделирования e_{k-1} , полученной на предыдущем временном шаге. В результате сопоставления выбирается минимальная из двух ошибок и соответствующий ей вектор поведенческих параметров. Выбранный \mathbf{p} корректируется согласно (6) и сохраняется в системе как текущий.

Таким образом, в процессе работы системы происходит плавная коррекция поведенческих параметров гидробионтов с учетом минимизации расхождений между полученными данными с камеры видеонаблюдения и вычисленными математической моделью.

Результаты и их обсуждение

Для апробации изложенного метода коррекции параметров математической модели поведения гидробионтов в УЗВ был разработан программный модуль для разработанной авторами программы для ЭВМ «Замкнутая система "УЗВ - гидробионт"» [9]. На вход модуля поступала информация из предварительно сохраненного видеофайла.

Для получения видеофайла был проведен натурный эксперимент в УЗВ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (см. рис. 1). Видеосъемка осуществлялась при помощи видеокамеры Hiseeu 4K 8MP PTZ WIFI IP, расположенной над бассейном УЗВ.

В бассейне находились особи карпа (*Cyprinus carpio* L.). В таблице 2 приведены условия проведения эксперимента.

Таблица 2

Условия проведения эксперимента

№ п/п	Условие	Значение
1	Количество особей	15 шт
2	Масса особи	50 гр
3	Возраст особи	3 года
4	Длина особи	15 см
5	Температура воды	22 - 24 °С
6	Насыщение воды кислородом	7,0-8,2 мг/л
7	Длина бассейна	1,2 м
8	Ширина бассейна	1,0 м
9	Уровень воды в бассейне	0,7 м
10	Длительность эксперимента	1 час

Для чистоты эксперимента во время его проведения в помещении отсутствовали люди.

По видеозаписи программа для ЭВМ сформировала траектории движения каждой особи карпа с привязкой ко времени.

На рис. 6 изображена схема установки видеокамер в бассейне УЗВ. На рис. 7 изображены траектории движения, полученные на 5 минутном интервале времени.

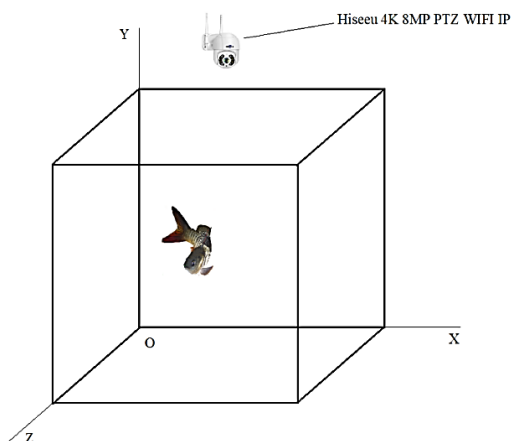


Рис. 6. Схематизация установки видеокамер в бассейне УЗВ

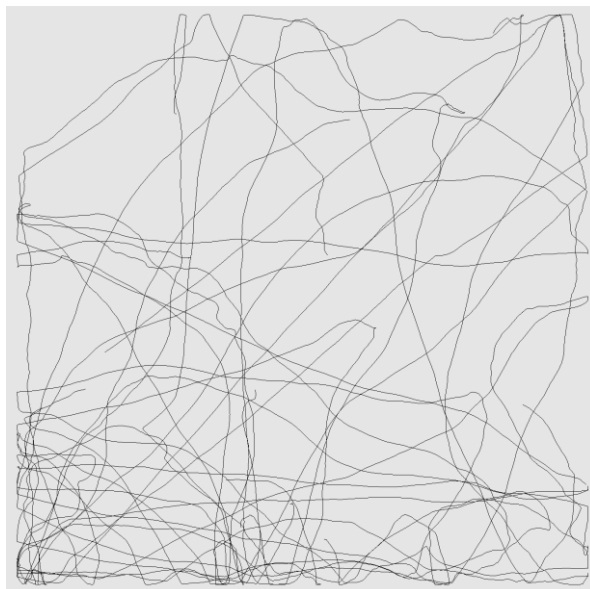


Рис. 7. Траектории движения особей карпа

Перед загрузкой видеофайла в программу для ЭВМ были установлены начальные поведенческие параметры для каждой особи. С учетом того, что все 15 особей одинакового вида и возраста, для всех были установлены одинаковые параметры.

По результатам работы алгоритма коррекции были сняты скорректированные поведенческие параметры для каждой особи. В таблице 3 представлены начальные и скорректированные усредненные значения поведенческих параметров карпа.

Таблица 3

Параметры особи карпа (*Cyprinus carpio* L.)

№ п/п	Параметр	Начальное значение	Скорректированное значение
1	a	0,1	0,037
2	v_1	0,1	0,12
3	v_2	0,5	0,35
4	s_1	0	0
5	s_2	1	1
6	k	1	0,8
7	r_m	1	0,5
8	k^+	1	1,06
9	k^-	1	0,32
10	r^+	0,5	0,15
11	r^-	0,5	0,4
12	k_{b1}	-10^{-6}	$-62 \cdot 10^{-6}$
13	k_{b2}	10^{-6}	$42 \cdot 10^{-6}$
14	α_1	0,1	0,085
15	α_2	0,5	0,5
16	k_c	0,1	0,02
17	δ	0,5	0,5
18	M	10	10

Усреднение проводилось по формуле

$$\mathbf{p}_m = \sum_{i=1}^{15} \mathbf{p}_i / 15, \quad (9)$$

где \mathbf{p}_m – вектор усредненных поведенческих параметров; i – порядковый номер особи.

Среднеквадратичное отклонение скорректированных поведенческих параметров особей вычислялось по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{15} (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_m)^2 / 15}, \quad (10)$$

и составило 23 %.

Полученные результаты показали, что описанный метод коррекции поведенческих параметров можно применять для их определения с использованием видеофиксации одной камерой в двумерной плоскости.

Результаты исследования можно применять как в системах виртуальной реальности (тренажерных комплексах), так и на рыбоводных фермах для систем наблюдения с целью сбора статистики, предсказательного моделирования процессов рыбоводства, научных исследований в области автоматизации и информатизации процессов рыбоводства и технических средств аквакультуры.

Исследование выполнено в ООО «Лаборатория цифровых технологий» за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00010, <https://rscf.ru/project/23-21-00010/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрусталеv Е.И., Хайновский К.Б., Гончаренко О.Е., Молчанова К.А., Основы индустриальной аквакультуры. СПб.: Издательство Лань, 2019. 280 с.
2. Прокуренко И.В. Замкнутые рыбоводные установки. М.: ВНИРО, 2003. 152 с.
3. R. Girshick, "Fast R-CNN" in IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015.
4. Ingvar Strid & Karl Walentin (2009), Block Kalman Filtering for Large-Scale DSGE Models, Computational Economics (Springer).
5. Ражев А.О., Недоступ А.А., Багрова А.А. Компьютерная природоподобная имитация механики рыб в искусственной среде обитания // Материалы II Международной конференции «Природоподобные/природосообразные технологии: теория и практика - 2023». - Калининград: КГТУ. 2023. С. 64-70.
6. Ражев А.О., Недоступ А.А. Компьютерная имитация поведения рыб в замкнутой системе водоснабжения, Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4 часть 1, С. 277–284. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.033.
7. Ражев А.О., Недоступ А.А. Применение технологий машинного зрения для выращивания гидробионтов в установке замкнутого водоснабжения // Будущее аквакультуры. Прогрессивные биотехнологии: материалы международной научно-практической конференции, 2 февраля 2024 г. / под ред. И.В.Поддубной; Вавиловский университет – Саратов: Саратовский источник, 2024. С. 149–153. ISBN 978-5-6052156-2-2.
8. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 636 с., илл. – ISBN 5-94774-175-X.
9. Ражев А.О., Недоступ А.А. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ «Замкнутая система "УЗВ - гидробионт"» № 2023682021, 20.10.2023. Рег. № 623112000222-9.

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE BEHAVIOR OF HYDROBIONTS IN A RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM INSTALLATION USING MACHINE VISION TECHNOLOGIES

¹Razhev Aleksej Olegovich, Candidate of Technical Sciences

²Nedostup Alexander Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

¹DigiTech Laboratory, LLC, Kaliningrad, Russia, e-mail: root@digitechlab.ru

²Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: nedostup@klgtu.ru

The article considers the possibility of using computer vision technologies and mathematical modeling to determine the behavioral parameters of hydrobionts in a recirculate aquaculture system installation that affect the efficiency of production of the final food product. A method based on correcting the parameters of a mathematical model using video recording data using a Kalman filter is presented. The novelty of the study is the method of parameter correction using random variables, followed by the selection of the best options based on the analysis of the error calculated by the Kalman filter. The results of the experiments are presented. The areas of application of the research results are indicated.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АНАЛИЗЕ ФАКТОРОВ ПРИ ВЫБОРЕ МЕСТА ТРУДОУСТРОЙСТВА СТУДЕНТОВ КГТУ

Розен Нина Борисовна канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий института цифровых технологий

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: nbrozen@yandex.ru

Оценён потенциал современных цифровых технологий при проведении социологических исследований в КГТУ с целью совершенствования трудоустройства выпускников. Рассмотрен потенциал современных цифровых технологий для выполнения такого анализа, а также необходимость применения технологий больших данных и искусственного интеллекта. Определена необходимость проведения исследования факторов, определяющих выбор места работы студентами и особенности этого выбора. Предложен пример такого анализа на основе современных цифровых средств, отмечены их плюсы и минусы.

Цифровая трансформация затронула практически все сферы современного общества, в том числе и социологию. Социологические исследования предназначены для прогнозирования и изучения социальных процессов. Последние годы характеризуются значительным усложнением средств сбора исходных данных, разнообразием используемых источников, увеличением объемов данных и применением новых методов анализа на основе искусственного интеллекта.

Актуальность данной работы определяется необходимостью изучения возможностей современных цифровых инструментов для определения факторов, определяющих выбор места трудоустройства курсантами старших курсов КГТУ. Это позволит, с одной стороны, точнее позиционировать предложения работодателей, направленные на выпускников морских специальностей КГТУ, а с другой стороны, точнее сформулировать критерии выбора для самих курсантов.

Точного алгоритма, определяющего выбор цифрового инструмента обработки данных, пока не существует и заменяется набором рациональных соображений. Отправной точкой является изучение особенностей экспериментальных данных, их типы и объёмы. Для уменьшения времени исследования и количества ошибок желательно ориентироваться на знакомый продукт или инструмент с интуитивно понятным и удобным интерфейсом. Каждому исследованию соответствует определенный набор функционала, который должен соответствовать требуемому для исследования набору операций. Важным аргументом является возможность получать данные из разных по своей природе источников, а результаты конвертировать в другие форматы. В случае исследований, выполняемых в инициативном порядке, следует оценить возможность использовать демо-версию нового пакета или оценить доступность инструмента с точки зрения бюджета. В случае использования демо-версии пакета стоит отдельно определить возможности с точки зрения объемов данных.

Длительное время социологи использовали пакеты, основанные на простых одномерных методах исследования. Эти инструменты возникли достаточно давно, но остаются актуальными до сих пор.

В отличие от простых одномерных методов, многомерные оперируют чаще всего с так называемыми «большими данными», которые характеризуются большим количеством разнонаправленных связей.

Им соответствуют новые наборы инструментальных средств, которые соответствуют этим направлениям.

Качество исследования напрямую зависит от организации сбора информации, применяемых методах очистки данных, способах обнаружения и удаления ошибок, которые возникают в первичных источниках.

Особенности применения цифровых инструментов в социологических исследованиях определены и описаны во многих исследованиях. Так, в [1] подробно проанализированы математические методы и описаны основные возможности базовых программных продуктов, использующихся в социологических исследованиях от самых простых и знакомых, таких как Excel и Access, до профессиональных пакетов статистики SPSS, Statistica и специализированных - IP Sociologist.

Появление новых информационных технологий, таких как большие данные, системы поддержки принятия решений, Data mining и интерактивная аналитическая обработка (OLAP) привели к появлению целого семейства программных средств, предназначенных для качественного анализа данных. Наиболее известным представителем этого семейства является пакет LogiNom. Аналогами пакета являются программный продукт PolyAnalyst, NodeXL, Data Plexus, RapidMiner и ряд других [2]. Данные пакеты имеют демо-версии и хороший дружественный интерфейс.

Следует отметить, что большинство пакетов являются платными, а после введения санкций получить их весьма сложно.

Вместе с тем, количество социологических исследований, выполняемых в высших учебных заведениях, растет. Так, для развития гражданского общества в России проводится всероссийский опрос вузов, базой которого являются представители 706 образовательных организаций. Исследования направлены на «изучение вузовской среды». Такие работы, по мнению политолога Александра Немцева позволяют понять «как мыслит молодежь, позволяет руководству вузов в «идеальных условиях» корректировать действия» [3].

Одним из направлений таких исследований является сфера трудоустройства выпускников. Ориентированность выпускника на рынке труда давно стало сферой ответственности ВУЗа. Показатели трудоустройства и последующей работы выпускников используются при определении эффективности работы ВУЗа.

Основные факторы, влияющие на принятие решения о выборе места работы, определены. К ним относятся: заработная плата и бонусы, социальный пакет и льготы, график работы, отношения в коллективе, отношение руководства к сотрудникам, возможности карьерного роста и перспективы развития, обучение и тренинги, развитие личных и профессиональных навыков, удобство дороги до работы, график работы, необходимость переезда или командировок и ряд других [4,5].

В соответствии с [6] большинство респондентов социологических опросов на первом месте при выборе работы - оплата труда, второе место – характер руководителя, на третьем - перспективы карьерного роста. Далее следуют отношения в коллективе, удобное расположение, перспективы личностного роста, компенсационные выплаты и возможности обучаться за счет работодателя.

В данном исследовании в качестве эмпирической части работы анализировались возможности современных цифровых инструментов для определения особенностей факторов, влияющих на выбор места работы с точки зрения курсантов третьего и пятого курсов морских специальностей двух специализаций.

Общее количество участников составило более 60 человек. На основе предварительного изучения социологических данных было выбрано 10 факторов, которые обычно влияют на выбор места работы: расположение работы, особенности характера руководителя, наличие социального пакета, возможности карьерного роста, удобный график работы, уровень заработной платы, наличие командировок, отношения в коллективе, наличие премии, возможности учебы за счет работодателя.

Были разработаны анкеты, в которых необходимо было оценить значимость каждого фактора. Студенты были ознакомлены с теорией экспертных оценок.

Предварительный анализ показал, что массив рассматриваемых данных представляет собой вещественные значения и метки, представленные текстовыми данными. Это достаточно частый вариант, который не требует специальных решений. Поскольку первоначальный сбор оценок связан со студенческой аудиторией, было решено использовать электронные таблицы, которые позволили проверить правильность заполнения таблиц и выполнить их автоматическую консолидацию. На этом этапе была разработана электронная форма, при этом каждое поле проверялось на правильность типа, размера, а также суммарное значение всех оценок должно было равняться единице.

Пакет Microsoft Excel соответствовал объемам обрабатываемых данных и позволил выполнить предварительный анализ данных. Результаты первой части анализа представлены на рис. 1.

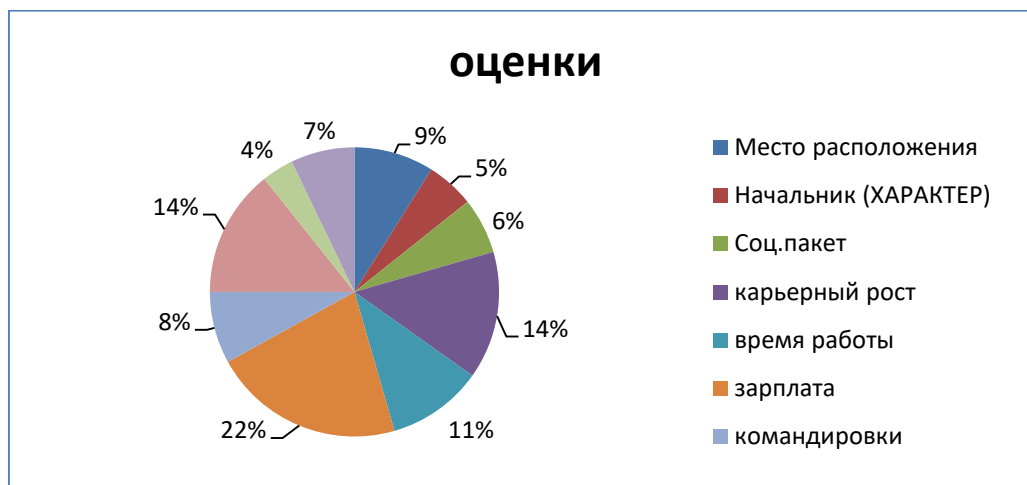


Рис. 1. Оценки значимости факторов курсантами в абсолютных цифрах

Прикидочный предварительный анализ с помощью MS Excel позволяет сказать, что фактор «Заработная плата» стоит у курсантов на первом месте, что соответствует результатам, полученным исследователями и опубликованными на портале Superjob.ru [6]. Второе место разделили факторы «Карьерный рост» и «Отношения в коллективе». В то же время опытные сотрудники на второе место ставят «Характер руководителя». Четвертое место занял фактор «Удобное время работы», в то время как длительно работающие сотрудники отдали предпочтение месту расположения рабочего места. Это вполне объяснимо, так как курсанты представляют собой мобильную часть населения, знают возможности удаленной работы.

Дополнительный статистический анализ позволил сделать выводы о качестве собранного материала, возможности применения методов исследования, соответствующих нормальному закону распределения, то есть лучше понять данные. С этой целью по каждому фактору были определены асимметрия и эксцесс. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели асимметрии и эксцесса

Показатель	Место расположения	Начальник (качества)	Соц. пакет	Карьерный рост	Время работы	Зарплата	Командировки	Отношения в коллективе	Премия	Учеба
Эксцесс	-0,318	-0,674	0,286	0,549	-0,204	1,576	-0,062	3,181	-0,594	0,278
Асимметрия	0,275	-0,189	-0,104	0,681	-0,192	0,696	-0,046	0,975	-0,137	0,339

Как можно заметить, представленные данные не соответствуют нормальному закону распределения. Так, наличие отрицательных значений эксцесса (показатели «Место расположения», «Начальник», «Время работы», «Командировки» и «Премия», означает, что выбросы в данных менее интенсивны, чем при нормальном распределении).

Положительный эксцесс означает, что выбросы в данных интенсивнее, чем для нормального распределения («Соц. пакет», «Карьерный рост», «Зарплата», «Отношения в коллективе», «Учеба»).

Показатель асимметрии также показывает отличие данных от нормального закона. Отрицательное значение асимметрии показывает, что хвост находится в левой части (так, показатели «Начальник», «Соц. пакет», «Время работы», «Командировки» чаще оцениваются невысоко). Показатели «Место расположения», «Карьерный рост», «Отношения в коллективе», «Зарплата», «Учеба» имеют большее количество высоких оценок.

Таким образом, были оценены объемы данных и изучены их особенности. Обоснован вывод о необходимости выбора цифрового инструмента с возможностью очистки данных и обработки данных, которые не соответствуют нормальному распределению.

Были проанализированы пакеты для анализа данных и, исходя из возможности получения демо-версии пакета, наличия опыта работы, соответствия предоставляемого функционала, доступного описания, а также всех остальных условий.

Были отобраны российские разработки для анализа структурированных и неструктурированных данных, включающих ETL, Data Mining, визуализацию результатов анализа в виде интерактивных отчетов, позволяющих выполнять работу без привлечения специалистов, быстрое получение демо-версии продукта. Из платформ, которые были перечислены ранее, условиям соответствуют PolyAnalyst и Loginom. Пакет Loginom был выбран в связи с возможностью быстро и просто получить работоспособную версию для работы.

Использование пакета позволило подтвердить правильность выполненного предварительного анализа и дополнить исследование процедурами корреляционного и факторного анализа.

Выводы:

В рамках данного исследования, рассмотрен алгоритм выбора цифровых инструментов для выполнения исследований. В работе показано, что в процессе исследования целесообразно применение разных цифровых инструментов с учетом опыта пользователей и доступности самих цифровых средств, а также этапа исследования.

Выполнен анализ современных пакетов, применяемых для анализа данных с точки зрения их доступности и качества интерфейса.

На примере небольшого социологического исследования, рассмотрены этапы анализа данных с применением разных цифровых инструментов.

С учетом полученных данных, можно рекомендовать работодателям для привлечения курсантов старших курсов, опираться не только на уровень заработной платы, но и на возможности быстрого карьерного роста, а также показывать особенности отношений, сложившихся в коллективе, не используя аргументы, связанные с характером руководства, наличия социального пакета, премий и других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомина Е.Е. Обзор программных продуктов, используемых при проведении социологических исследований // Социосфера №2. 2016. С. 99 –101.
2. Бедрина С. Л., Богданова О. Б., Кийкова Е. В., Овсянникова Г. Л. Моделирование бизнес-процессов вуза при внедрении процессного управления // Открытое образование. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-biznes-protsessov-vuza-pri-vnedrenii-protsessnogo-upravleniya> (дата обращения: 30.05.2022).
3. Майер А., Сергеев В. В российских вузах запустили волну опросов общественного мнения среди студентов // «Ведомости» URL:// <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2023/11/10/1005074-v-vuzah-zapustili-volnu-oprosov-sredi-studentov> (дата обращения: 30.08.2024)
4. Критерии и факторы выбора места работы: полный обзор URL://<https://rezumepro.com/blog/mesto-raboty> (дата обращения: 20.08.2024)
5. Дьякова В.В. Особенности анализа данных социологического исследования с помощью LOGINOM: одномерное распределение//IN SITU/2022 N6 //URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-transformatsii-v-finansovyh-otnosheniyah-v-2022-2023-godah-problemy-i-globalnye-trendy> (дата обращения: 10.09.2023).
6. Исследовательский центр портала Superjob.ru. Топ-3 приоритетных факторов при выборе работы соискателями – зарплата, адекватное начальство и стабильность компании // URL: <https://www.superjob.ru/research/articles/113593/top-3-prioritnyh-faktorov-pri-vybore-raboty-soiskatelyami/> (дата обращения: 10.06.2023)

PROCESS APPROACH AS AN ELEMENT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Rosen Nina Borisovna, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies of the Institute of Digital Technologies

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: nbrozen@yandex.ru

The article is devoted to assessing the potential of modern digital technologies in conducting sociological research at Kaliningrad State Technical University in order to improve the employment of graduates. The potential of modern digital technologies for performing such an analysis is considered, as well as the need to use big data technologies and artificial intelligence. The necessity of conducting a study of the factors determining the choice of a place of work by cadets and the features of this choice is determined. An example of such an analysis based on modern digital tools is proposed, their pros and cons are noted.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА РYTORCH РАСЧЕТА СТОЛКНОВЕНИЙ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ЧАСТИЦ В ЯЧЕЙКАХ

Снытников Алексей Владимирович, д-р техн. наук,
профессор кафедры прикладной информатики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: aleksej.snytnikov@klgtu.ru

Приведены математические основы техники и код на языке Python. Также представлены диагностические данные, которые помогают понять исследуемый физический процесс, а также корректность моделирования: функция распределения энергии, количество событий столкновения электронов и количество модельных частиц.

Введение

Моделирование плазмы, вызванной столкновением, в частности различных разрядов, является широкой и динамичной областью вычислительной физики. Давайте упомянем лишь несколько недавних работ. В [1] индуктивно связанная радиочастотная плазма в хлоре исследуется с помощью глобальной модели, в [2] рассматривается двухтемпературная многожидкостная модель плазмы в застойном потоке на охлажденной и заземленной поверхности. Чрезвычайно важным вопросом является сравнение результатов моделирования и эксперимента. Это сделано в [3]. Работа [4] характеризует установки, работающие на основе закиси азота, в различных конфигурациях, таких как плазменные реакторы, полые катоды и плазменные двигатели, с помощью Глобальной (усредненной по объему) модели (GM).

Интерес к силановому тлеющему разряду [5-6] обусловлен широким использованием пленок из аморфного кремния [7-8] в микроэлектронике. Электрический тлеющий разряд - это тип плазмы, образующийся при пропускании тока напряжением от 100 В до нескольких кВ через газ, обычно аргон или другой благородный газ [9]. Из-за не максвелловского характера распределения электронов и ионов по энергии, для моделирования этих разрядов часто используется метод частиц в ячейках в сочетании с методом Монте-Карло (PIC/ МСС). Основными уравнениями являются уравнения Власова для ионной и электронной составляющих плазмы,

$$\frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} + \vec{v} \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial \vec{r}} + \vec{F} \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial \vec{v}} = 0$$

$$\vec{F} = \frac{q_{\alpha}}{m_{\alpha}} \left(\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{v} \vec{H}] \right)$$

а также системы уравнений Максвелла. Эти уравнения в обычной записи имеют следующий вид

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi e \rho$$

$$\operatorname{div} \vec{H} = 0$$

а также системы уравнений Максвелла. Эти уравнения в обычной записи имеют следующий вид

Область вычислений

Трехмерная вычислительная область имеет форму куба со следующими размерами:

$$0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y, 0 \leq z \leq L_z$$

Внутри этой области находится модельная плазма, состоящая из электронов и ионов. В модели частицы плазмы равномерно распределены внутри области. Плотность плазмы устанавливается пользователем так же, как и температура электронов. Температура ионов считается равной нулю.

Начальное распределение частиц по скоростям максвелловское (рис. 1).

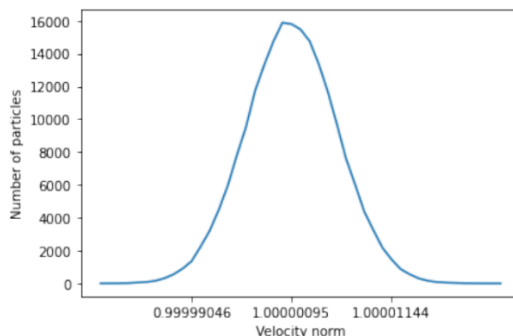


Рис. 1. Распределение скоростей модельных частиц (количество модельных частиц с определенным значением модуля скорости).

Для удобства использования лучше представить это распределение в единицах энергии, а именно в электронвольтах. Это связано с тем, что энергия модельных частиц используется для вычисления сечений столкновений, а данные поперечного сечения обычно приводятся в электронвольтах, например [10]. Распределение в электронвольтах показано на рисунке 2.

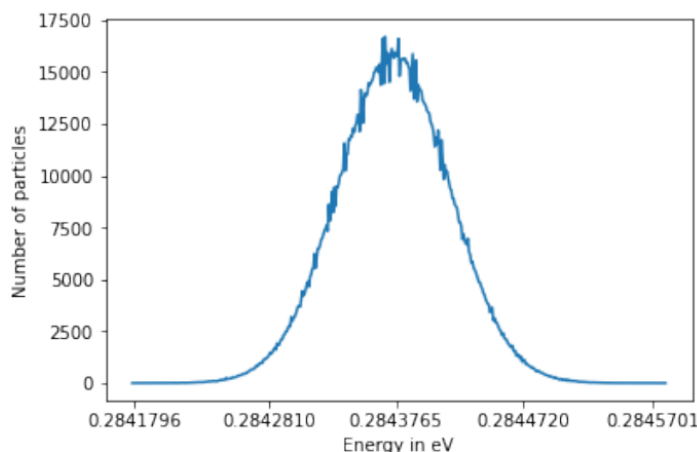


Рис. 2. Распределение энергий модельных частиц (количество модельных частиц с определенным значением модуля энергии).

Расчет движения модельных частиц

Уравнение Власова-Лиувилля решается методом частиц в ячейке [11- 13]. Выталкивание частиц было описано в [14], реализация в целом соответствует схеме, приведенной в [12]. Все вычисления выполняются в реальных физических единицах. Используя размерные единицы, мы могли бы потерять некоторую точность по сравнению с вычислениями в безразмерных единицах, хотя это не очень важно для современных компьютеров. С другой стороны, использование размерных единиц делает вычисления намного более прозрачными и значительно облегчает анализ результатов. Реализация схемы расчета движения модельных частиц на PyTorch доступна в виде репозитория bitbucket.

Моделирование столкновений методом Монте-Карло.

Численный метод

Столкновения электронов с молекулами газа обрабатываются методом нулевого столкновения [15].

Сначала для данного электрона определяется газ (если выполняется моделирование смеси двух газов с плотностями n_1 и n_2) и с помощью случайного числа t , $0 < t < 1$. Если выполняется условие

$$t < \frac{n_1}{n_1 + n_2},$$

то для расчета столкновения берется первый газ, в противном случае - второй. Эту формулу легко обобщить на случай более чем двух газов. Здесь мы работаем со смесями силана и водорода. Таким же образом выбирается один из возможных процессов столкновения. Здесь для простоты мы рассмотрим только два процесса столкновения: ионизацию (сечение ионизации σ_i) и упругое рассеяние (сечение упругого рассеяния σ_{el}). Если для случайного числа с равномерным распределением у

$$y < \frac{\sigma_i}{\sigma_i + \sigma_{el}},$$

то происходит ионизация, если это условие ложно, то происходит упругое рассеяние. Эта формула также легко обобщается для набора процессов столкновения. Такой небольшой набор процессов столкновения или плазмохимических реакций, конечно, нереалистичен. Мы используем эти две реакции просто в качестве примера. Набор реакций, рассматриваемых в модели, может быть легко расширен для моделирования какого-либо конкретного плазменного устройства или плазменного процесса в реальной природе. Далее, когда тип процесса известен, можно найти его сечение. Сечение используется для вычисления вероятности столкновения $p = 1 - \exp(-v\tau\sigma_i)$, где v - модуль скорости частицы, σ - сечение столкновения. Сечения взяты из [10].

Аналогичным образом можно рассматривать и другие процессы, например, рекомбинацию, неупругие столкновения.

Потеря энергии электронов при столкновении

$$\Delta\varepsilon = \frac{2m}{M}(1 - \cos\varphi)$$

Следуя методике [14], приведем процедуру вычисления скорости частицы после столкновения. Для простоты рассмотрения будем искать скорость частицы в декартовой системе координат. Для расчета столкновений необходимо определять три компоненты скорости. Пусть вначале скорость частицы имеет вид $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$. Тогда после столкновения модуль и отдельные компоненты скорости частицы будут выглядеть следующим образом:

$$|v^1| = |v| \begin{cases} 1 + (1 - \cos\theta), & t < 0.5, \\ 1 - (1 - \cos\theta), & t \geq 0.5, \end{cases}$$

$$v_x^1 = |v^1| (\cos\theta \cos\alpha + \sin\theta \sin\varphi \sin\alpha),$$

$$v_y^1 = |v^1| [\cos\beta (-\cos\theta \sin\alpha + \sin\theta \sin\varphi \cos\alpha) + \sin\beta \sin\theta \cos\varphi],$$

$$v_z^1 = |v^1| [-\sin\beta (-\cos\theta \sin\alpha + \sin\theta \sin\varphi \cos\alpha) + \cos\beta \sin\theta \cos\varphi],$$

где t - случайное число с нормальным распределением, α и β – углы, которые первоначальный вектор скорости частицы образует с плоскостями XY и XZ соответственно:

$$\cos \alpha = \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}, \quad \sin \alpha = \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}},$$

$$\cos \beta = \frac{v_y}{\sqrt{v_z^2 + v_y^2}}, \quad \sin \beta = \frac{v_z}{\sqrt{v_z^2 + v_y^2}}.$$

Начальное распределение скоростей частиц задавалось в виде δ -функции:
 $v(\theta, \varphi) = \delta(\theta - \theta_0)\delta(\varphi - \varphi_0)$.

Например при $\theta_0 = 0, \varphi_0 = 0$ скорости всех частиц направлены в положительном направлении оси X. На каждом временном шаге скорости частиц рассчитываются по приведенным выше формулам. За единицу времени первоначальное распределение скоростей релаксирует к гауссовому распределению с максимумом в точке θ_0, φ_0 .

Более того, для ионизации создается новая модельная частица (электрон). Часто упоминается описанная комбинация метода PIC с методом нулевого столкновения [16].

Реализация на PyTorch

Здесь давайте рассмотрим реализацию метода нулевых столкновений с помощью библиотеки PyTorch. Такой выбор инструмента обусловлен следующим. PyTorch – это библиотека для работы с нейронными сетями, которая также может использоваться как простой t в то же время мощный инструмент для вычислений общего назначения, кроме того, эта библиотека легко позволяет использовать графические ускорители вычислений, тем самым дополнительно повышая вычислительную производительность.

Следующий листинг показывает начальную часть кода. Наиболее важным является то, что код полностью векторизован (в нем нет циклов) и легко преобразуется в код для графического процессора.

```
#PyTorch with different types of collision
import torch

N = 20000 #number of model particles
## Step 1 collision probability

V = torch.cat((torch.ones(N, 1), 1e-3*torch.ones(N, 2)), 1)
#contains values of the velocities

v = torch.pow(torch.sum(torch.pow(V, 2), 1), 0.5)
#velocity vector norm
```

На следующем листинге показан расчет вероятности столкновения:

```
p = torch.sub(torch.ones(1, N),
torch.exp(torch.mul(v, - tau * sigma * n)))
#collision probability
'''
## Step 2 collision process

### theta
theta = torch.sqrt(1 - tau * torch.log(torch.rand(N)))
#scattering angle
theta2 = theta * p
cosTheta=torch.cos(theta2)
sinTheta=torch.sin(theta2)
```

И наконец расчет углов рассеяния:

```
t = torch.rand(N)
v=v * (1 + torch.mul(torch.where(t < 0.5, 1, -1), 1 - cosTheta))
'''
### Angle of initial particle speed
'''
cosAlpha=torch.div(V[:,0],
torch.sqrt(torch.pow(V[:,0],2)
+torch.pow(V[:,1],2)))
sinAlpha=torch.div(V[:,1],
torch.sqrt(torch.pow(V[:,0],2)
+torch.pow(V[:,1],2)))
cosBeta=torch.div(V[:,1],
torch.sqrt(torch.pow(V[:,2],2)
+torch.pow(V[:,1],2)))
sinBeta=torch.div(V[:,2],
torch.sqrt(torch.pow(V[:,2],2)
+torch.pow(V[:,1],2)))
```

Далее вычислим новые компоненты векторов скорости модельных частиц

```
V[:,0]=v*(cosTheta*cosAlpha
+sinTheta*sinPhi*sinAlpha)
V[:,1]=v*(cosBeta*(-cosTheta*sinAlpha
+sinTheta*sinPhi*cosAlpha)+sinTheta*cosPhi*sinBeta)
V[:,2]=v*(-sinBeta*(-cosTheta*sinAlpha
+sinTheta*sinPhi*cosAlpha)+sinTheta*cosPhi*cosBeta)
```

Анализ и результатов моделирования.

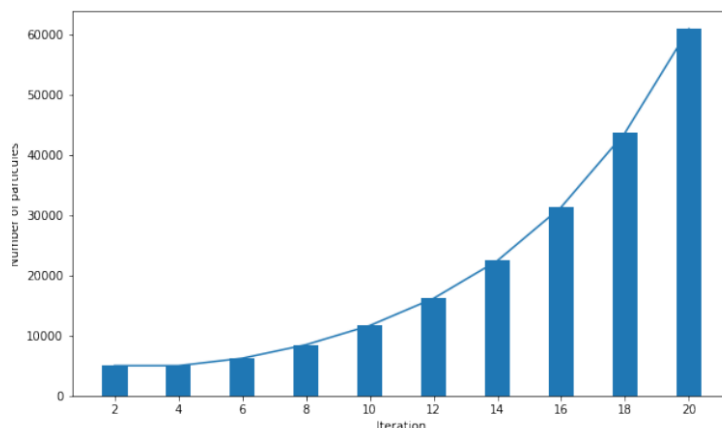


Рис. 3. Количество модельных частиц в зависимости от временного интервала без удаления частиц.

На рисунке 3 показано количество модельных частиц в области в зависимости от временного интервала. Можно видеть, что количество частиц быстро растет, и это явный признак неправильно протекающего процесса. В тлеющем разряде количество частиц должно быть стабильным, и такой быстрый рост больше похож на пробой. Причина такого неправильного поведения в том, что существует источник новых частиц (электронов): ионизация, но нет возможности удалить частицы из вычислительной области. В действительности электроны удаляются за счет поглощения на электродах и стенках реакционной камеры. Другим способом удаления электронов являются плазмохимические реакции, такие как рекомбинация и присоединение. Такие реакции не рассматриваются в настоящей работе, но следует учитывать поглощение частиц на границах. Результат показан на рисунке 6. Видно, что после некоторого колебания количество модельных частиц становится стабильным.

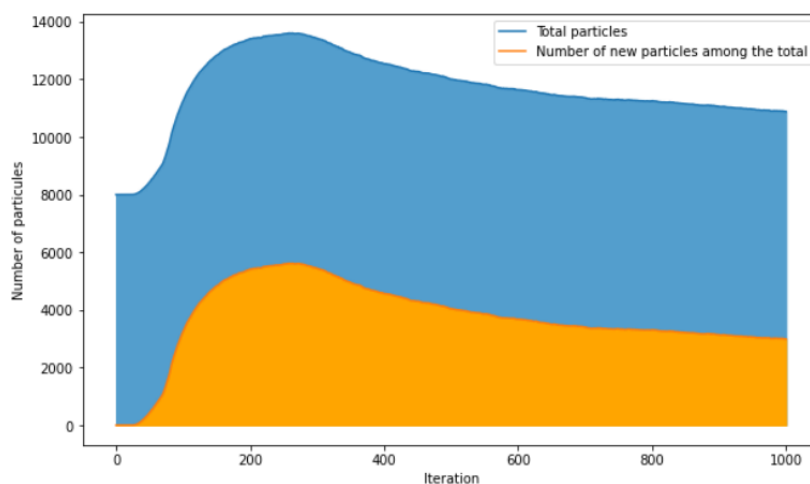


Рис. 6. Общее количество модельных частиц и количество новых модельных частиц, добавленных из-за событий ионизации.

Заключение

Модель силан-водородной плазмы тлеющего разряда реализована на основе метода частиц-ячеек со столкновениями по методу Монте-Карло. Набор реакций плазмы упрощен и содержит всего две реакции: ионизацию и упругое рассеяние. Тем не менее, модель может быть легко расширена. Использование библиотеки PyTorch обеспечивает высокую переносимость - код немедленно переносится на графические процессоры, а также высокую точность вычислений. Основным результатом этой работы является модель плазмы тлеющего разряда, которая способна имитировать реальные плазменные процессы при условии правильного набора плазмохимических процессов и соответствующих поперечных сечений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kemaneci, E. H. Carbone, E. A. D. Booth, J. P. Graef, W. A. A.D. van Dijk, J. Kroesen, G. M.W. Global (volume-averaged) model of inductively coupled chlorine plasma: influence of Cl wall recombination and external heating on continuous and pulse-modulated plasmas // *Plasma Sources Science and Technology*. 2014. V. 23. P.045002-1/14
2. Meeks, E. Cappelli, M. A multi-fluid stagnation-flow plasma model with self-consistent treatment of the collisional sheath // *IEEE Transactions on Plasma Science*. 1993. Vol. 21. No. 6. pp. 768-777.
3. Corr, C.S. Despiau-Pujo, E. Chabert, P. Graham, W. G. Marro, F. G. Graves, D. B. Comparison between fluid simulations and experiments in inductively coupled argon/chlorine plasmas // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2008. V. 41. 185202
4. Katsonis, K. Berenguer, C. Global Modeling of N₂O Discharges: Helicon Plasma Thruster Application // *International Journal of Aerospace Engineering*. 2013
5. Abolmasov, S. N. Kroely, L. Cabarrocas P Negative corona in silane–argon–hydrogen mixtures at low pressures // *Journal Physics D: Applied Physics*. 2008.V. 41, pp. 165203.
6. Akdim, M. R. Goedheer, W. J. Modeling of dust in a silane/hydrogen plasma // *Journal of Physics*. 2003. V. 94 (1). P. 104–109.
7. Byun, J. Y. Ji, Y. J. Kim, K. H. Kim, K. S. Tak, H. W. Ellingboe, A. R. Yeom, G. Y. Characteristics of silicon nitride deposited by very high frequency (162 MHz)-plasma enhanced atomic layer deposition using bis (diethylamino) silane // *Nanotechnology*. 2020. V. 32. P. 075706.
8. Wrobel, A. M. Uznanski, P. Hard silicon carbonitride thin-film coatings by remote hydrogen plasma chemical vapor deposition using aminosilane and silazane precursors. 2: Physical, optical, and mechanical properties of deposited films // *Plasma Processes and Polymers*. 2021. V. 18 P. 2000240
9. Fridman, A. Kennedy, L.A., *Plasma Physics and Engineering*. CRC Press. 2004 - 884 p.
10. Perrin, J. Leroy, O. Bordage, M. C. Cross-Sections, Rate Constants and Transport Coefficients in Silane Plasma Chemistry // *Contributions to Plasma Physics*. 1996. V. 36. P. 3–49.
11. Grigoryev, Y. N. Vshivkov, V. A. Fedoruk, M. P. *Numerical Particle-in-Cell Methods. Theory and applications*. Utrecht-Boston: VSP. 2002. – 252 p.
12. Brieda, L. 2019 *Plasma Simulation by example*. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2019. – 368 p.
13. Romanenko, A. A. Snytnikov, A. V. Boronina, M. A. Cross-platform implementation of Particle-In-Cell method for simulation of high-temperature and fusion plasma by means of hybrid supercomputers equipped with GPU or Intel Xeon Phi accelerators // *Journal of Physics Conference Series*. 2020. V. 1640. p 012016.
14. Birdsall, C. K. Particle-in-cell charged-particle simulations, plus Monte Carlo collisions with neutral atoms, PIC-MCC // *IEEE Transactions on Plasma Science*. 1991. V. 19. N. 2. P. 65–85.
15. Vahedi, V. Surendra, M. A Monte Carlo collision model for the particle-in-cell method: applications to argon and oxygen discharges // *Computer Physics Communications*. 1995. V. 87. P.179–198.

PYTORCH GPU IMPLEMENTATION OF PARTICLE COLLISIONS IN PLASMA

Snytnikov Alexey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences,
Professor at the chair of Applied Informatics

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: aleksej.snytnikov@klgtu.ru

The glow discharge in silane-hydrogene plasma is simulated by the Particle-In-Cell method. For the sake of simplicity just two collisional processes are considered. The implementation of null collision technique with PyTorch library is presented. PyTorch provides portability, flexibility and high precision of computations. The mathematical basics of the technique are given, and the Python code is listed. The diagnostics that help to understand the physical process under study as well as the correctness of the simulation are also given: energy distribution function, the number of electron collision events and the number of model particles.

АЛГОРИТМ ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА НА РЕАЛИЗАЦИИ АССОЦИАТИВНОГО ПРОЦЕССОРА CUSTAR

Снытникова Татьяна Валентиновна, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: tatyana.snytnikova@klgtu.ru

*Для NP-полных задач общеизвестен факт, что хотя каждый оцениваемый вариант на машинах фон Неймана проверяется за полиномиальное время, для генерации всех оцениваемых вариантов полиномиальный алгоритм относительно длины входных данных M не построен. Ассоциативные модели могут строить таблицу вариантов с оценкой по времени $O(M)$ и по памяти $O(2^M)$. Представлен ассоциативный алгоритм полного перебора, выполняемый за время $O(M)$ в случае, если задача полностью помещается в память GPU. При этом значение M не ограничено разрядностью стандартных типов данных. С помощью библиотеки *cuSTAR* этот алгоритм может выполняться на графических ускорителях.*

Введение

Задачи из класса NP постоянно встречаются в различных сферах жизнедеятельности: восстановление поврежденных файлов, оптимизация маршрутов, сложные вычисления в биоинформатике. Несмотря на впечатляющий прогресс вычислительной техники, для архитектур фоннеймановского типа не построен полиномиальный алгоритм решения задачи полного перебора. Это относится не только к вычислительным машинам типа RAM (random access memory), но и к параллельным вычислительным комплексам типа PRAM (parallel random access memory).

Но вычислительные комплексы не ограничиваются архитектурой Фон Неймана. Так, хотя большинство всех используемых вычислительных машин и комплексов производят доступ к памяти по адресу, продолжает развиваться направление ассоциативных вычислений. В такой модели вычислений доступ к данным производится по содержимому: значение ячеек памяти сравнивается со значением входных данных и, в случае совпадения, возвращаются адреса таких ячеек (рис. 1). Некоторый обзор истории развития ассоциативных архитектур приводится в работе [1].

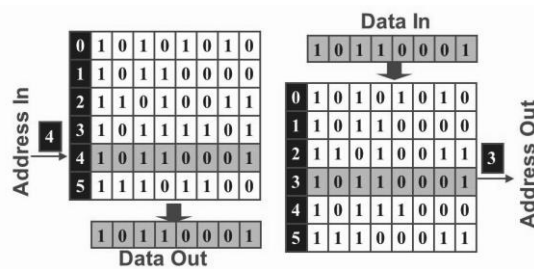


Рис. 1. Доступ к памяти по адресу (RAM) и по содержимому (CAM)

При этом стоит отметить, что используемые ассоциативные архитектуры были построены в сравнительно небольших количествах для решения конкретных задач. То есть доступ к таким архитектурам затруднен.

Кроме непосредственно ассоциативных архитектур свое развитие получили и модели ассоциативных вычислений. И здесь хочется отметить две ассоциативные модели, работа над которыми продолжается долгие годы: ASC (в дальнейшем MASC) и STAR-машина.

Для модели MASC, разрабатываемой в государственном университете Кента, было доказано возможность решения задачи о рюкзаке за полиномиальное время [2]. Но, несмотря на различные прототипы этой модели и теоретическое моделирование ее на различных типах процессоров, разработанные для модели MASC алгоритмы нельзя использовать непосредственно для вычислений. Хотя в работе

[3] анонсировалась реализация модели MASC на графических ускорителях еще в 2015 году, удалось ли сохранить ассоциативные свойства модели в реализации не известно.

Параллельно с моделью ASC в вычислительном центре СО АН СССР, а затем в ИВМиМГ СО РАН развивалась модель ассоциативной обработки STAR-машина. При этом в работе [4] была доказана ее эквивалентность модели ASC. Для STAR-машины построено большое число алгоритмов для решения задач на графах, не только статических, но и динамических. И для этой модели удалось построить эффективную реализацию на графических ускорителях. Реализация cuSTAR, в отличие от модели, имеет свои ограничения по количеству процессорных элементов и размеру памяти, поэтому для некоторых операций и базовых процедур оценки сложности отличаются от полученных в STAR-машине. Но, если сравнивать время вычисления на графических ускорителях, то результаты ассоциативных алгоритмов зачастую лучше, чем результаты неассоциативных алгоритмов.

В данной статье мы сначала приведем некоторые сведения об используемой ассоциативной модели и ее реализации cuSTAR. Во втором разделе будет приведен алгоритм генерации таблицы перебора как в идеальном случае, когда вся таблица перебора помещается в память, так и при ограничении памяти. В третьем разделе приведем выявленные зависимости параметров алгоритма при вычислении на графических ускорителях.

Модель ассоциативных вычислений и ее реализация на графических ускорителях cuSTAR

Модель ассоциативной обработки STAR-машина использует язык высокого уровня Star. Язык наследует синтаксис и основные типы данных от языка Pascal, а также имеет выделенные типы для ассоциативной обработки данных: table - битовая таблица, slice - битовый столбец и word - битовая строка. STAR-машина была реализована на графических ускорителях как библиотека cuSTAR [5,6] на языке C++ с использованием технологии CUDA.

1.1. Операторы ассоциативной обработки языка STAR и процедуры стандартной библиотеки

К базовым операциям языка Star относятся: операции доступа к столбцам (COL(T,i)) и строкам (ROW(T,i)) матричной памяти T как на чтение, так и на запись; побитовые логические операции (NOT, AND, OR, XOR); операции сдвига (shift up, shift down); подсчет единичных битов в столбце; поиск позиции старшей единицы в столбце FND(X) (операция STEP(X) не только выдает позицию старшей единицы, но и меняет ее на ноль); операции маскирования MASK(X,i,j) (записывает в слайс X j единиц подряд начиная с i-й позиции) и MASK1(X,k) (записывает в слайс X чередование из 2^k нулей и 2^k единиц); конвертация столбцов в строки и обратно; предикаты SOME(X) и ZERO(X), определяющие наличие или отсутствие единичных элементов в столбце.

С помощью базовых процедур можно производить: поиск строк таблицы T, совпадающих с образцом v (MATCH(T,X,v,Y)); поиск минимума/максимума; сравнение строк с образцом (<, >); операции сложения и вычитания (процедура ADDC1(T,v,X) добавляет слово v к строкам таблицы T, отмеченным '1' в слайсе X, остальные строки не изменяются); запись слова v в строки таблицы T, отмеченные '1' в слайсе X и различные операции копирования таблиц.

Модель была разработана для решения задач нечисловой обработки и относится к универсальным. Для STAR-машины построено большое число ассоциативных алгоритмов для решения задач на графах, как классических статических, так и динамических. Разработаны способы представления данных для задач биоинформатики.

1.2. Представление типов ассоциативной обработки в реализации cuSTAR

В реализации cuSTAR типы данных для ассоциативной обработки word, slice и table представлены одноименными классами. Заметим, что класс Slice используется и для типа word.

Переменная типа Slice (битовый вектор) моделируется как массив элементов unsigned long long int в глобальной памяти GPU, при этом 64 элемента битового вектора хранятся в одном элементе массива. В классе Slice выделены поля length для хранения длины слайса в битах и NN для хранения длины массива.

Переменная типа Table моделируется как одномерный массив элементов unsigned long long int в глобальной памяти GPU длины NN*size. Также выделены поля для хранения размеров: NN, length (число строк) и size (число столбцов) и d_T (указатель на массив целиком, при этом смещение на NN элементов позволяет обращаться к столбцам).

	vector<int>	vector<int> бинарное представление	Реализация Star-машины																				
1	1804289	0b0000000000110111000100000000001	0...0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	846930	0b0000000000011001110110001010010	0...0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
3	1681692	0b0000000000110011010100100011100	0...0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
4	1714636	0b0000000000110100010100111001100	0...0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
5	1957747	0b000000000011101110111101110011	0...0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
...																					
60	1967513	0b0000000000111100000010110011001	0...0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
61	1365180	0b0000000000101001101010010111100	0...0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0
62	1540383	0b0000000000101111000000100011111	0...0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
63	304089	0b0000000000001001010001111011001	0...0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
64	1303455	0b0000000000100111110001110011111	0...0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1

Из 32 разрядов 11 разрядов пустые

Рис. 2. Стандартных представление структуры vector<int> из 64-х элементов и представление в cuStar

Поскольку ассоциативные алгоритмы используют преимущественно обработку таблиц по столбцам, для использования в реализации было выбрано представление данных, отличающееся от стандартных. На рисунке 2 показаны стандартное представление структуры vector<int> из 64-х элементов в десятичном и двоичном виде и представление этих же данных в cuStar. В структуре vector<int> каждое из целых чисел массива представляет собой 32-х разрядную бинарную строку. В cuSTAR каждый столбец из 64-х битов составляет одно 64-х разрядное целое число. За счет такого вертикального представления данных вместо фиксированных 32-х или 64-х разрядов можно использовать произвольное число.

Генерация вариантов перебора

Все пространство вариантов перебора будет записываться в виде бинарной таблицы, в которой M столбцов и 2^M строк. При этом i-ая строка представляет собой бинарную запись числа i-1. Так на рисунке 3 показана таблица вариантов перебора для M=4, на которой легко прослеживается закономерность для значения бинарных столбцов таблицы.

	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0	0	0	C	A
2	0	0	0	1				
3	0	0	1	0				
4	0	0	1	1				
5	0	1	0	0	0	F	C	A
6	0	1	0	1				
7	0	1	1	0				
8	0	1	1	1				
9	1	0	0	0	F	0	C	A
10	1	0	0	1				
11	1	0	1	0				
12	1	0	1	1				
13	1	1	0	0	F	F	C	A
14	1	1	0	1				
15	1	1	1	0				
16	1	1	1	1				

Рис. 3. Таблица вариантов перебора для M=4.

В терминах STAR-машины это будет означать, что i-столбец таблицы получается с помощью следующих операторов: MASK1(X,M-i); COL(T,i)=X. Каждый из этих операторов в модели выполняются за один такт. Таким образом оценка сложности построения матрицы перебора будет линейна

по количеству столбцов M , а сама таблица будет иметь M столбцов и 2^M строк. Полностью процедура приводится в листинге 1.

```

1 void init_stable(Table T)
2 {
3     unsigned int sz=T.size;
4     unsigned int lth=T.length;
5     for( i=1; i<=sz; i++)
6     {
7         MASK1(X, sz-i);
8         COL(T, i):=X;
9     }
10 }

```

Листинг 1. Инициализация таблицы перебора

Рассмотрим теперь построение таблицы вариантов для реализации. Генерация начальной таблицы перебора вариантов представлена в листинге 1. Если длина таблицы $Length=2^M$, то после вызова процедуры будет построена таблица полного перебора целиком, но это возможно только для сравнительно небольших значения M . Иначе строятся первые $Length$ строк. При этом допустимое максимальное значение $Length$ зависит от размера доступной глобальной памяти на используемом графическом ускорителе.

Чтобы получить из текущей таблицы следующие $Length$ строк таблицы перебора вариантов, нужно добавить ко всем строкам текущей таблицы строку $S=\{00\dots010\dots0\}$ с единственной единицей на $l-1$ позиции, где $l=M-\log_2 Length$. Таким образом у нас есть возможность перебирать как все возможные варианты в диапазоне $[0, 2^M)$, так и в любом заданном диапазоне.

```

1 void complete_search(Table T, Slice ST, Slice SB)
2 {
3     unsigned int sz=T.size;
4     unsigned int lth=T.length;
5     Slice Z1(lth), Z2(lth), Z3(lth), Y(lth);
6     Slice S(sz), ST1(sz), SB1(sz), TMP(sz);
7     unsigned int i, m, l;
8
9     init_stable(T);
10    CLR(Z1); SET(Z2);
11    SB1=Row(T, lth);
12    l=FND(SB1);
13    CLR(S);
14    if (l>1) S(l-1)=1;
15    ADDC1(T, ST, Z2);
16    /* вставить блок для инициализации переменных задачи */
17    for( i=1; i<=sz; i++)
18    {
19        /* вставить блок вычисления по неизменным столбцам */
20    }
21    while (ZERO(Z1))
22    {
23        MATCH(T, Z2, SB, Z1);
24        /* копирование данных по неизменным столбцам */
25        ST1=Row(T, 1);
26        SB1=Row(T, lth);
27        m=FND(ST1 xor SB1);
28        TMP=ST1;
29        i=STEP(TMP);
30        while ((i>0)&&(i<m))
31        {
32            /* вставить блок вычисления расчет по элементам, одинаковым во всех строках, на CPU */
33            i=STEP(TMP);
34        }
35        /* вставить обновление данных на GPU */
36        for( i=m; i<l; i++)
37        {
38            Y=Col(T, i);
39            /* вставить блок вычисления по оставшимся столбцам */
40        }
41        /* вставить блок обновление локального минимума/максимума */
42        ADDC1(T, S, Z2);
43    }

```

Листинг 2. Перебор вариантов в диапазоне $[ST, SB]$.

В листинге 2 приведен код процедуры полного перебора вариантов начиная с бинарной строки ST . Перебор прекращается когда строка SB попадет в обработанный диапазон. Отметим также несколько важных особенностей:

- 1) значение переменной M не ограничено разрядностью используемых типов данных;
- 2) для таблиц длины $Length$

а) последние биты, начиная с l -ого, каждой строки не изменяются при переборе (результаты обработки соответствующих столбцов можно сохранить при первом подсчете для дальнейшего использования);

б) если $l \neq 1$, то найдется такое значение m , что первые $m-1$ битов одинаковые для всех строк таблицы (соответствующие биты можно обработать на CPU);

с) столбцы с m по $l-1$ обрабатываются параллельно, где $m = \text{FND}(\text{row}(T, 1) \text{ xor } \text{row}(T, \text{Length}))$.

Ниже приведем пояснение кода процедуры. В строках 3-7 объявляются вспомогательные переменные. В переменных sz , lth сохраняется размер таблицы, и они задают размеры используемых столбцов и строк. Слайсы (столбцы) $Z1$, $Z2$, Y используются следующим образом: $Z1$ хранит вхождение строки SB в таблицу T ; $Z2$ используется как управляющий для действия со строками. Теперь рассмотрим слайсы (строки) S , $ST1$, $SB1$, TMP : строка S отвечает за сдвиг диапазона обработки, она была описана выше; $ST1$ и $SB1$ - первая и последняя строки таблицы, задающие текущий диапазон обработки. TMP - вспомогательная переменная для вычисления m . Переменные l и m используются для разделения таблицы на части для обработки и тоже были описаны выше.

В строках 9-15 переменные иницируются. Поскольку полный перебор является методом решения задачи, то комментариями в строках 16, 19, 24, 33, 40, 42 отмечены места для соответствующего кода вычислений решаемой задачи. Цикл в строках 17-20 отвечает за обработку тех столбцов, которые остаются неизменными во время всего перебора. Цикл в строках 21-44 выполняется до тех пор, пока в таблице не появится строка, совпадающая с SB , при этом выполняется хотя бы одна итерация цикла (то есть в случае, когда $\text{Length} = 2^M$, необходимый оптимум будет вычислен). Проверка вхождения строки SB происходит в 23 строке. Далее, в строках 25-28 находится значение переменной m - первый бит, в котором строки таблицы различаются. Соответственно в цикле (строки 31-35) предлагается производить вычисления только по единичным битам. Цикл в строках 37-41 отвечает за обработку оставшихся столбцов. После произведения всех необходимых вычислений в строке 43 диапазон строк, записанных в T , сдвигается на S .

Анализ ассоциативного алгоритма от параметров

В этом разделе нас будут интересовать распределение значений параметра m (первый отличающийся бит в строках текущей итерации).

Напомним параметры задачи и связь между ними: M - число столбцов; Length - число строк; $\text{NN} = \text{Length}/64$ - количество элементов при реализации столбца (зависит от характеристик вычислителя); $l = M - \log_2 \text{Length}$ - номер столбца, начиная с которого столбцы таблицы не меняются в процессе перебора; m - позиция первого бита, в котором строки различаются и число итераций $2^M / \text{Length} = 2^{M-6} / \text{NN}$.

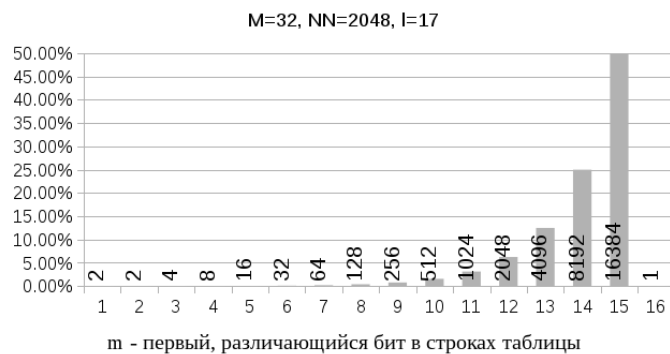


Рис. 3. Распределение значения m .

На рисунке 3 показано распределение значения переменной m при построении таблицы перебора вариантов для $M=32$. Используемая таблица T состоит из 32-х столбцов и 131072-х строк, а значит для построения полной таблицы перебора нужно 32769 итераций. При этом половина таблицы T (с 17 по 32 столбцы) обрабатывается после инициализации и не нуждается в пересчете в дальнейшем. Далее, для 50% итераций для всех строк с 1 по 14 биты одинаковые, а значит их обработка может быть выполнена на CPU, а параллельно обрабатываются только столбцы 15 и 16. И

только на двух итерациях необходимо обрабатывать с первого по шестнадцатый столбцы. Используя такой способ организации обработки таблицы перебора вариантов при решении задачи о рюкзаке при $M=32$ время расчета уменьшается примерно на порядок.

Заметим также, что при увеличении $Length$ в 2 раза:

- количество необходимых итераций уменьшится в 2 раза;
- l уменьшится на единицу.

При этом распределение по m изменится следующим образом: значение $m=l-1$ при переборе встречается ровно один раз, значения 1 и 2 встречаются по 2 раза, значение m в диапазоне $[3, l-2]$ встречается в два раза чаще предыдущего. Это приводит к тому, что время вычисления при одинаковом числе вычислительных ядер уменьшается (рисунок 4).

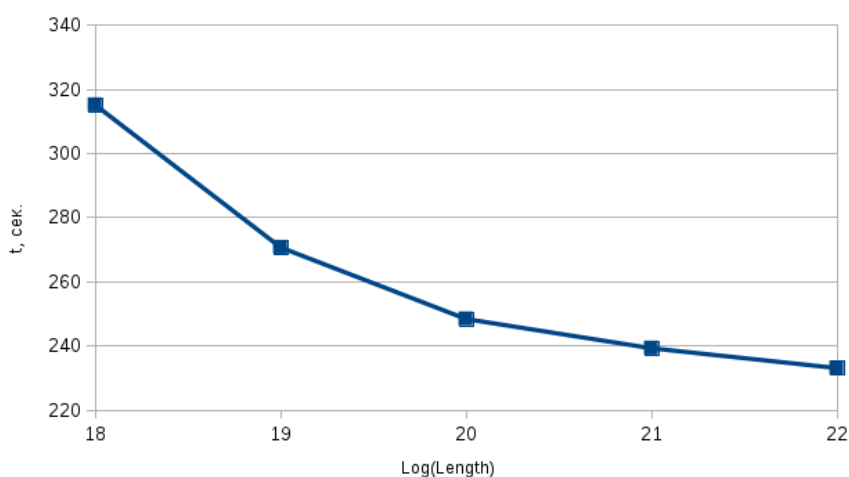


Рис. 4. Зависимость времени выполнения полного перебора от параметра $Length$ ($M=32$, 1024 вычислительных ядер).

На данный момент остается неисследованным вопрос: как изменяется от итерации к итерации одинаковая часть для всех строк таблицы. Возможно выявление этой зависимости позволит еще сильнее уменьшить время решения задач на основе полного перебора.

И хочется отметить, что более мощные графические ускорители, во-первых, позволяют использовать более длинные таблицы (а значит при расчете будет выполнено меньше количество итераций), и, во-вторых, быстрее производят вычисления при фиксированных длине таблицы и количестве используемых ядер. Так, перебор таблицы вариантов при $M=32$, $Length=262144$ (2^{18}), на 1024 ядрах вычисляется на видеокарте Nvidia GeForce 920M за 315.15 секунд, в то время как на графическом ускорителе Nvidia Tesla A100 всего за 7.47 секунд (ускорение в 42 раза).

Выводы

В статье рассмотрен ассоциативный алгоритм полного перебора с оценкой временной сложности $O(M)$, где M - число перебираемых переменных. Хотя данный алгоритм разработан для абстрактной модели ассоциативных вычислений STAR-машины с условно бесконечной памятью и числом процессоров, он рассчитан на выполнение на графических ускорителях NVidia с использованием библиотеки cuSTAR. Но экспоненциальная оценка по используемой памяти и ограничения по памяти физических устройств приводит к тому, что линейная оценка по времени остается только для очень небольших значений M . В остальных случаях ограничение используемой памяти приводит к итерационному перебору.

Тем не менее у ассоциативного алгоритма сохраняется несколько важных достоинств, отличающих его от других параллельных реализаций полного перебора на графических ускорителях: значение M не ограничено разрядностью используемых типов; возможность начинать перебор с любой строки позволяет производить вычисления на нескольких графических ускорителях; понятная структура таблицы позволяет значительно сократить необходимые вычисления при решении задач методом полного перебора; гибкость изменения как размера таблицы, так и числа вычислительных ядер.

В дальнейшем планируется исследовать зависимость по итерациям изменение части строк, общие для всей таблицы. Также необходимо определить оптимальное число вычислительных ядер. После этого можно будет использовать алгоритм для решения NP-полных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снытникова, Т. В. Развитие ассоциативных параллельных архитектур // Проблемы информатики. 2019. № 2. С. 36–50.
2. Ulm, D. Baker, J. Solving a 2D Knapsack Problem on an Associative Computer Augmented with a Linear Network // Conference: Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, PDPTA 1996, pp. 29-32.
3. Mingxian. J. Associative Operations from MASC to GPU // PDPTA'15 – The 21st International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications. Las Vegas: CSREA Press, 2015. P. 388–393.
4. Непомнящая, А.Ш. Владыко, М.А. Сравнение моделей ассоциативного вычисления // Программирование. 1997. № 6. С. 41-50.
5. Снытникова, Т. В. Непомнящая, А. Ш. Решение задач на графах с помощью STAR-машины, реализуемой на графических ускорителях // Прикладная дискретная математика. 2016. №.3(33). С. 98–115.
6. Снытникова, Т. В. Реализация модели ассоциативных вычислений на GPU: библиотека базовых процедур языка Star. // Вычислительные методы и программирование. Новые вычислительные технологии. 2018. №. 19. С. 85–95.
7. Попов, М. В. Посыпкин, М. А. Эффективная реализация точных алгоритмов решения задач дискретной оптимизации на графических ускорителях // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. №2.

A BRUTE FORCE ALGORITHM BASED ON THE CUSTAR IMPLEMENTATION OF AN ASSOCIATIVE PROCESSOR

Snytnikova Tatyana Valentinovna, PhD in Technical Sciences

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: tatyana.snytnikova@klgtu.ru

For NP-complete problems, it is a well-known fact that each evaluated variant on von Neumann machines is checked in polynomial time. But the number of variants, as well as the total time for their construction, grows exponentially relative to the length of the input data M . Associative models can build a table of variants with an estimate of $O(M)$ time and $O(2^M)$ memory. In the paper, we present an associative full-search algorithm performed in $O(M)$ time if the task fits completely into the GPU memory. At the same time, the value of M is not limited by the bit depth of standard data types. Using the cuSTAR library, this algorithm can be executed on graphics accelerators.

V НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»

V NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION"

УДК 681.5.03

УПРАВЛЕНИЕ ВАКУУМНОЙ СУШКОЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

¹Берг Александр Алексеевич, аспирант кафедры цифровых систем и автоматики

²Долгий Николай Алексеевич, канд. техн. наук,
доцент кафедры цифровых систем и автоматики

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹berg.alexandr@gmail.com; ²dolgi@klgtu.ru

Приведен сравнительный анализ способов сушки пищевых продуктов, показаны преимущества вакуумной сублимационной сушки пищевых продуктов, разработана функциональная схема автоматизации вакуумной сублимационной установки, определены точки контроля технологических параметров сушки продуктов.

Сушка – один из наиболее известных методов консервации пищевых продуктов заключающийся в удалении воды с помощью тепла или сухого воздуха. Этот процесс увеличивает срок хранения продуктов, облегчает их транспортировку и снижает затраты на хранение.

Существуют различные способы сушки пищевых продуктов. Одним из распространенных способов является сушка при атмосферном давлении. С одной стороны, пищевой продукт в этом случае находится в контакте с воздухом, появляются окислительные реакции, приводящие к снижению качества продуктов. С другой стороны, для данного способа характерно использование высокой температуры нагрева, что также может привести к ухудшению питательных свойств продукта.

Оборудование для сушки отличается многообразием конструкций и технологических решений [1]. В конвективных сушильных установках (сушильный агент выполняет функции теплоносителя и влагопоглотителя) градиент температуры направлен в сторону, противоположную градиенту влагосодержания, что замедляет удаление влаги из продукта. Кондуктивный способ обезвоживания основан на передаче теплоты продукту при соприкосновении с горячей поверхностью, при этом воздух служит только для удаления водяного пара из сушилки, являясь влагопоглотителем.

Способ сушки токами сверхвысокой частоты основан на различии диэлектрических свойств воды и сухих веществ пищевых продуктов. Так как влага нагревается быстрее, чем продукт, возникающие здесь градиенты влагосодержания и температуры совпадают, что интенсифицирует процесс сушки.

Перспективной альтернативой является вакуумная сушка, сущность которой состоит в удалении влаги из продукта в условиях давления ниже атмосферного, но выше тройной точки воды. Применение вакуума позволяет избежать вышеперечисленных недостатков атмосферной сушки и существенно интенсифицировать процесс [2].

При вакуумной сушке в первую очередь удаляется свободная влага, присутствующая внутри клеток материала и происходит наиболее интенсивная деформация структуры тканей материала и образование в них трещин и разрывов. После этого удаляется связанная влага, находящаяся в микро- и макрокапиллярах клеток. Интенсифицировать испарение влаги, фильтрационный перенос пара и

жидкости в продукте при вакуумной сушке можно за счет чередования циклов вакуумирования и нагрева продукта. [3].

Продукты, полученные с помощью вакуумной сушки, обладают рядом преимуществ по качественным показателям, возможности гранулирования, относительно невысокой себестоимости выработки продукта и оборудования.

Учеными Н. А. Воскресенским, Т. И. Макаровой и К. А. Мартемьяновой установлено влияние сушки горячим и холодным способами при атмосферном давлении, а также методом сублимации под вакуумом на сохранение нативных свойств мышечной ткани рыбы. Нативные свойства мышечной ткани рыбы и изменение их в процессе сушки исследователи характеризовали комплексом показателей, включавшим органолептические (цвет, запах, вкус, консистенция), физические (линейные размеры и форма кусочков рыбы), биохимические (набухаемость, усвояемость) и химические (содержание различных форм азота – общего, небелкового, аминокислот, летучих оснований и водорастворимой и солерастворимой фракций белков) признаки рыбы до и после сушки, а также возможность разнообразной кулинарной обработки [4].

Для подтверждения теоретических выводов работы были проведены ряд опытов, в которых использовали мясо совершенно свежего сома, щуки и судака, а также мороженой трески. Филе рыбы разделявали на кусочки толщиной около 20 мм и весом от 40 до 100 г и сушили по следующим режимам:

1) горячая атмосферная сушка проводилась в сушильном шкафу при температуре 120–160 °С в начале и 90–100 °С в конце процесса, процесс сушки длился не более 8 ч;

2) холодная атмосферная сушка проводилась при температуре от 10 до 30 °С и скорости движения воздуха около 0,4 м/с, процесс сушки длился до 10 сут;

3) сушка под вакуумом методом сублимации проводилась при остаточном давлении от 0,3 до 1 мм рт. ст. и температуре, окружающей рыбу среды от 18 до 30 °С; температура сублимации достигала –18 °С; процесс сушки длился 18–20 ч.

Для исследования влияния различных способов сушки на органолептические свойства мяса рыбы использовали свежую щуку и мороженую треску. Высушенную рыбу исследовали непосредственно в сухом виде, а также после замачивания в воде. Рыбу, высушенную при атмосферном давлении, замачивали в течение 20–24 ч, так как она очень медленно набухает, а рыбу вакуумной сушки в течение 1 ч.

Органолептическая оценка мяса рыбы, высушенного разными способами, в сопоставлении со свежим мясом показала, что при сушке методом сублимации в основном сохраняются естественные свойства высушиваемого сырья, однако сублимационная вакуумная сушка, хотя и в меньшей мере, чем атмосферная сушка, все же изменяет свойства продукта.

Установки сублимационной вакуумной сушки технически сложны, требуют сочетания техники глубокого вакуума и холодильной техники, имеют высокие удельные энергозатраты, большую металлоемкость, обслуживаются высококвалифицированным персоналом. Установки лиофильной сушки включают: испарители твердой фазы (сублиматоры), конденсаторы паров (десублиматоры), вакуум-насосы, ловушки и др. Конструкции оборудования зависят от масштабов производства, способов проведения процесса, состава и физико-химических свойств веществ, требования к конечным продуктам переработки. Процесс сублимационной вакуумной сушки может осуществляться периодически и непрерывно. Внешний вид сублимационной вакуумной камеры изображен на рисунке 1.

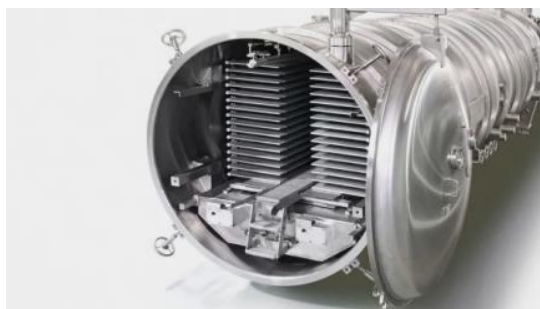


Рис. 1. Внешний вид сублимационной вакуумной камеры

Для вакуумной сушки пищевых продуктов используют различные по конструктивному оформлению сублимационные вакуумные установки. Но практически все они подразделяются на сублимационные вакуумные установки периодического и непрерывного действия.

Наиболее оптимальным способом управления вакуумной сублимационной установкой является построение системы управления с использованием метода комбинированного управления [5]. Сущность указанного метода заключается в особенности построения такой системы управления, где учитывается одновременно зависимости основных показателей сушки, таких как значение давления вакуума в камере, температура продукта, уложенного на противнях с управляющими режимными параметрами функционирования насосов и системы хладоснабжения установки.

В работе предложена система автоматизации сублимационной вакуумной установкой (рисунок 2). Исходный продукт размещается на противнях между радиаторами нагревательного блока установки. Для предварительной откачки воздуха в камере запускается форвакуумный водокольцевой насос высокой производительности. Когда давление в вакуумной камере достигнет значения 80...100 мм рт.ст., система управления выключает форвакуумный насос выключает и включает эжекционный насос. Подогрев поступающий в радиаторы установки воды осуществляется электроподогревателем. При достижении температуры в продукте значения, равному значению давлению паров насыщения ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 32\text{ мм рт.ст.}$), включается подача воды в конденсатор установки и начинается непосредственно вакуумная сушка пищевого продукта.

Процесс сушки продолжается до получения заданной влажности, которая определяется по значению расхода конденсата, находящегося в сливном баке. В более ранних вариантах технической реализации установки время сушки рассчитывалось по измерению уровня конденсата в сливном баке визуальным способом с помощью мерного стекла.

В предложенной схеме время сушки продукта определяется с помощью мостовых тензометрических датчиков WE (BW1) и WE (BW2), которыми измеряется вес замороженного продукта и вес выпарившегося конденсата в сливном баке. По соотношению измеренного веса система управления установкой определяет непосредственно время сушки. Использование данного способа контроля расхода конденсата (выпарившейся влаги из продукта) исключает субъективный человеческий фактор, который может внести определенную погрешность измерения. Используя определенные зависимости, рассчитанные технологами для конкретного вида продукта, можно определить степень усушки продукта.

На приведенной схеме системы автоматизации установки вакуумной сушки показаны основные точки контроля технологических параметров оборудования, входящего в состав сублимационной вакуумной установки. К ним относятся: температура холодной воды в водяном баке, TE (BK1), температура в радиаторах, TE (BK2), давление разрежения в сушильной камере, PE (BP1), температура продукта в вакуумной камере, TE (BK3), расход холодной воды, поступающей в радиаторы, FE (BF1), давление воды на входе вакуумного инжекционного насоса, PE (BP2), вес замороженного блока рыбы до сублимации, WE (BW1), вес конденсата в сливном баке, WE (BW2).

Управление сублимационной вакуумной установкой реализовано на базе промышленного программируемого контроллера СПК110 со встроенным сенсорным экраном для контроля за технологическими параметрами работы установки. Контроль параметров функционирования установки повышает надежность протекания технологического процесса и качество продукта, прошедшего сушку. Использование метода комбинированного управления для решения задач вакуумной сушки пищевых продуктов позволяет повысить инвариантность основных технологических параметров сушки относительно основных возмущений процесса, а также снизить чувствительность к изменениям динамических характеристик сушильной установки. Применение современного управляющего контроллера СПК110 позволяет полностью автоматизировать технологический процесс вакуумной сушки. Дальнейшим развитием и совершенствованием технической и программно-управляющей структуры системы управления вакуумных сублимационных установок для различных видов пищевой продукции является применение современных интеллектуальных технологий, позволяющих использовать новые подходы к реализации указанных систем управления.

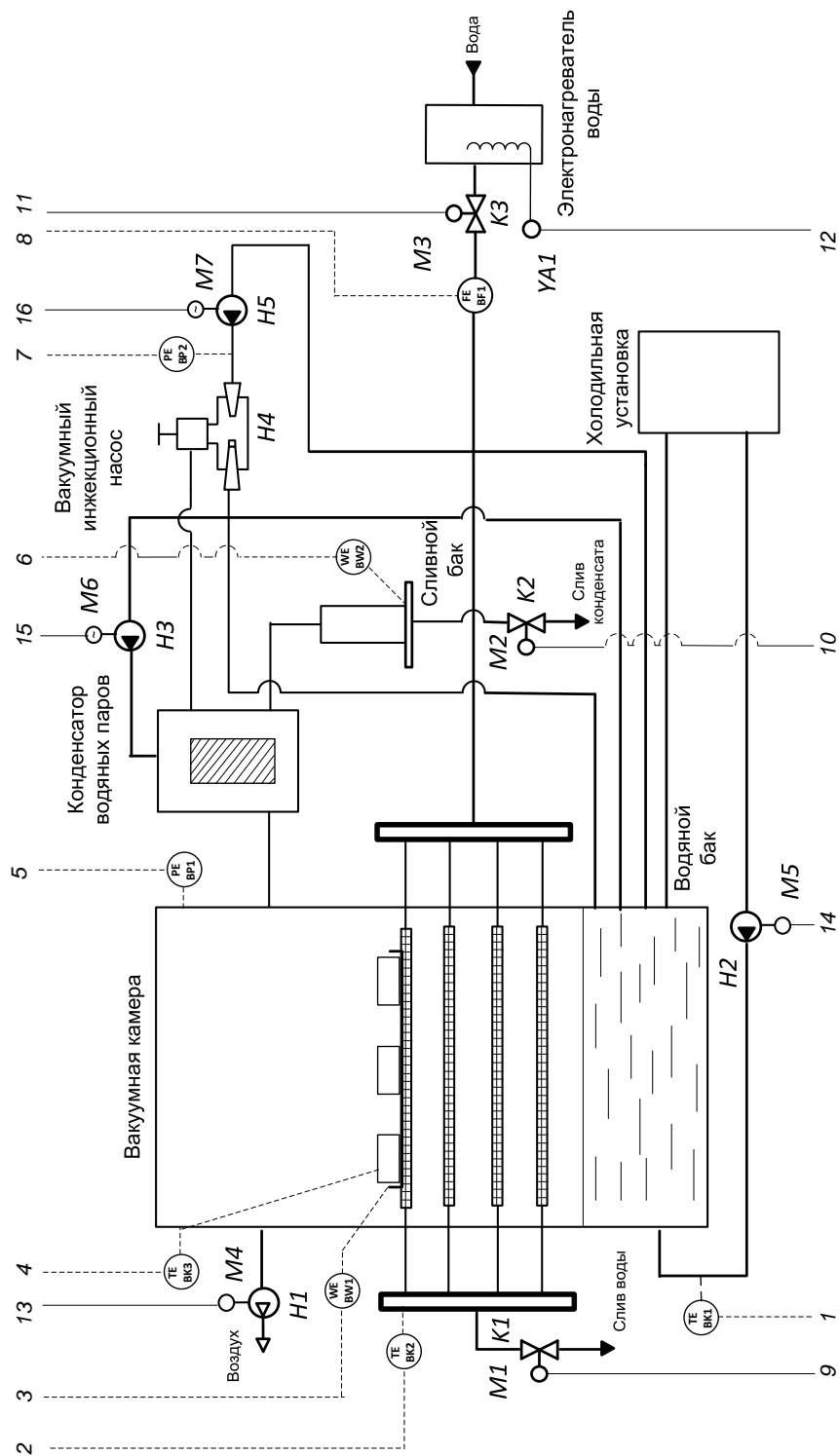


Рис.2. Схема автоматизации сублимационной вакуумной установкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование перерабатывающих производств: учебник для вузов / Т. В. Орлова, А. В. Степовой, Е. А. Ольховатов, А. А. Варивода. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 284 с. – ISBN 978-5-507-47601-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/394697> (дата обращения: 08.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей

2. Семенов, Г. В. Вакуумная сублимационная сушка пищевых продуктов: температурные границы для рационального использования в промышленном производстве / Г. В. Семенов, С. А.

Ермаков, И. С. Краснова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2022. – № 2-3(386-387). – С. 51-57. – DOI 10.26297/0579-3009.2022.2-3.10. – EDN VZOIXG.

3.Марченкова, С. Г. Перспективы применения сублимационной вакуумной сушки пищевых продуктов / С. Г. Марченкова, Н. И. Зырянов // Инновации в развитии сферы общественного питания. Проблемы формирования инновационного продукта в области пищевых технологий и здорового питания: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Н.И. Ковалева. Сборник материалов II этапа конкурса Инновационных проектов и идей в области пищевых технологий и здорового питания, Красноярск, 15 мая 2013 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – С. 149-153. – EDN YMCZPD.

4.Воскресенский Н.А. Влияние различных способов сушки на сохранение нативных свойств мяса рыбы/ Н.А. Воскресенский, Т.И. Макаров, К.В. Мартемьянов// Сборник науч. трудов ВНИРО. Москва. –, 1954. – С. 69-83.

5.Автоматизация вакуумной сублимационной сушки продукции с использованием метода комбинированного управления / М. Г. Балыхин, М. М. Благовещенская, И. Г. Благовещенский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 2(380). – С. 133-137. – EDN NZHCOP.

CONTROL OF VACUUM DRYING FOOD PRODUCTS

¹Berg Alexander Alekseevich, graduate student of the Department of Digital Systems and Automation

²Dolgi Nikolay Alexeevich, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹berg.alexandr@gmail.com; ²dolgi@klgtu.ru

The article provides a comparative analysis of methods for drying food products, shows the advantages of vacuum sublimation drying of food products, develops a functional diagram for the automation of a vacuum sublimation installation, and identifies control points for technological parameters of food drying.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПО КАНАЛУ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕРНОСУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ VESTA-30

¹Будченко Ирина Сергеевна, ассистент кафедры цифровых систем и автоматики

²Будченко Наталья Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

³Долгий Николай Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹irina.budchenko@klgtu.ru; ²natalya.budchenko@klgtu.ru; ³dolgi@klgtu.ru

Предложена математическая модель процесса сушки зерна по каналу регулирования температуры зерносушильной установки VESTA-30. На основании уравнений теплового баланса и теплопередачи составлена тепловая модель системы автоматического регулирования температуры агента сушки. Выбран закон регулирования САР температуры в воздухонагревателе. Исследовано влияние на температуру возмущающих воздействий в системе.

Производство зерна – важнейшая отрасль сельского хозяйства, от которой в значительной степени зависит экономика государства. В настоящее время одной из ведущих задач экономического развития России является увеличение производства зерна на основе значительного повышения урожайности и сокращения потерь на всех этапах его обработки [1]. Сушка зерна – ответственный завершающий этап производственного процесса. Его правильное проведение обеспечивает дозревание и долгое хранение, достижение необходимого класса и качества сырья.

Зерносушильные установки VESTA оснащены автоматизированной системой управления, которая позволяет задавать необходимый режим сушки, регулируя температуру в любой секции сушилки с высокой точностью. Именно возможность контролировать температуру предохраняет зерно от чрезмерного теплового воздействия, которое может привести к его растрескиванию, к денатурации белка, к снижению хлебопекарных свойств [2]. Основные преимущества отечественных шахтных зерносушилок VESTA заключаются в их компактности, простоте конструкции и монтажа, высокой эксплуатационной надежности и относительной дешевизне по сравнению с зарубежными аналогами - в 3-5 раз [3].

Зерносушильная установка VESTA-30 представляет из себя совокупность норий, конвейеров, емкостей для хранения зерна и непосредственно сушильной установки (рисунок 1). Изначально зерно вываливают в завальную яму, где находится конвейер, который перемещает зерно в сторону нории электродвигателем. Конвейер завальной ямы оснащен мембранным датчиком подпора серии MS INNOLEVEL и индуктивным бесконтактным датчиком PRDS12-8D. С помощью данных датчиков контролируется состояние конвейера от забивания его зерном конвейера, обрыва или схода ленты. Далее поток зерна распределяется специальным клапаном в зависимости от его качества. Если зерно чистое, то оно направляется в норию загрузки буферной емкости, если нет, то в норию загрузки сепаратора, а после сепарирования в норию загрузки буферной емкости (силос). Каждая нория оснащена датчиком подпора MS INNOLEVEL, который в случае перегрузки зерном информирует устройство управления выдать команду на останов, индуктивным бесконтактным датчиком PRDS12-8D, который контролирует состояние вращения вала двигателя. В нории так же установлен контрподшипник, который не дает в случае останова нории при нагрузке ее зерном начать вращение в обратную сторону. Буферная емкость (силос) оснащен двумя датчиками уровня «N-Ex INNOLEVEL»: нижним для информации и верхним для недопущения переполнения и экстренным остановом. В установке находится электродвигатель, осуществляющий подпор воздуха для хранения зерна перед дальнейшей его транспортировкой. Под силосом зерно спускается на конвейер в случае открытия шиберной задвижки под силосом. Далее зерно поднимается по нории загрузки зерна, и в зависимости если оно сухое, то соответствующий клапан открывается в сторону ангара зернохранилища, а если зерно требует сушки, то клапан открывается в сторону сушилки зерна VESTA 30

и там после наполнения сушилки начинается процесс сушки зерна. Далее после процесса сушки зерно может отправиться по нескольким направлениям: в сторону ангара зернохранилища через норию выгрузки зерна; в сторону транспортировочных бункеров или на повторную сушку.

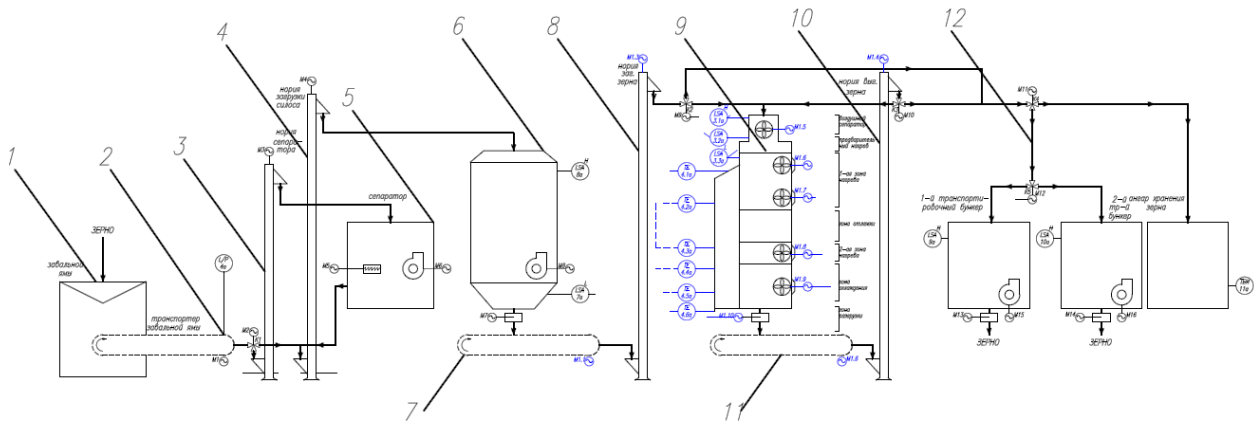


Рис.1. Схема зерносушильной установки

1 – завальная яма, 2 – конвейер завальной ямы, 3 – нория загрузки сепаратора, 4 – нория загрузки буферной емкости, 5 – сепаратор, 6 – буферная емкость, 7 – конвейер буферной емкости, 8 – нория загрузки, 9 – сушильная установка VESTA, 10 – нория выгрузки, 11 – конвейер сушильной установки, 12 – зона хранения и транспортировки

Модель объекта по каналу регулирования температуры воздуха в зерносушилке строится на основании известных законов, определяющими связи между входами и выходами объекта. Математическая модель теплового процесса установки для сушки зерна базируется на уравнениях теплового баланса и теплопередачи. В данном случае рассматривается тепловая модель системы автоматического регулирования температуры агента сушки посредством горелки. Зерносушилки серии VESTA-30 оснащены теплогенератором, состоящим из воздухонагревателя и горелки.

Атмосферный воздух засасывается в воздухонагреватель, откуда через трубопровод поступает в шахту зерносушилки. Воздухонагреватель представляет собой теплообменник. Теплопроизводительность воздухонагревателя регулируется с помощью горелки.

Так как любая установка воздухонагревателя для сушки зерна в структурном отношении представляет собой сложный нелинейный объект с распределенными параметрами и большим числом внутренних обратных связей, для получения ее математической модели, пригодной для практического использования, вводятся упрощающие допущения, заключающиеся в том, что:

- установка рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами;
- теплофизические характеристики в рассматриваемом диапазоне температур считаются постоянными.

Уравнение в динамике для воздухонагревателя:

$$\frac{dt_{B_2}}{d\tau} C_B m_B = B \cdot Q_n - G_B C_B (t_{B_2} - t_{B_0}) - \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT} (t_{B_2} - t_{CT}) \quad (1)$$

где τ – время нагрева воздуха, с.

Линеаризуем полученное уравнение (1):

$$m_B C_B p \Delta t_{B_2} = \Delta B \cdot Q_n - C_B (t_{B_2} - t_{B_0}) \Delta G_B - G_B C_B \Delta t_{B_2} + G_B C_B \Delta t_{B_0} - \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT} \Delta t_{B_2}; \quad (2)$$

$$(m_B C_B p + G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}) \Delta t_{B_2} = \Delta B \cdot Q_n - C_B (t_{B_2} - t_{B_0}) \Delta G_B + G_B C_B \Delta t_{B_0}; \quad (3)$$

$$\left(\frac{m_B C_B}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} p + 1 \right) \Delta t_{B_2} = \frac{Q_n}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} \Delta B - \frac{C_B (t_{B_2} - t_{B_0})}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} \Delta G_B + \frac{G_B C_B}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} \Delta t_{B_0} \quad (4)$$

Поддержание заданной температуры является одной из самых важных задач при управлении пищевыми объектами. Среди требований к системе регулирования температуры воздуха в зерносушилке можно выделить следующие:

- номинальное значение температуры воздуха (агента сушки);
- время переходного процесса;
- перерегулирование $\sigma < 20\%$.

Анализ требований к системе регулирования температуры воздуха в зерносушилке показывает, что целесообразно использовать ПИ-регулятор, статическая ошибка которого равна нулю. Существуют различные методы определения оптимальной настройки регуляторов: по передаточной функции объекта, частотным характеристикам объекта, по АФХ разомкнутой САР и др. Суть их состоит в экспериментальном определении динамических свойств системы, обработке результатов эксперимента и последующем расчете оптимальных значений параметров настройки.

Приведем уравнение (4) к безразмерному виду, введя новые переменные:

$$x = \frac{\Delta B}{B_{ном}}; \quad y = \frac{\Delta t_{в2}}{t_{в2ном}}; \quad f_1 = \frac{\Delta G_в}{G_{вном}}; \quad f_2 = \frac{\Delta t_{в0}}{t_{в0ном}};$$

где $B_{ном}$ - номинальный расход топлива;

$t_{в2ном}$ - номинальная температура на выходе из воздухонагревателя;

$G_{вном}$ - номинальный расход воздуха;

$t_{в0ном}$ - номинальная температура на входе в воздухонагреватель.

Перейдя к стандартной форме уравнения динамики в операторном виде (4):

$$(Tp + 1)y(p) = K_1x(p) + K_2f_1(p) + K_3f_2(p); \tag{5}$$

где T – постоянная времени, с;

K_1 - коэффициент передачи по управляющему воздействию в относительных единицах;

K_2 - коэффициент передачи по первому возмущающему воздействию в относительных единицах;

K_3 - коэффициент передачи по второму управляющему воздействию в относительных единицах;

$$T = \frac{m_B C_B}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} = 1564 \text{ с}; \quad K_1 = \frac{Q_n}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} = 462;$$

$$K_2 = -\frac{C_B (t_{в2} - t_{в0})}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} = -1.45; \quad K_3 = \frac{G_B C_B}{G_B C_B + \alpha_{B \rightarrow CT} F_{CT}} = 0.94;$$

Отсюда, передаточная функция по каналу управления «температура воздуха – расход газа»:

$$W(p) = \frac{\Delta y(p)}{\Delta x(p)} = \frac{K_1}{Tp + 1} \cdot e^{-\tau p}$$

$\tau = 470$ с – запаздывание, определяется временем, которое проходит сигнал от датчика температуры сушильного агента до горелки.

$$W_0(p) = \frac{462}{1564p + 1} \cdot e^{-470p}$$

Передаточные функции по возмущениям:

- «температура воздуха – расход воздуха»:

$$W_{f1}(p) = \frac{\Delta y(p)}{\Delta f_1(p)} = \frac{K_2}{Tp+1} \cdot e^{-\tau p}$$

$$W_{f1}(p) = \frac{-1.45}{1564p+1} \cdot e^{-470p}$$

- «температура воздуха – температура воздуха начальная»:

$$W_{f2}(p) = \frac{\Delta y(p)}{\Delta f_2(p)} = \frac{K_3}{Tp+1} \cdot e^{-\tau p}$$

$$W_{f2}(p) = \frac{0.94}{1564p+1} \cdot e^{-470p}$$

Используя методику Циглера –Никольса выбираем ПИ регулятор. Методом моделирования уточняем коэффициенты ПИ-регулятора. На рисунке 2 представлена САР температуры в воздухонагревателе.

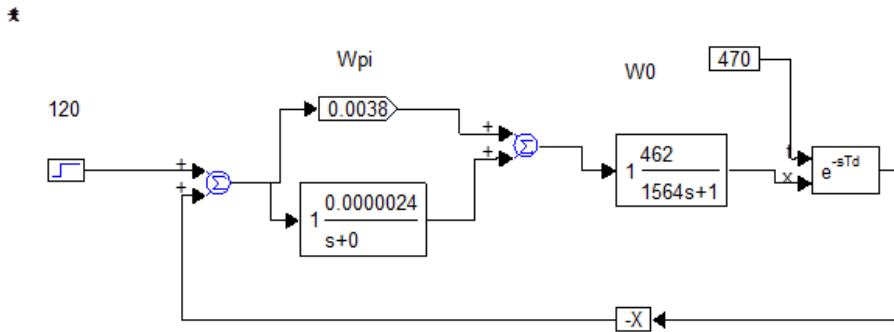


Рис.2. Структурная схема САР температуры в воздухонагревателе

График переходного процесса по каналу управления представлен на рисунке 3.

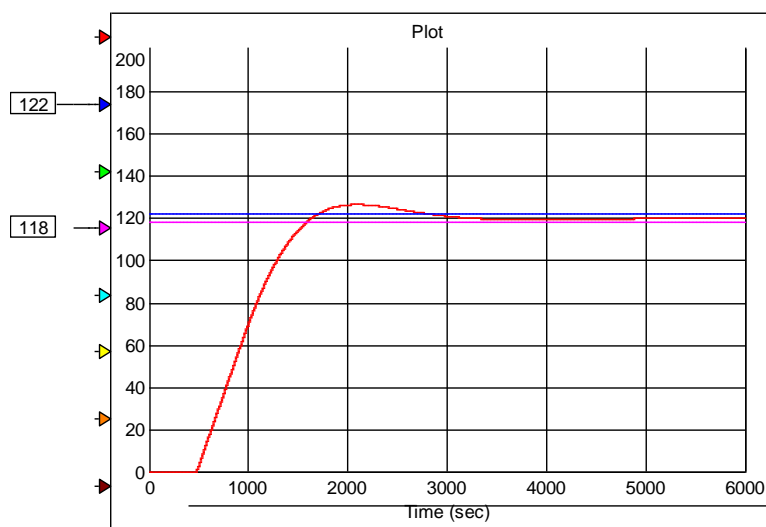


Рис.3. График переходного процесса по каналу управления (температура агента сушки-расход газа)

Структурная схема САР температуры по каналу первого возмущения: изменение температуры агента сушки в зависимости от колебаний расхода воздуха на входе в воздухонагреватель показана на рисунке 4.

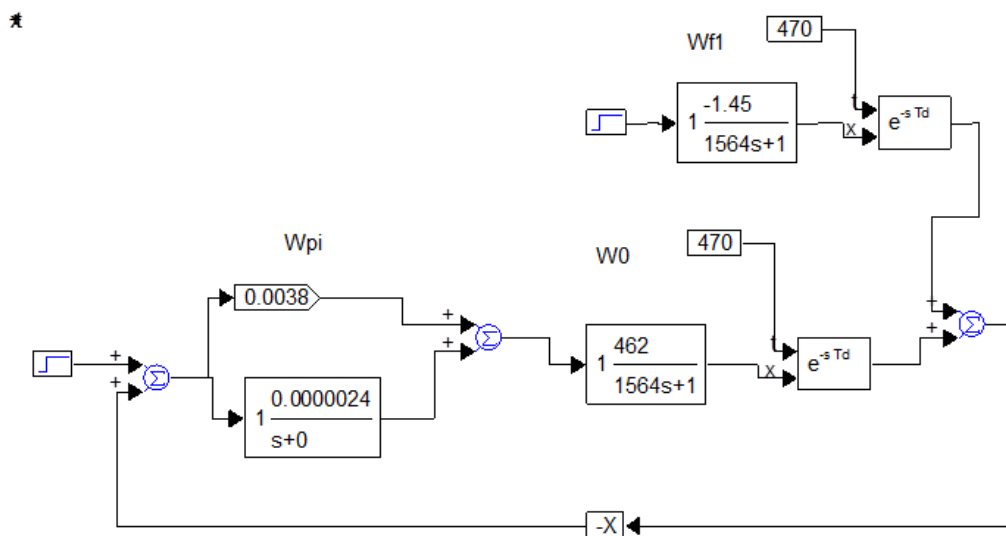


Рис.4. Структурная схема САР температуры по каналу первого возмущения

График переходного процесса по каналу первого возмущения. (рисунок 5) показывает, что при увеличении расхода воздуха на входе на 10 % температура агента сушки падает на 2.2 градуса.

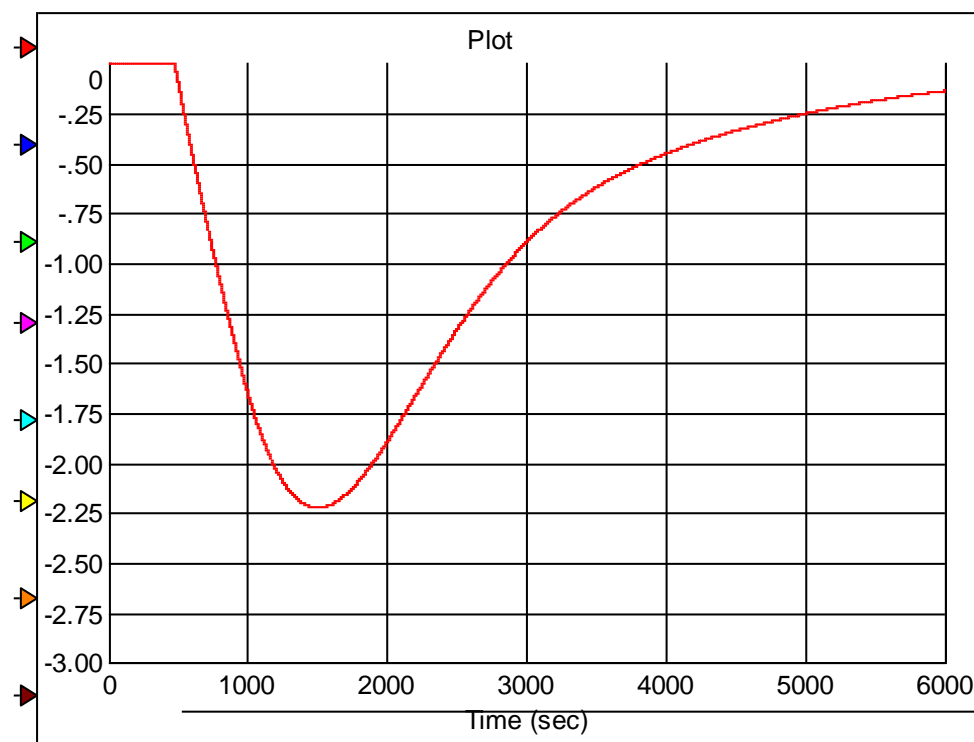


Рис.5. График переходного процесса по каналу первого возмущения.

Структурная схема САР агента сушки в воздухонагревателе в зависимости от колебаний температуры воздуха, приходящего из атмосферы показана на рисунке 6.

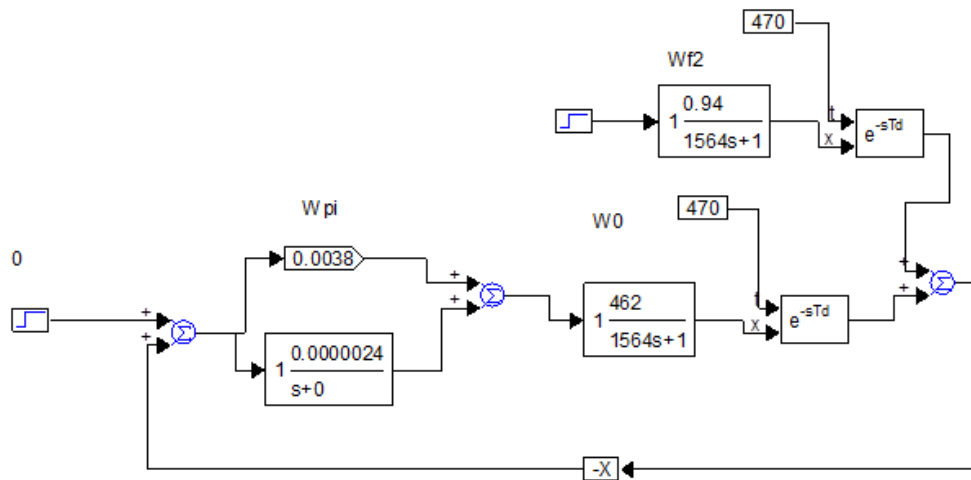


Рис.6. Структурная схема САР температуры по каналу второго возмущения

График переходного процесса по каналу второго возмущения (рисунок 7) характеризующего увеличение температуры агента сушки в зависимости от колебаний температуры воздуха на входе в воздушнонагреватель на 4 градуса. Из графика видно, что это приводит к росту температуры сушильного агента на 1,4 градуса.

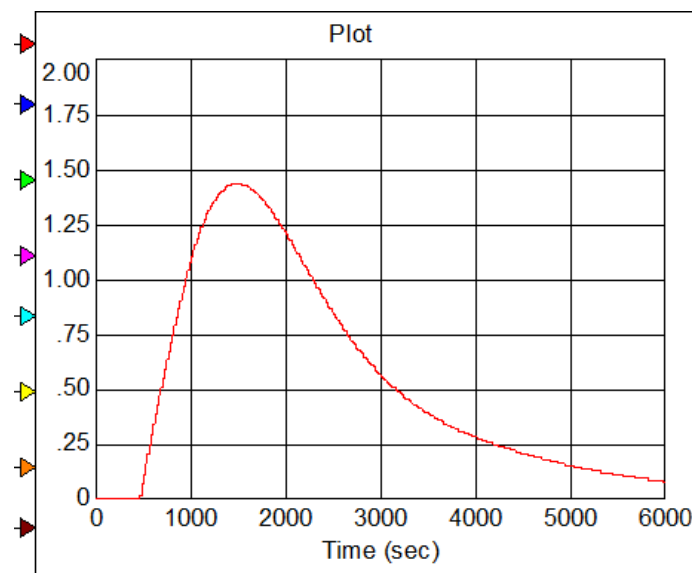


Рис.7. График переходного процесса по каналу второго возмущения (изменение температуры агента сушки в зависимости от колебаний температуры атмосферного воздуха)

Результаты моделирования показали, что при выбранных ПИ-законе регулирования и параметрах настройки регулятора показатели качества САР температуры агента сушки (горячего воздуха) зерносушильной установки VESTA-30 соответствуют техническим требованиям к качеству регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухарев, В. А. Автоматизация и управление тепловым процессом сушки зерна / В. А. Глухарев, Д. В. Сивицкий, А. С. Сучкова // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы X Национальной конференции с международным участием, Саратов, 23–24 апреля 2020 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2020. – С. 87-89. – EDN OSNIBK.

2. Новое поколение зерносушилок Vesta-ECO // Хлебопродукты. – 2018. – № 4. – С. 36-37. – EDN YTDGJT.

3.Полубояринов, Н. А. Математическое моделирование сушки зерна в шахтной зерносушилке / Н. А. Полубояринов, Т. Ф. Сибирина // Эпоха науки. – 2019. – № 17. – С. 97-100. – DOI 10.24411/2409-3203-2018-11722. – EDN VXHWTW.

MATHEMATICAL MODEL FOR THE TEMPERATURE CONTROL CHANNEL OF THE VESTA-30 GRAIN DRYING INSTALLATION

¹Budchenko Irina Sergeevna, Assistant Lecture, Department of Digital Systems and Automation

²Budchenko Natalia Sergeevna, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

³Dolgii Nikolay Alexeevich, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹irina.budchenko@klgtu.ru; ²natalya.budchenko@klgtu.ru; ³dolgi@klgtu.ru

The article proposes a mathematical model of the grain drying process through the temperature control channel of the VESTA-30 grain drying unit. Based on the equations of thermal balance and heat transfer, a thermal model of a system for automatic temperature control of the drying agent was compiled. The law for regulating the ACS temperature in the air heater has been chosen. The influence of disturbing influences in the system on the temperature was studied.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОМОТОРНЫМ КОМПРЕССОРОМ 10ГКН

¹Будченко Ирина Сергеевна, ассистент кафедры цифровых систем и автоматики

²Будченко Наталья Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

³Долгий Николай Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹irina.budchenko@klgtu.ru; ²natalya.budchenko@klgtu.ru; ³dolgi@klgtu.ru

Рассматриваются функции и особенности построения современной системы автоматизированного управления газомоторным компрессором 10 ГКН на основе отечественного программного и технического обеспечения. Предложено решение по организации интерфейса автоматизированного рабочего места оператора для управления группой из 7 ГМК.

Газомотокомпрессор 10 ГКН (далее – ГМК) применяется в нефтегазовой промышленности для компримирования газа. Он используется на газоперерабатывающих заводах, в системах транспорта газа, а также на установках по утилизации попутного нефтяного газа [1]. Его широкое применение в газовой сфере, а именно: в процессах сжатия и перекачивания природных или нефтяных газов в системе магистральных газопроводов, на газобензиновых и нефтеперерабатывающих заводах, станциях подземного хранения газа, в промышленных холодильных установках и на других объектах, обусловлена уникальным сочетанием мощности и экономичности [2].

Высокий запас надежности, заложенный в конструкцию ГМК, обеспечивает устойчивость к агрессивным условиям эксплуатации, что является важным при добыче, транспорте и хранении газа, так как даже малейший сбой в технологическом процессе может привести к авариям и чрезвычайным ситуациям. Более того, ГМК легко интегрируется в современную систему автоматизации на производстве, таким образом укрепляя свои позиции на рынке [3], [4].

Газомотокомпрессор типа 10ГКН представляет собой двухтактный газовый двигатель мощностью 735 кВт с V-образным расположением цилиндров и поршневого компрессора двухступенчатого сжатия с цилиндрами, которые расположены горизонтально (рисунок 1). Двигатель и компрессор имеют общую фундаментальную раму и коленчатый вал, давление нагнетания - до 10 МПа.



Рис.1. Газомотокомпрессор 10 ГКН

Система автоматизированного управления газомоторным компрессором 10ГКН (далее – САУ ГМК) позволяет оператору контролировать работу компрессора в реальном времени, обеспечивая оптимальные условия эксплуатации и сводя к минимуму риск нештатных ситуаций. Эффективная система охлаждения способствует поддержанию стабильной температуры во время работы, что повышает эффективность сжатия и снижает шумовые характеристики.

Система автоматизированного управления газомоторным компрессором 10ГКН 2/2,5-17 предназначена для:

- автоматизации основных операций технологического процесса ГМК;
- обеспечения непрерывного оперативно-диспетчерского контроля за работой оборудования установки искусственного холода;
- своевременного обнаружения и устранения отклонений параметров работы ГМК от заданных технологических режимов и предупреждения аварийных ситуаций.

САУ ГМК обеспечивает выполнение следующих функций управления:

- централизованное управление исполнительными механизмами ГМК;
- автоматизированная проверка защит на остановленном агрегате;
- автоматическая проверка пусковой готовности после выбора режима работы;
- автоматическая защита ГМК по технологическим параметрам во время пуска и работы;
- выполнения алгоритмов управления ГМК во всех режимах работы;
- экстренный аварийный останов ГМК при отказе программно-технических средств;
- контроль соответствия команд управления оператору выбранному режиму работы.

САУ ГМК обеспечивает выполнение следующих информационных функций:

- предоставление оперативной информации об основных режимах работы агрегата;
- автоматическая регистрация в базе данных технологических параметров агрегата, аварийной, предупредительной и технологической сигнализации (далее - АС, ПС и ТС, соответственно), включая команды сменного инженера, события информационной безопасности, изменения в конфигурации проекта и целостности его данных;

- автоматическое отображение АС, ПС и ТС в архивном журнале событий и журнале текущих тревог;

- автоматическое отображение значений аналоговых параметров в числовой форме и в виде трендов (графиков) за заданный промежуток времени;

- звуковое оповещение оператора о выходе контролируемого параметра за пределы диапазона допустимых значений для предупреждения аварийной ситуации, включающее аварийную и предупредительную звуковую сигнализацию;

- автоматическая регистрация изменений параметров и режимов при появлении критического события;

- автоматическая регистрация первопричины срабатывания аварийного останова агрегата;

- формирование по команде оператора отчетов по параметрам работы ГМК и протокола проведения проверки защит;

- обмен информацией со смежными информационно-управляющими системами через порт последовательной связи RS-485 или по сети Ethernet.

САУ ГМК обеспечивает выполнение следующих функций контроля:

- контроль целостности цепей и достоверности значений аналоговых датчиков по уровню входного аналогового сигнала;

- контроль исправности цепей управления исполнительными механизмами по обратной связи (электромагнитные пускатели и т.д.);

- контроль работоспособности контроллерного оборудования, источников питания, связанного оборудования.

В соответствии с современными требованиями к информационной безопасности объектов газовой промышленности на сервер и АРМ оператора устанавливается операционная система Astra Linux актуальной версии и SCADA-система Альфа платформа с компонентами, обновленными до последней версии.

Пользовательский интерфейс АРМ построен на основе экрана, занимающего всю рабочую поверхность монитора. Экран разбит на функциональные области (рисунок 2).

В интегрированном АРМ ГМК функциональность разбивается на несколько групп (технологических объектов).

В данной конфигурации в качестве групп выделены следующие технологические объекты, а именно ГМК №1 – ГМК №7 (газомотокомпрессоры).

Все параметры (сигналы, аналоговые параметры, краны, оборудование и т.д.) разделены по технологическим объектам и имеют, помимо наименования, указание на группу, к которой они относятся. Различные способы представления информации (мнемосхемы, журналы, сводные таблицы, тренды и т.д.) позволяют, как объединять параметры из различных групп, так и производить фильтрацию по определенной группе.



Рис. 2. Организация пользовательского интерфейса

Все возникающие события и действия пользователей фиксируются и доступны для просмотра как в текущем режиме (окно текущих тревог, последние сообщения, мнемосхемы), так и для просмотра за определенный период в виде списка (журнал событий) или тренда.

Возникновение предупредительных и аварийных событий сопровождается звуковой сигнализацией. Предупредительная и аварийная сигнализация требуют квитирования, т.е. подтверждения, что пользователь оповещен о возникновении события.

Журнал событий (рисунок 3) предназначен для просмотра событий и действий пользователя в виде таблицы за определенный период.

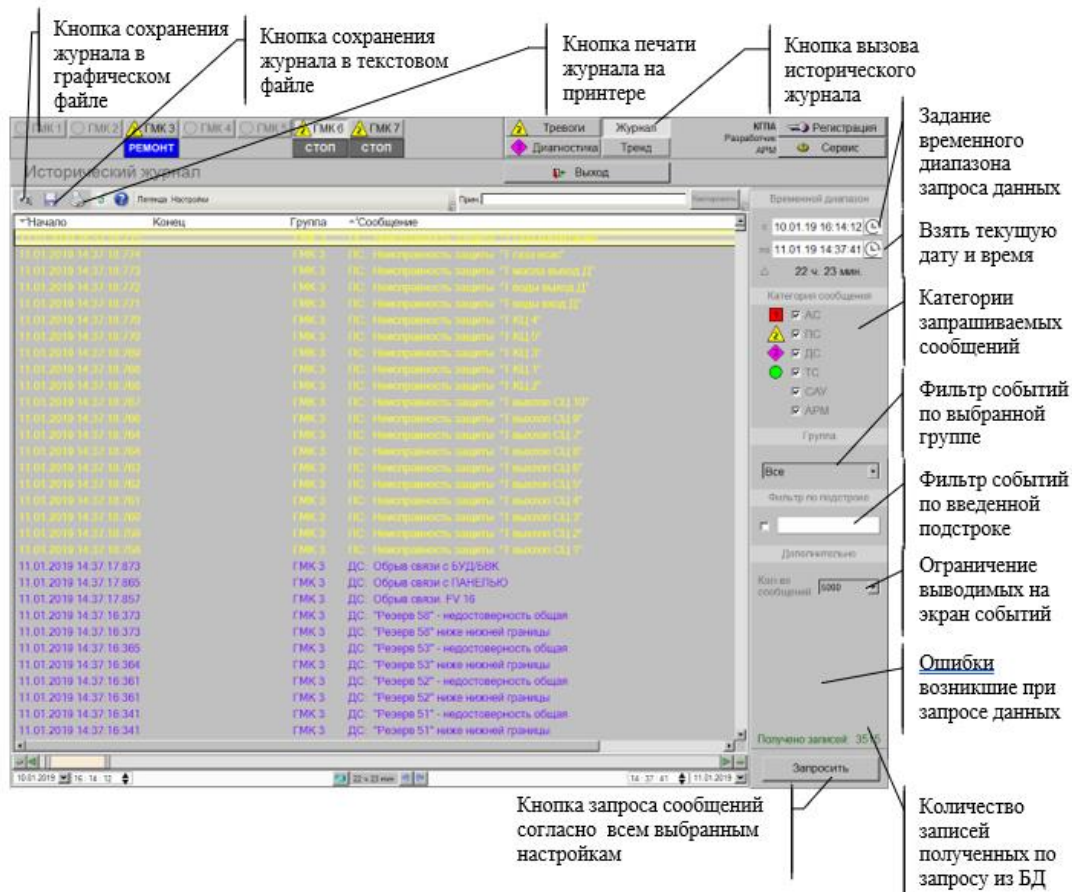


Рис.3. Журнал событий

Аналоговые параметры САУ ГМК:

- аналоговые параметры, получаемые с датчиков;
- аналоговые параметры, получаемые со смежных систем;
- расчетные параметры;
- настроечные параметры (уставки, заданные значения, характеристики);
- таймера (задержки), информационные значения.

Каждый аналоговый параметр характеризуется наименованием, указанием на группу (технологический объект), единицами измерения.

В АРМ предусмотрено отображение параметров давления и перепада давления в разных единицах измерения. В окне «Сервис» (рисунок 4) расположен переключатель единиц измерения, который переводит отображение параметров давления и перепада давления во всем АРМ в кПа или кг/см². При этом параметры атмосферного давления отображаются в кПа, когда выбран режим «кПа», и в «мм рт. ст.», когда выбран режим «кг/см²».

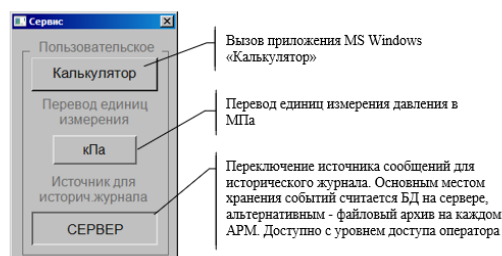


Рис. 4. Меню «Сервис»

В АРМ также предусмотрено отображение трендов, которые предоставляют собой окно, где есть возможность просматривать графики аналоговых и дискретных параметров за определенный промежуток времени как отдельно, так и совместно друг с другом.

Резервным средством контроля управления САУ ГМК является пульт резервного управления (далее – ПРУ).

Для пуска ГМК необходимо выполнить все предпусковые условия, их список можно увидеть в окне «Пуск ГМК» (рисунок 5), нажав кнопку «Режим (Пуск)» на клавиатуре пульта резервного управления. Условие «Блок управления зажиганием готов» обеспечивается переводом блока управления двигателем в режим «Стоп» кнопкой деблокировки. Условие «САУ исправна» обеспечивается отсутствием неисправности контроллера САУ ГМК и наличием питания всех ее элементов. Условие «Готовность САУ» обеспечивается наличием режима «Останов» САУ ГМК.

При удовлетворении всем предпусковым условиям, кроме первого («Обороты ГМК > 20 об/мин») и наличия необходимого для пуска давления пускового воздуха (оценивается визуально по показаниям на ПРУ), машинист открывает кран пускового воздуха, следя за показаниями оборотов ГМК. Когда все предпусковые условия выполнены, машинист нажимает на клавиатуре ПРУ кнопку «Ввод», далее подтверждает команду пуска ГМК в окне подтверждения команды выбором поля «подтвердить» и повторным нажатием кнопки «Ввод». Затем машинист плавно открывает кран топливного газа до полного открытия, следя за показаниями положения топливного регулирующего клапана и оборотами ГМК, происходит зажигание и плавный вывод ГМК на 150 об/мин для прогрева. После прогрева машинист нажатием кнопки «ХХ» выводит ГМК на холостой ход (220 об/мин) и далее по нажатию кнопки «РХ» - на рабочий ход (305 об/мин). На ПРУ индицируется состояние ГМК «Работа».

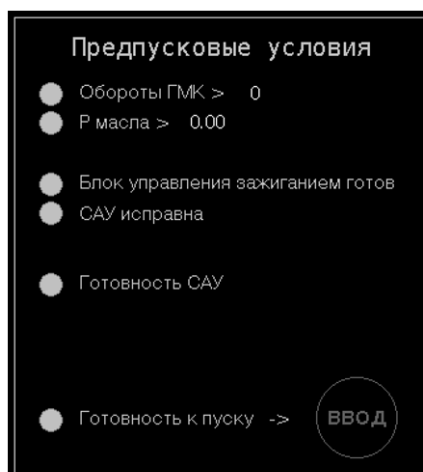


Рис.5. Окно предпусковых условий

Современные САУ ГМК - это системы с наивысшим качеством управления, которые получили широкое распространение на дожимных компрессорных станциях, использующихся для нужд подземного хранилища газа, где ГМК работают в группах для многоступенчатого компримирования, тем самым повышая общую степень сжатия. Технологическая структура дожимных компрессорных станций позволяет адаптировать режим и количество задействованных агрегатов под нагрузку, изменяющуюся в течение сезонного отбора и закачки газа в хранилище, обеспечивая оптимальный режим работы установки подземного хранения газа.

ГМК также широко применяются в холодильных установках или установках искусственного холода, где осуществляется процесс двухступенчатого сжатия паров хладагента-пропана с его последующим дросселированием для снижения температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель № 6409 U1 Российская Федерация, МПК F01B 25/02. Двухтактный газовый двигатель газомотокомпрессора типа 10 ГКН: № 97100927/20: заявл. 20.01.1997: опубл. 16.04.1998 / А. М. Магдеев, В. А. Усошин, В. В. Моргун [и др.]; заявитель Дочернее акционерное общество открытого типа "Оргэнергогаз". – EDN FORUUX.

2. Андрусевич, Д. А. Газоперекачивающие агрегаты - сердце компрессорной станции / Д. А. Андрусевич, С. И. Шиян, А. Ю. Малофеева // Referatotech: материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т., Краснодар, 23 октября 2021 года / Кубанский государственный технологический университет, Институт нефти, газа и энергетики. Том 1. – Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью "Издательский Дом - Юг", 2022. – С. 59-63. – EDN НКSEYQ. ГОСТ 53325

3. Игнатченко, О. А. Повышение надёжности и эксплуатационных характеристик газомоторных компрессоров / О. А. Игнатченко, М. В. Макаров // Наука и технологии в нефтегазовом деле: Тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, Армавир, 31 января – 01 февраля 2020 года / Кубанский государственный технологический университет, Армавирский механико-технологический институт, Кафедра машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. – Армавир: Кубанский государственный технологический университет, 2020. – С. 28-29. – EDN BUAAXD.

4. Лужанский, Р. Я. Концепция управления газомоторными станциями / Р. Я. Лужанский // Естествознание, техника и технологии: актуальные проблемы и инновационные решения: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Белгород, 25 сентября 2020 года / Под общей редакцией Е.П. Ткачевой. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство перспективных научных исследований", 2020. – С. 19-21. – EDN QTWJEE.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM GAS COMPRESSOR 10GKN

¹Budchenko Irina Sergeevna, Assistant Lecture, Department of Digital Systems and Automation

²Budchenko Natalia Sergeevna, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

³Dolgi Nikolay Alexeevich, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹irina.budchenko@klgtu.ru; ²natalya.budchenko@klgtu.ru; ³dolgi@klgtu.ru

The article deals with the functions and features of building a modern system of automated control of 10GCN gas motor compressor on the basis of domestic software and hardware. The solution for organizing the interface of the automated operator's workplace for controlling a group of 7 GCNs is proposed.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАССТОЙНЫМ ШКАФОМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

¹Будченко Ирина Сергеевна, ассистент кафедры цифровых систем и автоматики

²Будченко Наталья Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

³Долгий Николай Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹irina.budchenko@klgtu.ru; ²natalya.budchenko@klgtu.ru; ³dolgi@klgtu.ru

Рассматриваются вопросы автоматизации линии производства пшеничного хлеба. Приведена функциональная схема автоматизации линии с указанием технологических параметров контроля и управления. В среде CoDeSys предложена программа управления расстойным шкафом при производстве пшеничного хлеба. Разработанные функциональная схема автоматизации и программа управления расстойным шкафом при производстве пшеничного хлеба позволят повысить эффективность технологического процесса.

Хлеб и хлебобулочные изделия традиционно занимают особое место в структуре отечественного потребления, поскольку на эти продукты в России приходится до 40% общей калорийности пищевого рациона населения. Производство хлеба определяет национальную безопасность нашей страны [1]. В настоящее время многие европейские поставщики хлебопекарного оборудования прекратили работу с российскими заказчиками. Появляются проблемы, связанные с обеспечением производства с запасными частями к технологическому оборудованию, техническими средствами автоматизации и программным обеспечением систем управления технологическими оборудованием. Проблемы хлебопекарной отрасли требуют оперативного решения из-за отсутствия запасных частей для оборудования, дефицита специалистов, отсутствие отдельных видов импортного сырья [2]. Поэтому сейчас как никогда остро стоит вопрос о процессе модернизации систем управления технологического оборудования хлебопекарных производств с использованием отечественной элементной базы, использование которой, позволит перейти на новые технологии с минимальными затратами. Точность соблюдения технологических режимов при производстве хлеба и хлебобулочных изделий является важнейшей задачей отрасли от решения которой зависит качество продукции и уменьшение ее себестоимости [3].

Целью данной работы является разработка системы управления линии производства пшеничного хлеба на базе отечественных технических средств автоматизации.

Разработанная система автоматизации линии производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки, представленная на рисунке 1, в частности, ее технологический участок расстойки, где используется расстойный шкаф, реализована с применением программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК-210-01 отечественной фирмы ОВЕН и использованием сенсорной панели оператора СП315-Р. Система автоматизации установки, изображенная на функциональной схеме, позволяет контролировать и регулировать технологические параметры функционирования технологического оборудования линии, управление осуществлять защиту и блокировку технологического оборудования при возникновении аварийных ситуаций.

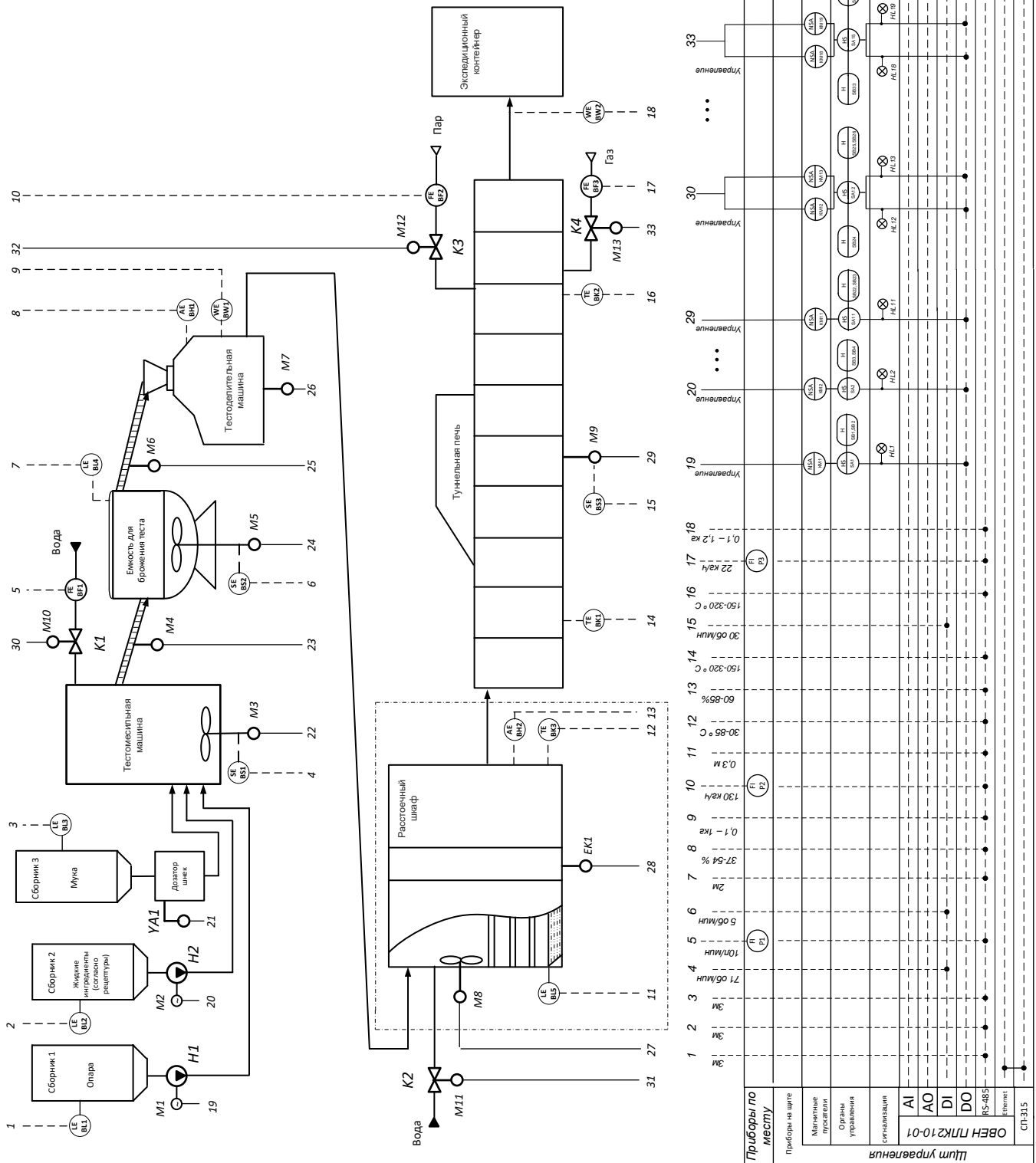


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации процесса пшеничного хлеба

На функциональной схеме системы автоматизации линии производства пшеничного хлеба показаны основные точки контроля технологических параметров оборудования, входящего в состав линии. К ним относятся: уровень опары в резервуаре LE (BL1), уровень в резервуаре жидких ингредиентов (согласно рецептуры) LE (BL2), уровень в сборнике муки LE (BL3), скорость вращения вала привода тестомесильной машины SE (BS1), расход воды, подаваемой в тестомесильную машину FE (BF1), скорость вращения вала привода в емкости для брожения теста SE (BS2), уровень заполнения для брожения теста LE (BL4), вес заготовок на выходе тестоделительной машины WE (BW1), влажность среды в тестоделительной машине AE (BH1), уровень воды в ванне расстойного

Приборы по месту	
Приборы на ште	
Магнитные пускатели	
Органы управления	
Сигнализация	
AI	
AO	
DI	
DO	
RS-485	
Пункт	
CP-315	

шкафа LE (BL5), температуры в первой зоне туннельной печи ТЕ (BK1) и второй зоне туннельной печи ТЕ (BK2), температура в расстойном шкафу ТЕ (BK3), влажность среды в расстойном шкафу АЕ (BH2), скорость вращения вала привода конвейера в туннельной печи SE (BS3), расход пара, подаваемого в туннельную печь FE (BF2), расход газа, подаваемого в туннельную печь FE (BF3), вес готовых хлебобулочных изделий на выходе туннельной печи WE (BW2).

Спроектированная система автоматизации линии для приготовления пшеничного теста разработана с использованием отечественных элементов автоматики, включая первичные измерительные преобразователи, средства контроля параметров, устройство управления и исполнительные устройства. Устройство управления оборудованием линии реализовано на основе современного контроллера ПЛК-210, а визуальный контроль оператора за динамикой изменения основных технологических параметров выполняется с помощью панели СП-315. В качестве датчиков в системе автоматизации используются сравнительно недорогие датчики отечественных производителей: датчики уровня ОВЕН ПДУ-RS и ЭЛЕМЕР-УРЗ-41, расходомеры ЭМИС-МАГ 270 и ЭМИС-ВИХРЬ 200, датчик влажности ОВЕН ПВТ10 и датчики веса Уралвес К-Б-10А-5.

Расстойные шкафы, как вид технологического оборудования, входящего в состав линии предназначены для разрыхления тестозаготовок перед выпечкой. Большинство моделей расстойных шкафов имеют одинаковую конструкцию, содержащую шкаф, имеющий цельный корпус, материалом которого служит высококачественная нержавеющая сталь или сталь, покрытая порошковой краской с остекленной герметичной дверью, устройство управления, с помощью которого осуществляется плавное изменение параметров процесса. Заданный температурный режим обеспечивается трубчатыми электронагревателями (ТЭН), которые располагаются в нижней или верхней части шкафа. Заданная влажность обеспечивается парогенератором. В шкафу находится ванночка или бачок с водой пополняемые вручную или автоматически через электромагнитный клапан. Основные факторы, влияющие на процесс расстойки теста: температура для окончательной расстойки тестовых заготовок -32-38 °С. влажность, поддерживаемая в камере расстойного шкафа в пределах 65-85% и продолжительность расстойки теста, составляющая от 20 до 120 минут.

Для управления расстойным шкафом разработана программа для контроллера ПЛК-210 с использованием программной среды разработки CODESYS версии 3.5 SP17 Patch 3. Программа обеспечивает контроль и регулирование технологическими параметрами расстойного шкафа.

Структура разработанной программы приведена на рисунке 2. PLC_PRG является главной программой в проекте. Для описания самой операции в программе используется язык программирования ST.

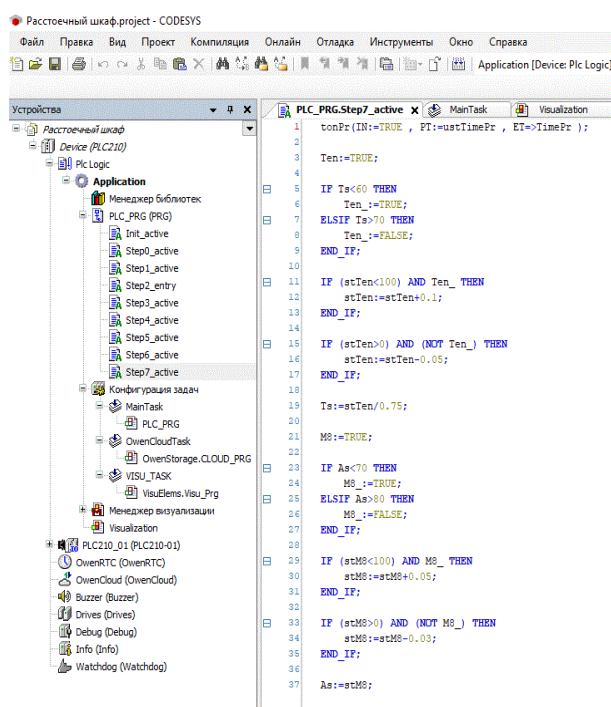


Рис. 2. Структура программы управления

В программе PLC_PRG определены переменные проекта. Эти переменные представлены на рисунке 3. К ним, в частности, относятся дискретные переменные запуска и останова установки.

```

PLC_PRG x Device PLC_PRG.Init_active PLC_PRG.Step0_active
PROGRAM PLC_PRG
VAR
  Start:BOOL; (*кнопка старт*)
  Stop:BOOL; (*кнопка стоп*)
  K2:BOOL; (*клапан подачи воды в ванну расстоечного шкафа*)
  stK2:REAL; (*степень открытия клапана K2*)
  M8:BOOL; (*вентилятор*)
  Ten:BOOL; (*ТЭН*)
  stTen:REAL; (*мощность ТЭН в %)
  Lv:REAL; (*уровень воды в ванной*)
  Lv_100:REAL; (*уровень воды для визуализации*)
  Ts:REAL; (*температура в расстоечном шкафу*)
  As:REAL; (*влажность в шкафу*)
  TimeZagr:TIME; (*время загрузки*)
  TimePr:TIME; (*время процесса*)
  ustTimeZagr:TIME:=T#20S; (*задание время загрузки*)
  ustTimePr:TIME:=T#40S; (*задание время процесса*)
  tonZagr:ton; (*таймер загрузки*)
  tonPr:ton; (*таймер процесса*)
  Str1:WSTRING; (*Состояние включения*)
  Ten_:BOOL;
  M8_:bool;
  stM8:REAL;
END_VAR

```

Рис.3. Список переменных проекта

Основная программа управления расстойным шкафом реализована на языке SFC. Она представлена на рисунке 4.

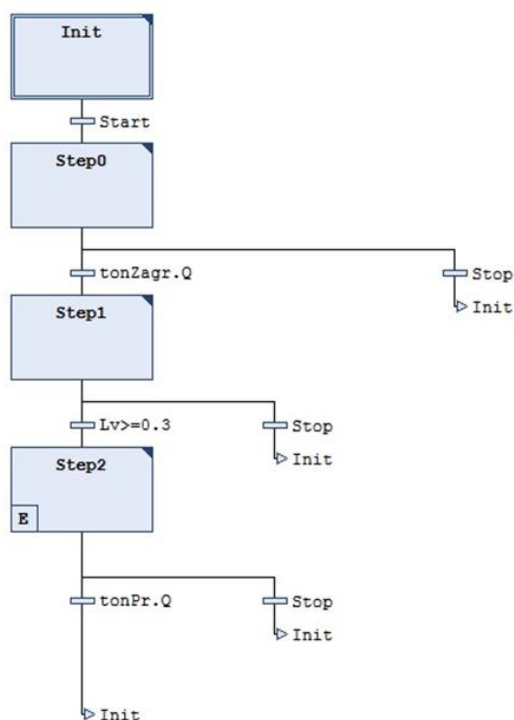


Рис. 4. Листинг программы SFC

Разработанная система управления линией производства пшеничного хлеба позволит за счет повышения точности контроля за технологическими параметрами процесса улучшить качество конечного продукта путем минимизации брака, перерасхода сырья, обеспечить контроль состояния технологического оборудования линии и увеличить продолжительность его безотказной работы и, таким образом, повысить эффективность используемого оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матраева, Л. В. К вопросу о совершенствовании системы информационно-статистического обеспечения хлебобулочной промышленности / Л. В. Матраева, Н. Н. Калинин // Актуальные вопросы развития мировой и модернизации российской экономики: Сборник научных трудов, Москва, 14–16 февраля 2016 года / Под общей редакцией Л.В. Матраевой, С.Г. Ерохина. Том Выпуск 1. – Москва: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. – С. 62-66. – EDN VMQJUV.

2. Барсуков, М. В. Современное Состояние реального сектора экономики РФ и проблемы развития хлебопекарной отрасли / М. В. Барсуков, Л. А. Почепцова // Политика, экономика и инновации. – 2023. – № 1(48). – EDN QCQJNS.

3. Томилова, И. А. Основные тенденции развития хлебопекарной промышленности / И. А. Томилова, Н. А. Юрк // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых- 2019: сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 13–14 ноября 2019 года / Юго-Западный государственный университет. Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – С. 73-76. – EDN OJKCBT.

PROOFER CONTROL SYSTEM PRODUCTION OF WHEAT BREAD

¹Budchenko Irina Sergeevna, Assistant Lecture, Department of Digital Systems and Automation

²Budchenko Natalia Sergeevna, PhD in Engineering, Associate Professor,
Department of Digital Systems and Automation

³Dolgi Nikolay Alexeevich, PhD in Engineering, Associate Professor,
Department of Digital Systems and Automation

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹irina.budchenko@klgtu.ru; ²natalya.budchenko@klgtu.ru; ³dolgi@klgtu.ru

The article discusses the issues of automation of the wheat bread production line. A functional diagram of line automation is presented, indicating the technological parameters of monitoring and control. In the CoDeSys environment, a program for controlling a proofer for the production of wheat bread is proposed. The developed functional automation diagram and control program for the proofing cabinet in the production of wheat bread will improve the efficiency of the technological process.

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ШКОЛЫ БУДУЩЕГО

Онучин Александр Леонидович, ст. преподаватель

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: aleksandr.onuchin@klgtu.ru

Диспетчеризация позволяет контролировать работу инженерных систем здания и осуществлять их плано-предупредительный ремонт.

Введение

Современные инженерные системы являются достаточно сложными структурами и требуют квалифицированного и качественного обслуживания. Для своевременного обнаружения технических неисправностей, а также организации плано-предупредительного ремонта разрабатывается система диспетчеризации инженерных систем объекта. Не являясь исключением инженерные системы общеобразовательных учебных заведений, данная статья основана на опыте диспетчеризации МБОУ СОШ "Школа будущего" п. Большое Исаково Калининградской области. Объём диспетчеризации таких систем определяется СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования» [1].

1. Структура системы диспетчеризации

Сигналы о работе всех инженерных систем, а также их неисправностей сводятся в единый диспетчерский центр [7]. Данным проектом предусматривается передача сигналов на пост охраны в помещении 1034. Общая структурная схема диспетчеризации инженерных систем представлена на рисунке 1.

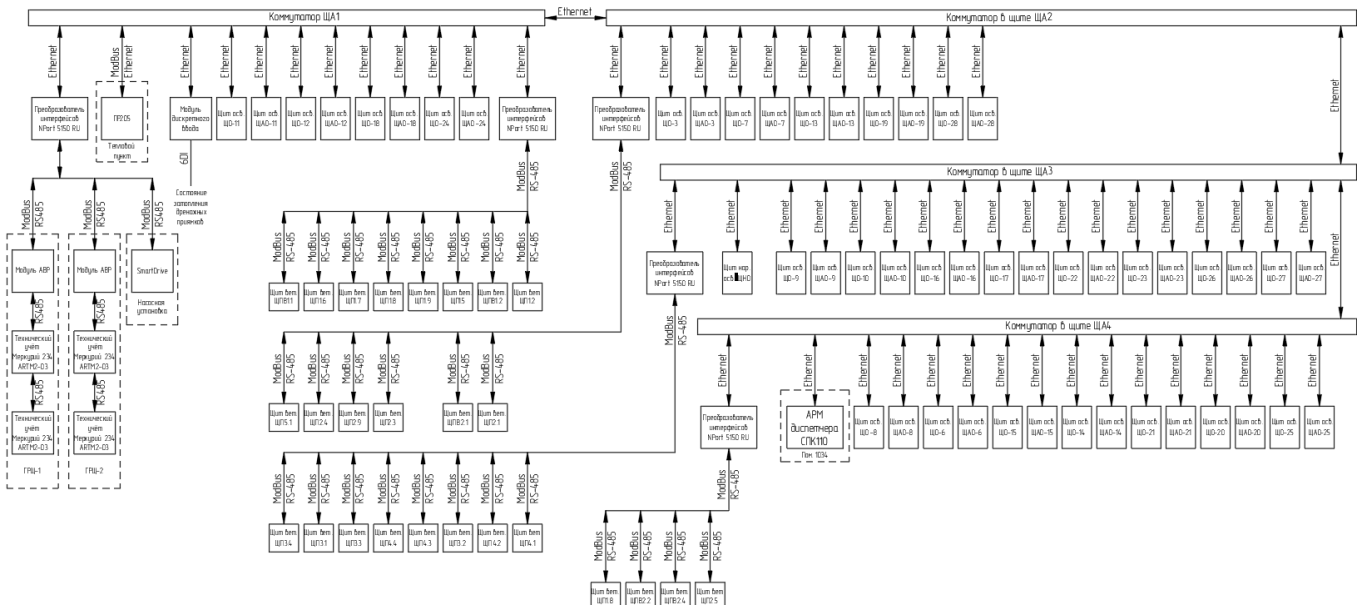


Рис. 1. Общая структурная схема системы диспетчеризации

В связи с пространственной распределённостью объекта диспетчеризации выделено 4 узловых точки (ЩА1...4) в которые стекается информация и между которыми организованы магистральные каналы.

В качестве центрального прибора выбран программируемый контроллер со встроенным сенсорным экраном СПК110. Его функциональных возможностей достаточно для обработки поступающей информации и предоставления диспетчеру актуальной информации в виде мнемосхем и отчётов.

Системой диспетчеризации предусмотрен контроль следующих событий:

- отклонений параметров систем вентиляции и кондиционирования от номинальных (рисунок 3);
- нарушения в системе отопления и водоснабжения, в связи с неисправностью теплового пункта (передаются аварийные сигналы);
- аварии систем электроснабжения (состояние АВР и данные с технологических узлов учёта) (рисунок 2);
- затопления помещений (данные с дренажных систем и уровни в приемках);
- отклонений от нормативных параметров системы водоснабжения;

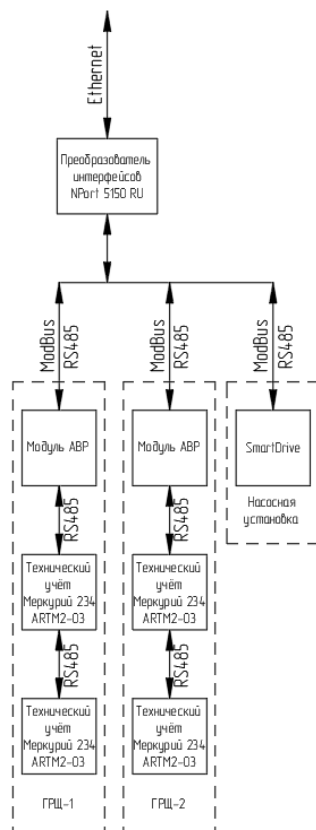


Рис. 2. Структурная схема системы диспетчеризации электроснабжения

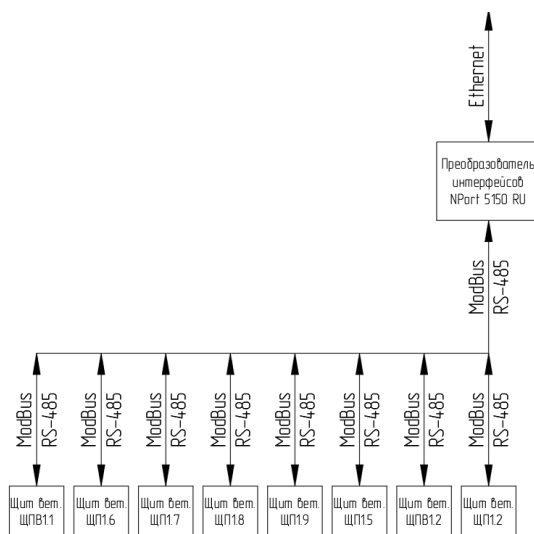


Рис. 3. Структурная схема системы диспетчеризации вентиляции

Реализация такого проекта требует проведения пуско-наладочных работ 2 категории сложности, для 214 измерительных сигналов и 114 управляющих воздействий.

Для организации передачи данных в центральную диспетчерскую используются открытые протоколы на базе интерфейсов Ethernet и RS-485. В качестве основных протоколов передачи данных используются протоколы Modbus/TCP и Modbus/RTU соответственно. Выбор протокола обусловлен открытостью его технического описания и массовостью его применения в различных средствах автоматизации.

Автоматизация отдельных подсистем входящих в комплекс диспетчеризации описана ниже.

2. Автоматизация систем вентиляции

Приточные и приточно-вытяжные системы поставляются комплектно с датчиками и блоками управления, обеспечивающими работу автоматики в соответствии с требованиями СП60.1330.2016. Схема автоматизации приточно-вытяжной системы приведена на рисунке 4.

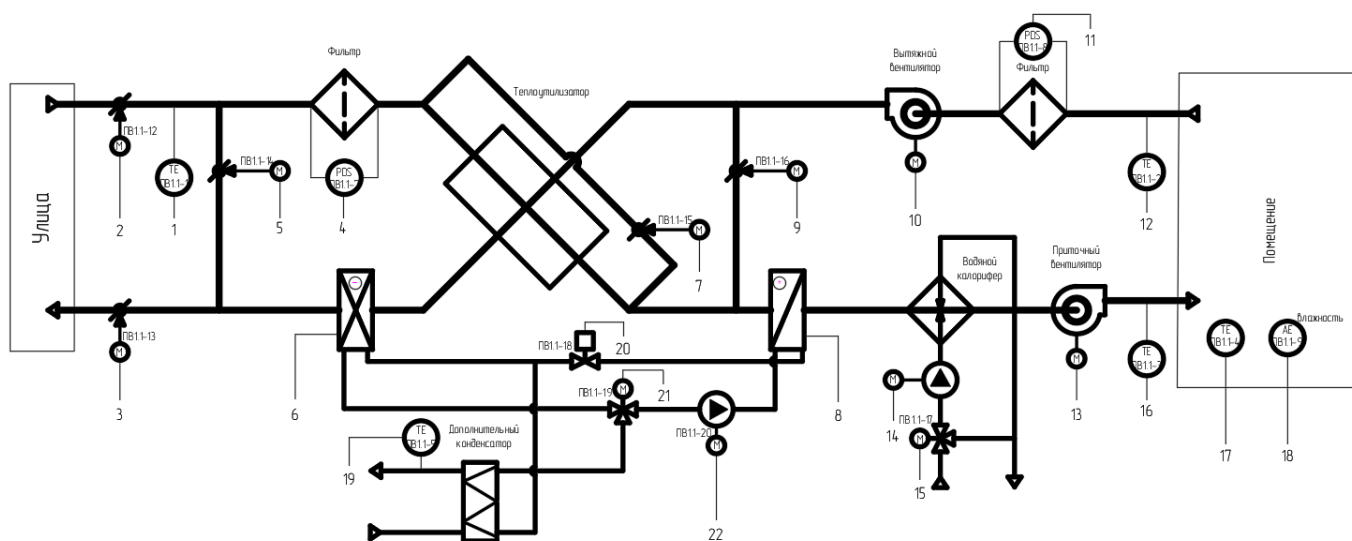


Рис. 4. Схема автоматизации приточно-вытяжной системы

Система автоматизации приточно-вытяжной системы соответствует требованиям нормативной документации и обеспечивает [5]:

- управление электроприводом заслонки наружного воздуха;
- автоматическую подачу теплоносителя;
- защиту от замораживания теплоносителя, осуществляемую по температуре наружного воздуха и по температуре теплоносителя;
- поддержание температуры приточного воздуха;
- контроль фильтров (датчик перепада давления);
- работу системы в режимах: «зима - лето», «дистанционное - со щита управления»;
- блокировка работы насоса теплоносителя с запуском установки.

Автоматическое отключение систем вентиляции производится централизованно общему сигналу о пожаре в здании.

3. Автоматизация электроосвещения

Системой автоматизации электроосвещения предусматривается централизованное групповое управление освещением со щита в помещении охранника (рисунок 5). На щит выводится управление пускателями щитов группового освещения ЩО-3 ... ЩО-28 и ЩАО-3 ... ЩАО-28, ЩНО.

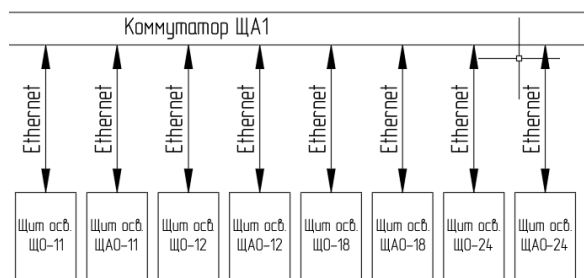


Рис. 5. Структурная схема подключения щитов освещения

Для щита наружного освещения (ЩНО) предусматривается:

- группа 1, включение освещения многофункциональной спортивной площадки при прохождении спортивных занятий в темное время суток (освещение многофункциональной спортивной площадки);
- группа 2, включение на закате, а отключение на восходе (ночное освещение);
- группа 3, включение на закате, а отключение в ночное время (вечернее освещение);
- группа 4, включение освещения спортивных площадок при прохождении спортивных занятий в темное время суток (освещение спортивных площадок);
- группа 5, включение освещения спортивных площадок при прохождении спортивных занятий в темное время суток (освещение спортивных площадок);
- группа 6, включение на закате, а отключение на восходе (подсветка флагштоков);
- группа 7, включение на закате, а отключение в ночное время (вечернее освещение, светильники на фасаде).

В щите автоматизации в помещение 1034 устанавливается СПК110, а в щитах освещения программируемое реле ПР205 для организации управления освещением по времени.

4. Автоматизация теплоснабжения

Тепловой пункт поставляется как комплектное изделие (блочный модульный тепловой пункт). Его автоматизация (рисунок 6) входит в комплект поставки, соответствует требованиям СП 41-101-95 и обеспечивает [6]:

- поддержание температуры горячего водоснабжения, подаваемой в систему;
- погодозависимое регулирование теплового потока в системы отопления с целью поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях;
- поддержание минимального заданного давления в обратном трубопроводе системы отопления;
- поддержание требуемого перепада давлений с помощью частотнорегулируемых насосов в подающем и обратном трубопроводах систем отопления;
- подпитка систем подачи теплоносителя к установкам вентиляции;
- защиту от превышения установленных параметров температуры и давления у потребителей;
- поддержание заданного давления воды в системе ГВС;
- АВР насосного оборудования;
- защиту системы отопления от слива.

На местном щите управления предусмотрена световая сигнализацию о включении резервных насосов и достижении следующих предельных параметров:

- температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения;
- уровня воды водосборного приемка.

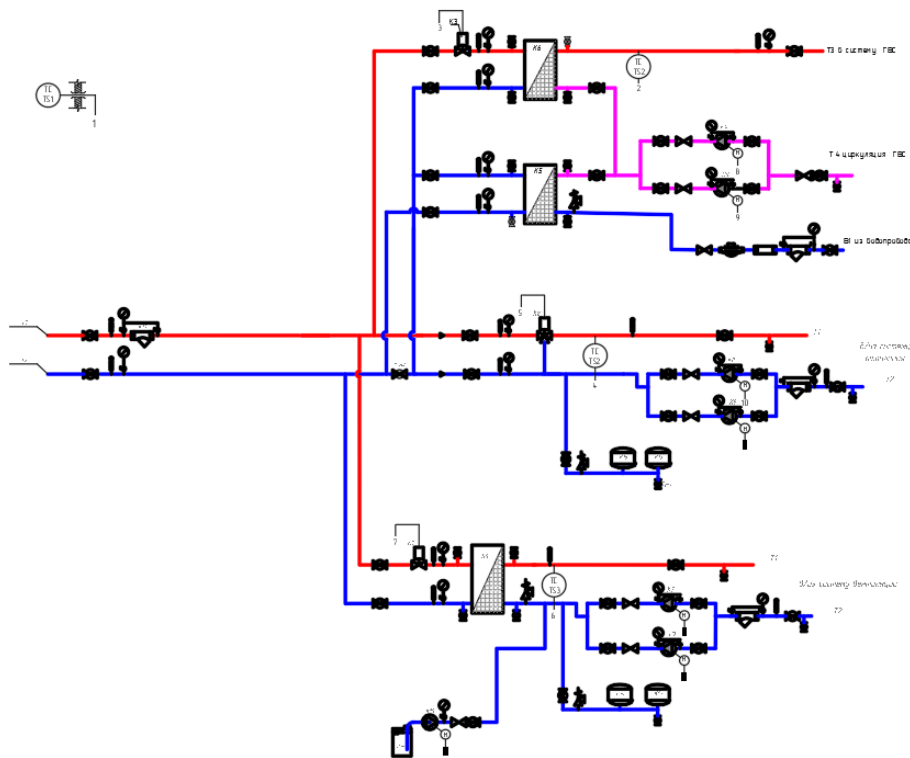


Рис. 6. Схема автоматизации теплового пункта

Диспетчеризация ИТП предусматривает аварийно-предупредительную сигнализацию путем передачи одного общего светозвукового сигнала о нарушениях режимов работы на пост охраны в помещении 1034.

5. Рабочее место диспетчера

На месте охранника в помещении 1034 первого этажа устанавливается сенсорный панельный компьютер СПК110. Для отображения состояния технологических систем используются видовые экраны [8], разрабатываемые на программном обеспечении CoDeSyS 3.5 с операционной системой OpenWRT. Помимо видовых экранов программное обеспечение позволяет обрабатывать алгоритмы взаимодействия систем и формировать задания, реализуемые по времени или событиям. Язык программирования CoDeSyS 3.5 соответствует требованиям ГОСТ Р МЭК 61131-3 и является достаточно простым для освоения инженером по автоматизации.

Система визуализации может быть подключена в локальную вычислительную сеть, это позволяет открывать окна визуализации на рабочем компьютере ответственными специалистами в обычном веб браузере.

Также есть возможность передавать данные на системы верхнего уровня, что даёт возможность интегрировать систему в документооборот предприятия и формировать отчёты для руководства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования».
2. ГОСТ Р 21.101-2020. «Основные требования к проектной и рабочей документации».
3. ГОСТ 34.201-2020 «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем».
4. СТО 51246464-016-2015. «Системы автоматизации. Состав, оформление и комплектование рабочей документации». Пособие к ГОСТ 21.408-2013, ОАО Ассоциация «Монтажавтоматика».
5. СП60.1330.2016. «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

6. СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов».

7. Онучин, А. Л. Построение распределенной системы диспетчеризации / А. Л. Онучин // Балтийский морской форум : материалы IX Международного Балтийского морского форума : в 6 т., Калининград, 04–09 октября 2021 года. Том 6. – Калининград: Обособленное структурное подразделение "Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота" федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Калининградский государственный технический университет", 2021. – С. 146-150. – EDN KDIBLI.

8. Онучин, А. Л. Погодозависимое каскадное управление водогрейными газовыми котлами / А. Л. Онучин, А. Н. Румянцев // Балтийский морской форум : Материалы XI Международного Балтийского морского форума. В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 235-239. – EDN CEHATN.

DISPATCHING ENGINEERING SYSTEMS OF THE SCHOOL OF THE FUTURE

Onuchin Aleksandr Leonidovich, senior lecturer

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: aleksandr.onuchin@klgtu.ru

Dispatching allows you to control the operation of the building's engineering systems and carry out their scheduled preventive maintenance.

ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ

Онучин Александр Леонидович, ст. преподаватель

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: aleksandr.onuchin@klgtu.ru

Автоматизация моделирования корпусной мебели позволяет ускорить и улучшить процессы проектирования такие, как создание и управление дизайн-проектом, составление спецификаций материалов и финальная визуализация.

Введение

Разработка дизайн проекта жилого или офисного помещения на основе корпусной мебели является дорогостоящим и эмоциональной сложным мероприятием. Упростить данный процесс может использование типовых решений серийно выпускаемых изделий, при этом недостатком такого упрощения является ограниченность размерного ряда изделий. Есть способ использования преимуществ данного метода и устранения недостатка. Этот способ заключается в создании индивидуальных моделей для каждого вида мебели с изменяемыми размерными, характеристиками и свойствами панелей ЛДСП и МДФ, из которого создана данная модель.



Рис. 1. Пример генерации 3-д объекта

Современные персональные компьютеры и смартфоны имеют достаточно вычислительной мощности, чтобы генерировать сложные графические объекты «на лету» без задействования серверных мощностей (рисунок 1).

1. Архитектура взаимодействия клиента и приложения

Для реализации данного способа необходимо взаимодействие клиента с программным обеспечением сервера на принципах свободного доступа, без необходимости покупки и установки стороннего программного обеспечения. Наиболее результативным является построение в виде клиент серверной архитектуры на базе HTML5. Это поколение HTML позволяет реализовать 3-д визуализацию объекта достаточного качества для представления о будущем элементе мебели (рисунок 2), а также экспорта 3-д модели для использования в программных продуктах 3-д визуализации для построения полного дизайн проекта.



Рис. 2. Примеры элементов мебели

В качестве представления 3-д модели используется элемент HTML5 Canvas, а для визуализации библиотека 3-д моделирования three.js.

2. Способ запаса и хранения модели

Но кроме визуализации существует и необходимость хранения модели, необходимость динамического изменения размеров, изменения материалов, а также других характеристик объекта 3-д модели. Это порождает специфические требования на используемые способы её хранения и создания. Наиболее подходящим для хранения является язык XML. Как наиболее удобный способ сохранения объекта произвольной структуры (рисунок 3).

```
<E m='m1' kr='2'>
  <S tip="dx">gl</S><S tip="dy">vs-tl*2</S><S tip="dz">t1</S>
  <S tip="x">-sh/2+t1/2</S><S tip="y">-t1</S><S tip="z">0</S>
  <S tip="py">1.570796</S>
</E>
```

Рис. 3. Представление единичного элемента в XML

Поскольку единичным элементом для построения корпусной мебели является отрезанный фрагмент доски, заданных размеров и толщины, он является и единичным элементом для построения модели, а также соответствующим XML тегом в модели (<E></E>).

Далее для каждого единичного элемента в виде фрагмента доски или XML тега задаётся его положение в пространстве в соответствии с тремя пространственными координатами, размеры, а также поворот вокруг оси. Для этого используется тег свойств с соответствующими параметрами (<S></S>). Так же для каждого такого единичного элемента доступны возможности создания свойств, а именно в свойства записывается толщина элемента и необходимость оклейки по периметру. Созданный таким образом элемент возможно отображать на 3-д модели, а также добавить в спецификацию (рисунок 4) для формирования заказа на распил и оклейку для производственной фирмы.

Ведомость элементеов ДСП Баменда серо-бежевый:

№	Длина	Ширина	Толщина	Вращ.	X1	X2	Y1	Y2	Примечание
1	2155	518	36	Нет	X		X	X	Скленть из двух и окленть
2	500	588	18	Нет				X	
3	500	588	18	Нет				X	
4	2119	82	18	Нет					
5	2119	498	18	Нет	X				
6	498	560	18	Нет				X	
7	498	560	18	Нет				X	
8	498	560	18	Нет				X	
9	506	82	18	Нет					
10	498	560	18	Нет				X	
11	506	82	18	Нет					
12	700	498	18	Нет	X				
13	490	167	18	Нет	X		X		
14	490	167	18	Нет	X		X		

Рис. 4. Ведомость элементов

Построение же готовой единицы мебели заключается из расстановки в пространстве единичных элементов и исключение их пересечений. Возможность использования математических формул при подстановке размеров и координат позволяет изменять размеры в произвольном виде для каждого элемента, а также для всей конструкций в целом.

3. Параметры модели

Для удобства взаимодействия с пользователем каждому элементу мебели добавляются специализированные параметры такие, как ширина, высота, глубина, материал изготовления основных изделий, материал фасада. Такие элементы заносятся в параметры модели и сохраняются для каждого пользователя при выборе им конкретного экземпляра мебели (рисунок 5).

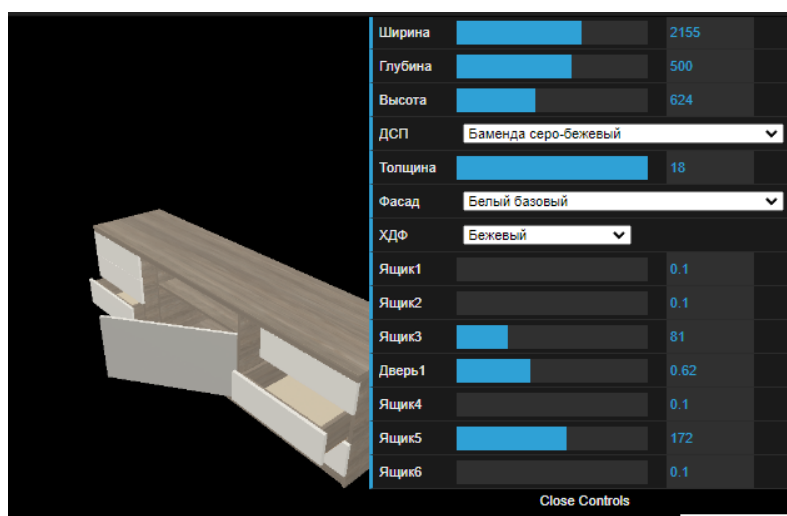


Рис. 5. Параметры модели

Далее при построении модели способны к изменению заданных параметров. Указанные выше параметры учитываются в расчёте координат размеров и других свойств для каждого элемента (рисунок 3).

На рисунке 6 представлена модель, с которой пользователь может работать, изменять её размеры поворачивать задавать размеры, изменять углы обзора и расстояние до объекта. В некоторых случаях для удобства визуализации возможно добавить дополнительные свойства, которые не несут конструктивных изменений, но позволяют изменить способ визуализации, а именно углы открытия дверей и положение выдвинутых ящиков (рисунок 5).



Рис. 6. Разворот для просмотра деталей

Добавление таких свойств позволяет пользователю наглядно оценить возможность открытия двери и движения шкафов, а при построении в единую модель всего помещения оценить взаимодействие элементов между собой.

Финальная, 3-д визуализация может быть экспортирована в виде 3-д объекта в формате GLTF для последующего добавления в общую 3-д модель дизайн проекта.

Финальным штрихом после выбора размеров и других свойств выбранной единице мебели предоставляется возможность экспортировать полную спецификации её деталей (рисунок 4), также рассматривается возможность создания интерактивных инструкций для возможности сборки мебели не квалифицированными специалистами, но это перспективные задумки.

В данный момент идея опробована и создан сайт (<https://tumbusam.ru/>) с возможностью генерации простых мебельных объектов, а также генерации спецификации по этим объектам. Сайт является открытым для любых пользователей и не имеет никаких финансовых либо лицензионных ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онучин, А. Л. Автоматизация в составе технологии информационного моделирования / А. Л. Онучин // Балтийский морской форум : материалы X Международного Балтийского морского форума : в 7 т., Калининград, 26 сентября – 01 2022 года. Том 6. – Калининград: Обособленное структурное подразделение "Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота" федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Калининградский государственный технический университет", 2022. – С. 284-290. – EDN DZOERL.
2. ГОСТ Р 57563-2017 «Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений».
3. IFC Specifications Database // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/> (дата обращения 06.09.2022)
4. ГОСТ Р 70317-2022 «Пространственные данные. Метаданные. Часть 3. Реализация XML-схемы для основных понятий»
5. ТумбуСам: [Электронный ресурс]. URL: <https://tumbusam.ru/>. (Дата обращения: 29.08.2024).

CONSTRUCTION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MODELING CABINET FURNITURE

Onuchin Aleksandr Leonidovich, senior lecturer

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: aleksandr.onuchin@klgtu.ru

Automation of cabinet furniture modeling allows to speed up and improve design processes, such as creation and management of design projects, preparation of material specifications and final visualization.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Румянцев Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: aleksandr.rumiantcev@klgtu.ru

Рассматриваются основные вопросы автоматизации установки сублимирования пищевых продуктов, принцип сублимации как двухстадийный технологический процесс со сложным алгоритмом работы, предлагается метод проектирования оборудования и технических средств автоматизации с использованием отечественных технологий

Введение

Природные катаклизмы на планете, войны и другие неприятности заставляют прогрессивное человечество подумать о создании запаса продуктов питания на длительный срок годности.

Для решения этой задачи наилучшим образом подходит сушка замороженных продуктов в вакууме (сублимация, лиофилизация, возгонка и т.д.), гарантирующая хранение продуктов питания на долгие годы.

Ухудшение качества пищи вызывают три субстанции: тепло, вода и кислород.

Сублимационная сушка и надлежащая упаковка исключают эти факторы, обеспечивая долгосрочное хранение продуктов от 15 до 25 лет [1,2].

Также надо принимать во внимание, что почти половина производимой пищевой продукции в мире пропадает, а ее необходимо сохранять – перерабатывать.

На рисунке 1 показаны известные технологии увеличения сроков хранения продуктов.

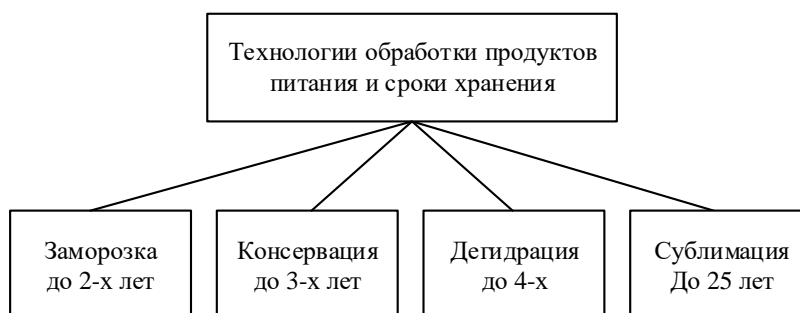


Рис. 1. Технологии увеличения сроков хранения продуктов

Для употребления сублимированного продукта необходимо вскрыть вакуумную или герметичную упаковку, последняя заполнена азотом для создания бескислородной среды, и положить продукт в указанное количество воды на несколько минут. Сублимат впитает влагу, удаленную при консервации, и примет свой прежний размер. Если после восстановления продукта требуется термообработка, то ее надо выполнить.

Метод консервирования сублимацией подходит практически ко всем свежим продуктам питания и готовым блюдам. Здесь не требуются натуральные и искусственные консерванты, красители, усилители вкуса и ароматизаторы.

Сублиматы в отличие от искусственно выращенных овощей в осенне-зимний период в теплицах и снятых недозрелыми ради упрощения транспортировки плодов, восполняют необходимый запас витаминов, минералов, аминокислот и многих других важных организму элементов. Они не содержат пестицидов и прочих вредных веществ.

Такие продукты уже давно используют космонавты, участники экспедиций, туристы и т.д. Компактная, полезная для здоровья и легкая пища быстрого приготовления часто выручает людей в сложных ситуациях.

1. Принцип работы сублимационной установки

Сублимация представляет собой двухстадийный процесс, в первой стадии которого продукт замораживают, а во второй - удаляют из него воду при очень низком давлении.

Суть сублимационной сушки продуктов питания заключается в удалении из них примерно 98% воды из твердого состояния (лед) в газообразное (пар), минуя жидкую фазу, и с почти 100% сохранением витаминов, микроэлементов и других полезных веществ.

В настоящее время общепризнанно, что в процессе сублимационной сушки происходят некоторые изменения свойств исходного сырья, но они минимальны по сравнению с изменениями при консервировании другими методами. Это объясняется недостатками технологии и режимов работы конкретного оборудования.

Важными параметрами процесса являются коэффициенты сублимации (соотношение веса сырья и сублимата) и восстановления (соотношение веса сублимата и восстановленного продукта). То есть, учитывается, во сколько раз уменьшается продукт и во сколько раз затем увеличивается. Обычно эти коэффициенты имеют одинаковое значение.

На рисунке 2 показаны агрегатные состояния воды для понимания принципа сублимации.

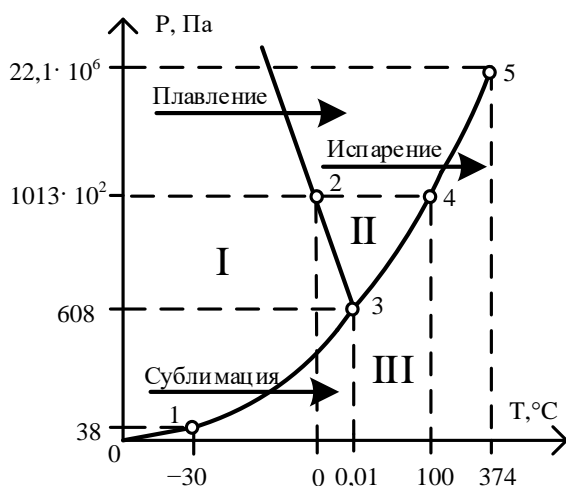


Рис. 2. Агрегатные состояния воды: I – твердое состояние (лед, снег, иней); II – жидкое состояние (вода, дождь); III – газообразное состояние (пар).

Точки на графиках:

1 – процесс сублимации; 2 – температура и давление замерзания;

3 – тройная точка воды (в этой точке вода одновременно находится в 3-х агрегатных состояниях);

4 – температура кипения воды; 5 – максимальное давление воды и температуры в жидком состоянии

Для успешного проведения сублимации необходимо строго соблюдать следующие правила:

1. Давление при сублимации всегда должно быть ниже тройной точки воды (см. рис. 2), которое контролируется датчиком давления.

2. Для отхождения паров воды из замороженного продукта его надо еще подогреть. Датчики температуры контролируют температуру в камере и внутри продукта. Для того, чтобы из замороженного продукта изъять 1 кг льда в виде водяного пара, необходимо затратить примерно 0,722 кВт·час электроэнергии.

3. В камере устанавливается десублиматор с температурой на 10°C ниже температуры замороженного продукта, чтобы замораживать водяные пары и не допускать их попадания в масло вакуумного насоса. Водяные пары повышают давление и это может привести к порче продукта. Другими словами отобраный из льда продукта водяной пар снова замораживается только уже в десублиматоре.

4. Для управления этим процессом необходимо использовать контроллер, который будет автоматически выбирать оптимальный режим работы: следить за давлением, управлять вакуумным насосом, холодильной машиной и нагревателем.

Обычно продукты питания сначала замораживают до температур в диапазоне от -10°C до -45°C в зависимости от наименования пищевого сырья, возможна также шоковая заморозка жидким азотом до температуры близкой к его температуре кипения -196°C .

Как показала практика для получения сублимированных продуктов вполне подходит фреоновая морозильная установка для указанного выше диапазона температур.

2. Этапы работы установки сублимационной сушки пищевых продуктов

Технологический процесс на установке сублимационной сушки (УСС) включает несколько этапов, показанных на рисунке 3.



Рис. 3. Схема процесса сублимации пищевых продуктов

Этап 1. Отбор продуктов по требуемым показателям, очистка их от грязи и укладка на противни УСС.

Этап 2. Быстрая заморозка до температуры ниже точки эвтектики (тройной точки воды, см. рисунок 2).

Этап 3. Сублимационная вакуумная сушка с подогревом противней.

Этап 4. Конденсация и удаление паров воды из камеры установки.

Этап 5. Упаковка готового продукта в специальную тару.

3. Состав УСС

УСС должна включать следующие устройства:

1. Прочный корпус (колбу) со смотровым окном, дверью с герметизирующей прокладкой и противнями из нержавеющей стали для укладки замороженных продуктов.

2. Вакуумный насос.

3. Систему нагрева продукта.

4. Десублиматор с холодильной машиной.

5. Датчики давления и температуры.

6. Контроллер с программным обеспечением, средствами управления и визуализации процесса.

7. Вспомогательные элементы (автоматические выключатели, дифференциальные автоматы, клеммные колодки, магнитные пускатели, блоки ввода-вывода информации, средства световой и звуковой сигнализации и т.д.).

На практике применяются две принципиально различимые конструкции сублиматоров:

1. В состав сублиматора могут входить холодильная установка для быстрого замораживания продуктов и УСС, объединенные в общий комплекс.

2. Установка быстрого замораживания и УСС, выполненные в виде отдельного оборудования.

Недостатком УСС особенно импортных является высокая стоимость оборудования и достаточно большое потребление электроэнергии.

Для снижения первого недостатка можно покупать технологическое оборудование по частям, а технические средства автоматизации выбирать из каталогов производственной фирмы Овен,

которая производит практически всю линейку оборудования для автоматизации пищевых производств. Монтаж оборудования, наладку и программирование можно делать самостоятельно или воспользоваться услугами специалистов отечественных предприятий.

Для снижения второго недостатка на корпус сублиматора и дверь устанавливается теплоизоляция. Также теплота, выделяемая на конденсаторе холодильной установки быстрого замораживания может утилизироваться путем нагрева камеры сублиматора.

Перед началом проектных работ полезно изучить физику поведения воды в вакууме.

4. Основные узлы УСС

На рисунке 4 показан самый распространенный тип вакуумного насоса, применяемый в сублиматорах общего назначения.



Рис. 4. Вакуумный насос серии RS, выпускаемый компанией Erstevak, Россия

В камере эксцентрично установлен вращающийся ротор, имеющий прорези в радиальном направлении. В этих прорезях установлены подпружиненные пластины (шиберы), которые делят камеру на 2 полости.

При вращении ротора по часовой стрелке, воздух забирается из всасывающей камеры, сжимается и выбрасывается в камеру выброса воздуха. Разрежение создается из-за изменения объема камер между лопатками при вращении ротора.

Вакуумному насосу требуется масло для закупорки зазоров между вращающимися деталями, смазывания лопастей и отвода тепла (для охлаждения). Масляный резервуар расположен со стороны нагнетания вакуумного насоса.

На рисунке 5 показан водокольцевой насос для создания первичного вакуума в сублиматорах, который может использоваться совместно с насосом, показанным на рисунке 4.



Рис. 5. Водокольцевой насос серии RLRS, выпускаемый компанией Erstevak, Россия

Достоинством насоса является полная нечувствительность к водяным парам в откачиваемом газе, высокая производительность, относительно небольшая стоимость и простота конструкции.

Для нагрева продукта используются десублиматоры электрического или жидкостного типа, показанные на рисунках 6 и 7.

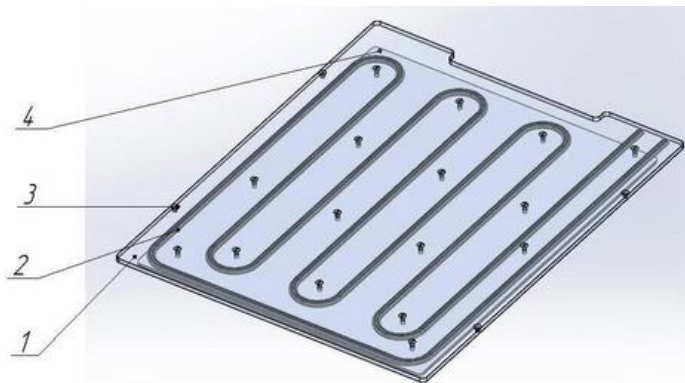


Рис. 6. Десублиматор электрического типа
1 – верхняя пластина полки; 2 - гибкий теплоэлектрический нагреватель;
3 – крепежный винт; 4 – нижняя пластина полки.

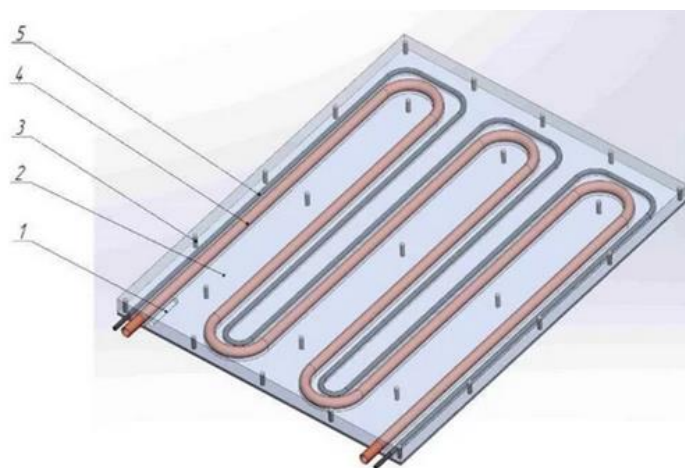


Рис. 7. Десублиматор жидкостного типа
1 – отверстие под температурный датчик; 2 – фрезерованная плита из дюралюминия
3 - винт крепления прижимной пластины; 4 – медный трубопровод фреонового испарителя;
5 – греющий кабель

Между витками гибкого греющего элемента десублиматора жидкостного типа помещается датчик температуры. Температура нагревателя не превышает 130 °С.

Десублиматор этого типа применяется для заморозки продукта фреоном и для обогрева камеры электрическим током.

5. Управление и визуализация процесса работы УСС

Интерфейсы разных типов сублиматоров и их программное обеспечение сильно отличаются.

В качестве примера на рисунках 8 и 9 показаны интерфейсы и программирование этапов сублимации УСС типа ВСГ.

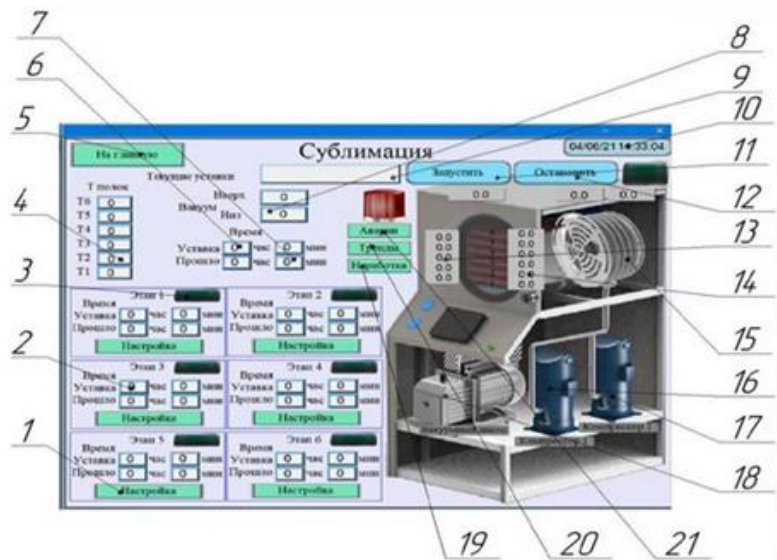


Рис. 8. Интерфейс сублиматора серии ВСГ

- 1 – кнопка входа в настройки процесса сублимации; 2 – показания времени в текущем этапе;
 3 – индикатор готовности этапа к работе; 4 – установки температуры полок в текущем этапе;
 5 – кнопка возврата на главную страницу; 6 – общее время сублимации; 7 – пройденное время;
 8 – уставка давления в камере сублимации; 9 – бегущая строка бегущих аварий;
 10 – текущая дата и время; 11 – кнопка старта процесса; 12 – кнопка остановки процесса;
 13 – показания датчиков температуры продукта; 14 – показания датчиков температуры полок;
 15 – анимация работы десублиматоров (при работе окрашиваются синим цветом);
 16 – анимация работы компрессора 1; 17 – анимация работы компрессора 2;
 18 – анимация работы вакуумного насоса; 19 – часы работы агрегатов;
 20 – графики процессов; 21 – список аварий

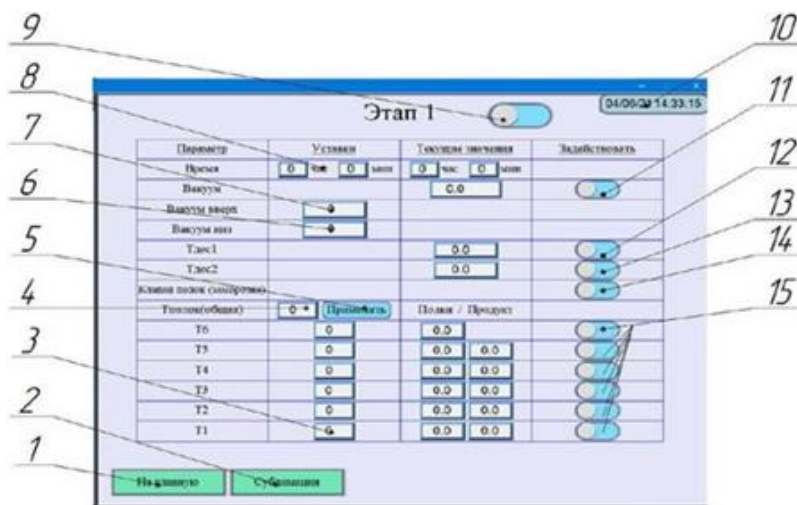


Рис. 9. Программирование этапов в сублиматоре серии ВСГ

- 1 – кнопка возврата на главную страницу; 2 – кнопка возврата на страницу «Сублимация»;
 3 – окно ввода индивидуальной температуры полки; 4 – окно ввода общей температуры полок;
 5 – кнопка, применяющая введенные значения окна 4 ко всем полкам; 6 – нижняя уставка давления;
 7 – верхняя уставка давления; 8 – окно ввода продолжительности редактируемого этапа;
 9 – включение этапа; 10 – текущая дата и время; 11 – включение вакуумного насоса в текущем этапе;
 12 – включения десублиматора 1 в текущем этапе; 13 – включение десублиматора;
 14 – включения системы охлаждения полок; 15 – переключатели включения нагрева полок в текущем этапе

6. Технические средства автоматизации и программирование

Если принимается решение для автоматизации УСС использовать оборудование производственной фирмы Овен, то в качестве сенсорной контрольной панели можно использовать СПК 310 [5], программируемый логический контроллер ПЛК 100 [6], соединенный с панелью по интерфейсу RS – 232, и модулями аналогового ввода MB110-2248A [7] и транзисторного выхода МУ110 – Х.16К [8], соединенные с контроллером по интерфейсу RS-485.

Программа пишется на языке ST среды программирования CoDeSys.

CoDeSys поддерживает пять языков программирования (LD, SFC, FBD, ST, IL), а также дополняется языком CFC (расширение FBD со свободным порядком выполнения блоков). Кроме того в состав CoDeSys входит редактор визуализации, конфигураторы протоколов обмена и средства отладки.

Заключение

Предлагаемое техническое решение о проектировании УСС по частям позволяет снизить стоимость оборудования и иметь квалифицированные кадры по ее техническому обслуживанию и эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, А. В. Технология вакуумной сублимационной сушки фруктов, ягод и овощей / А. В. Федоров ; науч. рук. Ю. В. Витько // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке : материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов (28–29 мая 2020 г.) / редкол.: А. М. Маляревич (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 372-374.
2. Семенов Г.В., Касьянов Г.И. Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко. Учебно-практическое пособие. Серия «Технологии пищевых производств». – Ростов н/Д: издательский центр «МарТ», 2002. -112 с.
3. Феллоуз, П. (Питер) (2017). «Сублимационная сушка и концентрирование вымораживанием». Технология пищевой промышленности: принципы и практика (4-е изд.). Кент: Woodhead Publishing/Elsevier Science. С. 929–940. ISBN 978-0081005231. OCLC 960758611
4. Просапио, Валентина; Нортон, Иан; Де Марко, Иоланда (01.12.2017). "Оптимизация процесса сублимационной сушки с использованием метода оценки жизненного цикла: на примере клубники" (PDF). Журнал чистого производства. **168**: 1171–1179. doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.125. ISSN 0959-6526.
5. Сенсорная панель СПК310 <https://owen.ru/product/plk110>
6. Контроллер ПЛК100 [M02] для средних систем автоматизации с DI/DO [Электронный ресурс]. -URL: https://owen.ru/product/plk110_m02
7. Модуль аналогового ввода с быстрыми входами MB110-2248A. [Электронный ресурс]. URL: https://owen.ru/product/moduli_analogovogo_vvoda_s_bistrimi_vhodami_s_interfejsom_rs_485
8. Модуль транзисторного вывода МУ110 –Х.16К. [Электронный ресурс]. URL: https://owen.ru/product/moduli_analogovogo_vvoda_s_bistrimi_vhodami_s_interfejsom_rs_485
9. Среда программирования CoDeSys [Электронный ресурс]. -URL: https://owen.ru/product/codesys_v2

AUTOMATION OF THE FREEZE DRYING PLANT FOR FOOD PRODUCTS

Rumyantsev Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: aleksandr.rumiantcev@klgtu.ru

The article deals with the main issues of automation of the food sublimation plant, the principle of sublimation as a two-stage technological process with a complex algorithm of operation, a method for designing equipment and automation equipment using domestic technologies is proposed.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АВТОМАТИЗАЦИИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Румянцев Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: aleksandr.rumiantcev@klgtu.ru

Рассматриваются основные принципы и области применения искусственного интеллекта в пищевой промышленности, рассмотрены принципы работы нейронных сетей и экспертных систем, оценена возможность применения искусственного интеллекта для прогнозирования срока службы технологического оборудования.

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) входит в концепцию автоматизации и роботизации 4-й промышленной революции, основные положения которой, рассмотрены кратко в статье [1] и подробно в книге [2].

ИИ представляет собой самообучающуюся компьютерную программу моделирующую поведение человека с возможностью просмотра, анализа, сбора и обработки множества информации в мировых информационных сетях с целью получения требуемого результата по данному вопросу.

В пищевой промышленности могут применяться некоторые технологии ИИ, такие как нейронные сети, экспертные системы и др.

Нейронная сеть является подсистемой ИИ, основанная на результатах изучения мозга человека, содержащего нейронные связи [3]. Особенностью нейронной сети является наличие искусственных узлов (нейронов) с расчетными формулами, которые обрабатываются и отправляют результат дальше. Узлы связаны между собой путями (синапсами), которые ранжированы числовыми коэффициентами, отражающими степень важности каждого узла. Для корректной работы нейронная сеть требует обучения для каждого целевого применения.

На рисунке 1 показана схема внутренней структуры нейронной сети.

Кратко рассмотрим назначение слоев нейронной сети:

1. Входной слой используется для расшифровки и обработки поступающей информации и передачи ее на следующие узлы.

2. Скрытые слои выполняют обработку информации в соответствии с заложенными алгоритмами. В более сложных нейросетях используются обратные связи.

3. Выходной слой формирует результат работы сети.

Экспертные системы используют накопленный опыт решения технических задач автоматизации пищевых производств. Принципы разработки и программирование экспертных систем изложены в книге [4].

На рисунке 2 показан принцип работы экспертной системы.

На рисунке 3 рассмотрено применение экспертных систем в промышленности.

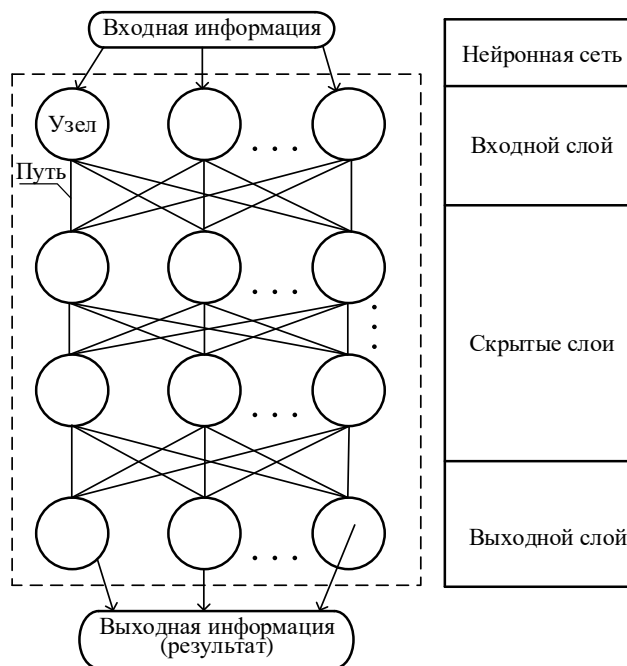


Рис. 1. Нейронная сеть

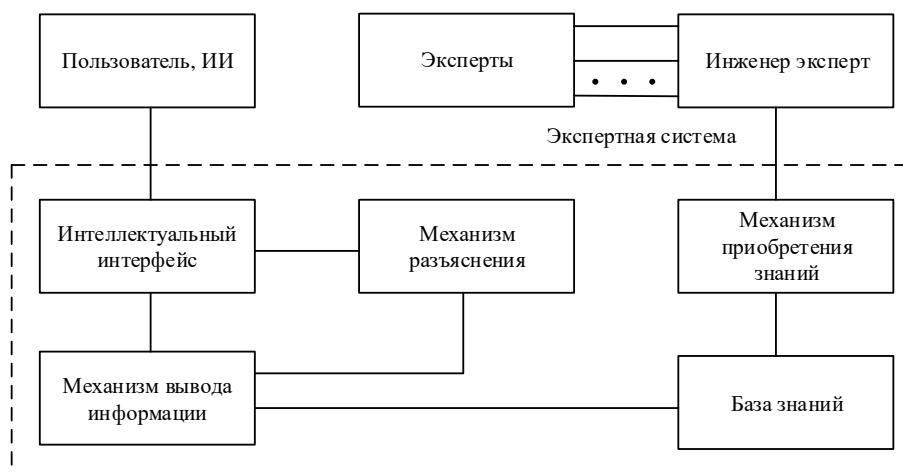


Рис. 2. Принцип работы экспертной системы

В системах автоматизации пищевой промышленности начинают использоваться алгоритмы нечеткой логики и нечетких множеств, машинное (компьютерное) обучение, зрение, электронный нос и другие математические приложения.

1. Особенности применения ИИ в пищевой промышленности

Применение искусственного интеллекта в автоматизации пищевой промышленности (ИИАПП) имеет важное значение для обеспечения здоровья человека.

Основными направлениями применения ИИАПП являются:

1. Контроль качества сырья и готовой продукции в реальном времени за счет точного выполнения технологического процесса с оценкой качества исходного сырья и готовой продукции.



Рис. 3. Применение экспертных систем в промышленности

2. Отбраковка некачественного сырья, включая наличия в нем инородных предметов.
3. Сортировка поступающего сырья по размеру и весу.
4. Обеспечение прослеживаемости готовой продукции от производителей до конечного потребителя с прогнозируемой оценкой количества выпускаемой продукции.
5. Обеспечение регулярных поставок исходного сырья в нужном количестве без их порчи.
6. Разработка новых видов продукции по оценки спроса и предложения.
7. Быстрая переналадка оборудования для выпуска другой продукции.
8. Использование технологий анализаторов и синтезаторов речи для общения человека-оператора с ИИ.
9. Уточнение времени окончания готовности продукта по запаху, выделяемому ароматическими веществами продуктов.
10. Минимизация брака продукции.
11. Снижение уровня загрязнения окружающей среды.
12. Защиту технологического оборудования от хакерских атак.
13. Защиту обслуживающего персонала от травматизма и оборудования от поломок.
14. Контроль гигиены работников пищевых предприятий.

2. Пути решения задач построения интеллектуальных систем управления пищевым производством

Для решения поставленной задачи необходимо использовать оптимальную структуру ИИАПП, позволяющую реализовать вышеперечисленные условия.

На рисунке 4 показана концептуальная структура интеллектуальной системы управления. Как видно из концептуальной структуры ИИАПП можно выделить 3 уровня:

1. Стратегический уровень:
 - выбор стратегии выполнения задания;

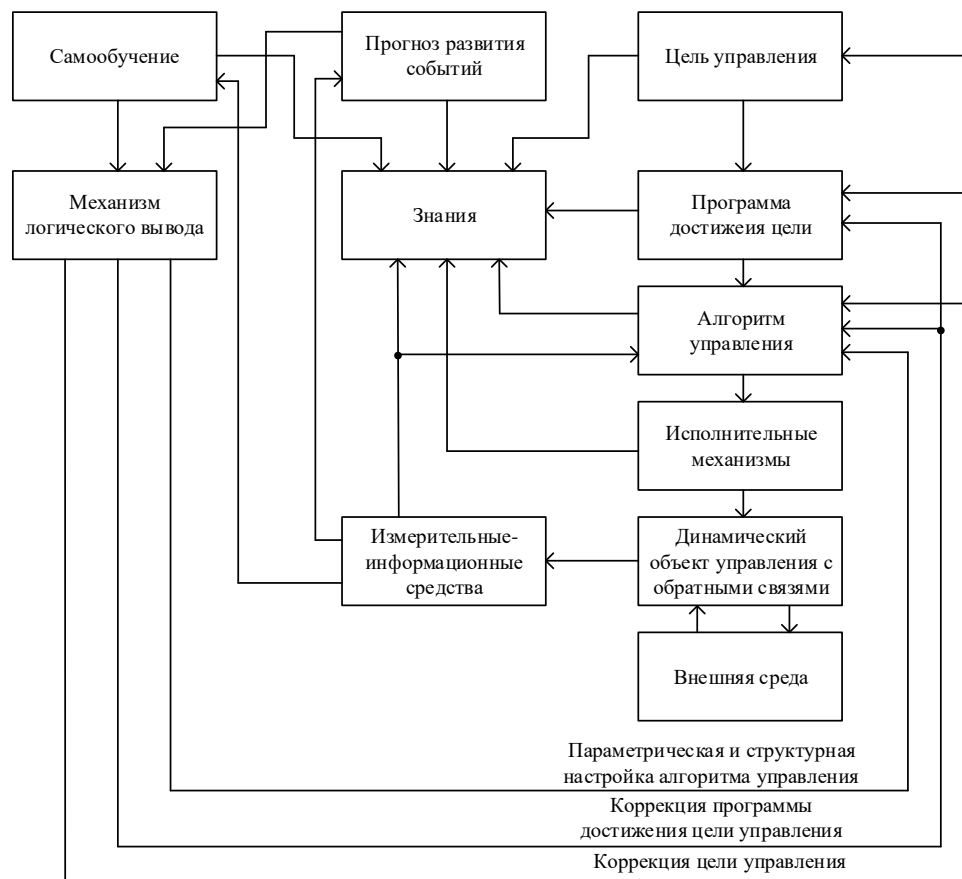


Рис. 4. Концептуальная структура интеллектуальной системы управления

- разработка общего алгоритма задания;
- оперативная коррекция алгоритма в процессе работы;
- использование компьютерных программ моделирования работы оборудования.

2. Tактический уровень:

- планирование времени процесса производства;
- учет параметров и количество пищевого сырья;
- оценка изменения состояния окружающей среды.

3. Исполнительный уровень:

- обеспечение слаженной работы средств автоматизации технологическим оборудованием;
- контроль достоверности параметров системы;
- оперативная диагностика и замена неисправных узлов и систем.

3. Варианты применения ИИ в пищевой промышленности

В пищевой промышленности ИИ может применяться для:

- предиктивного технологического обслуживания, т.е. прогнозирования срока работы оборудования до вероятной поломки. Это стратегия непрерывного мониторинга состояния оборудования. Для технической реализации технологического процесса используются модели. Тем самым минимизируется время простоя оборудования за счет планируемого технического обслуживания;
- проверки качества и размеров пищевого сырья или готовой продукции при помощи компьютерного зрения и датчиков запаха т.д.

На рисунке 5 приведены основные аппаратные и программные средства прогнозируемого технического обслуживания оборудования.

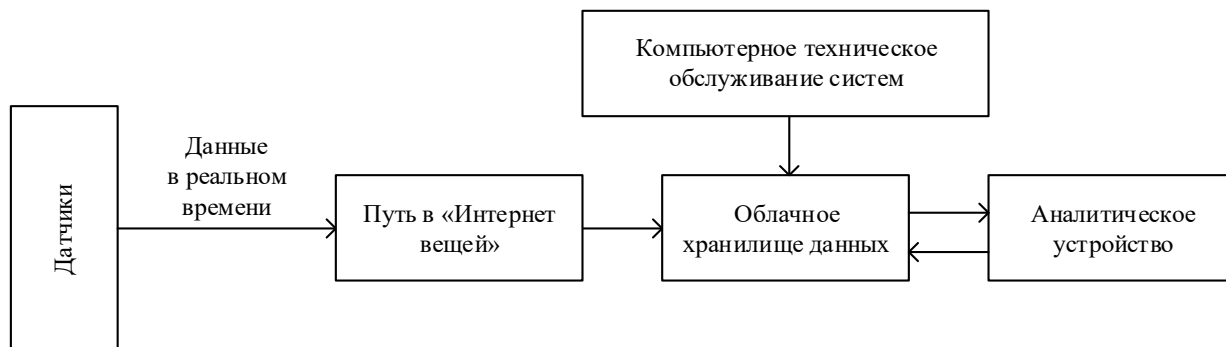


Рис. 5. Основные аппаратные и программные средства прогнозируемого технического обслуживания оборудования

Однако существуют серьезные проблемы и сложности применения ИИ в промышленности:

1. Высокая стоимость проектирования и внедрения.
2. Нехватка опытных специалистов.
3. Маленькая номенклатура выпускаемых технических средств автоматизации, оснащенных интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами.

4. Проблемы с передачей данных без помех.

Указанные проблемы несомненно в будущем будут успешно решены.

ИИИПП реально можно осуществить, используя современные SCADA – системы.

3. Компьютерное моделирование

При проектировании и моделировании интеллектуальных систем автоматизации пищевой промышленности можно использовать пакет прикладных программ Matlab Simulink [5].

Заключение

Применение искусственного интеллекта позволят получить:

1. Высокое качество продукции за счет более совершенных принципов управления и оптимизации технологического процесса.
2. Максимальную энергоэффективность производственного оборудования.
3. Безопасные условия работы обслуживающего персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцев А.Н. Автоматизация и роботизация пищевой промышленности в индустрии 4.0. БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы X Международного Балтийского морского форума 26 сентября – 1 октября 2022 года [Электронный ресурс]: в 7 томах. Т. 6. III Национальная научная конференция «Автоматизация технологических процессов и производств», – 2022». – Электрон. дан. – Калининград: Издательство БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 1 электрон. опт. диск. – С. 291-294.
2. Шваб, Клаус. Четвертая промышленная революция. Пер. с англ. - Москва : Эксмо, 2018. - 285 с. ил., ISBN 978-5-699-98379-7.
3. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. -1104 с. : ил. - Парал. тит. англ. ISBN 5-8459-0890–6 (рус.).
4. Джарратано. Джозеф. Райли. Гари. Экспертные системы: Принципы разработки и программирование. 4-е издание. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс». 2007. – 1152 с. : ил. – Парал. тит. англ. ISBN 978-5-8459-1156-8 (рус.).
5. Дьяконов В.П. Simulink: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс. 2013. – 784 С. : ил. ISBN 978-5-94074-868-7/

6. Поляков А.Е. Основы теории интеллектуального управления энергосберегающими режимами : учебное пособие для вузов / А.Е. Поляков, М.С. Иванов ; под редакцией А.Е. Полякова. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 284 с. : ил. – Текст : непосредственный.

7. Ощепков А.Ю. Математическое и компьютерное моделирование современных систем автоматического управления : учебное пособие для вузов / А.Ю. Ощепков. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 252 с. : ил. – Текст : непосредственный.

8. Румянцев А.Н. Энергосберегающая технология термообработки колбасных изделий. III Балтийский морской форум. Международ. научн. конференц. Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве: тезисы докладов. V том. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2015. - с. 48-50.

9. Онучин А.Л., Румянцев А.Н. Погодозависимое каскадное управление водогрейными газовыми котлами. БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы XI Международного Балтийского морского форума 25-30 сентября 2023 г. [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 6. IV Национальная научная конференция «Автоматизация технологических процессов и производств». – Калининград: 2023. – С. 235-239.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE AUTOMATION OF THE FOOD INDUSTRY

Rumyantsev Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: aleksandr.rumiantcev@klgtu.ru

The article discusses the basic principles and areas of application of artificial intelligence in the food industry, discusses the principles of neural networks and expert systems, and evaluates the possibility of using artificial intelligence to predict the service life of technological equipment.

II НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО И ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ»

II NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "ARCHITECTURE, CONSTRUCTION AND INFRASTRUCTURE"

УДК 69.059.4

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ХОЗЯЙСТВЕННЫМ СПОСОБОМ

¹Карпенко Алексей Владимирович, аспирант

²Кулишкин Андрей Валериевич

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹rauseralex@gmail.com

²ГИП ООО «Бау-Проект», Калининград, Россия, e-mail: ²a.kulishkin@gmail.com

Рассматриваются объекты, возведенные в Калининградской области так называемым «хозяйственным способом» с вторичным применением материалов. Цели – выявление характерных конструктивных особенностей подобных строительных объектов для последующей выработки уточнений для обследования и формирования рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации. В результате установлено, что при хозяйственном способе нежелательно выполнять вскрытия конструкций – основными методами обследования будут являться визуальный и неразрушающий инструментальный. Для понимания последующей эксплуатации подобных объектов необходимо производить контроль вторично используемых материалов.

В периоды сложной экономической ситуации многие отрасли в стране сталкиваются с трудностями. Способы преодоления возникающих трудностей различны, но суть их, зачастую, сводится к снижению издержек. Особое место в контексте рассматриваемого вопроса занимает строительство, так как производство работ в условиях открытой площадки, а не в специально оборудованных заводских помещениях, располагает к экономии, причем во многих случаях недобросовестной.

Хозяйственный способ постройки как раз служит цели снижения издержек строительства. Согласно [1] при хозяйственном способе заказчик и подрядчик представляют из себя один орган (фирму либо физ. лицо). Суть этого способа заключается в простой формулировке: «строим из того, что есть под рукой своими силами». Если рассмотреть историю строительства с древнейших времен и до наших дней, то мы увидим, что с этого способа все и начиналось. С развитием науки, техники и способов промышленного производства внедрялись новые материалы, разрабатывались все более и более совершенные технологии и требования, необходимые для успешного применения таких технологий. В дальнейшем эти требования были реорганизованы в систему нормативной документации, обязательную к исполнению и обеспечивающую качество строительства в целом. Также на совершенствование способов строительства влияли рост численности населения и необходимость обеспечения безопасного проживания в одном городе большего числа людей. Так, например, первые положения, регулирующие строительную отрасль, появились еще в Царской России в XVII веке [2]. Они были направлены на предупреждение риска возникновения пожаров в городах. Затем, уже в XVIII и XIX веках, были изданы первые нормативные документы, а впоследствии, уже во времена СССР - строительные нормы и правила (СНиПы), охватывающие все отрасли строительства и содержащие всеобъемлющие рекомендации по ведению любых видов строительной деятельности на всех этапах.

Несмотря на такую доскональную проработку нормативной базы, хозяйственный способ не потерялся в глубине веков – наоборот, технический прогресс видоизменил и его. И по сей день, особенно в индивидуальном жилищном строительстве, встречаются объекты, построенные таким способом. А с учетом основного недостатка – использования низкоквалифицированной рабочей силы, хозяйственный способ приобрел негативный оттенок как в среде обывателей, так и профессионалов строительной отрасли.

Объектом исследования данной работы является само явление хозяйственного способа в строительстве во всем его многообразии – как в самом определении, так и в проблемах, связанных с планированием жизненного цикла здания либо сооружения, заключающихся в сложностях обследования таких построек и разработки рекомендаций по их ремонту либо возможностей дальнейшей эксплуатации.

Целями исследования являлись:

- выявление характерных признаков (конструктивных особенностей объектов строительства), свидетельствующих о применении хозяйственного способа возведения здания либо сооружения;
- определение необходимых мер, позволяющих возводить подобные строения с применением вторично используемых материалов без ухудшения показателей качества.

Задачи исследования:

- разработка рекомендаций, позволяющих эффективно проводить обследования подобных строений;
- определение допущений для возможности безаварийной эксплуатации строений.

Исследование производилось на основании результатов строительно-технических обследований строительных объектов, расположенных в Калининградской области. Методика проведения обследования была принята в соответствии с [3 – 5] и включала в себя:

- сбор предварительной информации о рассматриваемых объектах строительства, включающей в себя технические паспорта, фотографии и иные сведения;
- визуальное обследование строительных конструкций зданий и сооружений с выполнением фотофиксации;
- проведение детального (инструментального) обследования с выполнением обмерных работ и привлечением лабораторий строительных конструкций.

Строительно-техническому обследованию были подвергнуты следующие объекты:

- 1) Административно – складское здание в пос. Лесное Калининградской области.

Особенный интерес представляет конструктивное исполнение данного строительного объекта. Часть стен выполнена из ребристых плит перекрытия, причем в некоторых прорублены оконные и дверные проемы (рисунок 3). Также выявлено применение в качестве стеновых панелей бывших в употреблении железобетонных панелей забора толщиной менее 50 мм (рисунок 1). Колонны здания выполнены из обрезков сегментных железобетонных ферм, смонтированных в вертикальное положение (рисунок 2). Крыша здания отсутствовала по причине обрушения.



Рис. 1. Ж/б панели забора, примененные в качестве внутренних перегородок.



Рис. 2. Колонны здания.



Рис. 3. Конструктивное исполнение стен.

В результате анализа конструктивного исполнения данного здания установлено, что на этапе строительства не выполнялся входной контроль бывших в употреблении материалов (ж/б панелей заборов), которые теоретически могли бы использоваться в качестве конструкций (ненесущие перегородки). Другие же материалы (обрезки сегментных ферм и ребристые плиты перекрытия) применялись не в соответствии со своим основным назначением. Ввиду применения в качестве несущих конструкций элементов, не обеспечивающих надежное восприятие нагрузок и пространственную жесткость сооружения (отсутствие армирующего пояса показано на рисунке 4), после нарастания распорных реакций в узлах опирания арочной кровли произошел крен стен и изменение расчетной схемы покрытия, что привело к его обрушению.



Рис. 4. Отсутствие армирующего пояса.

2) Здание гаражей вблизи г. Балтийска Калининградской области.

В ходе обследования также было установлено применение на этапе строительства нетривиальных решений, пусть и не таких ярко выраженных, как на предыдущем объекте. Здание 1987 года постройки, одноэтажное. Стены выполнены в равной пропорции из силикатного и керамического кирпича, а также из фундаментных блоков (рисунки 5 и 6). В конструкцию одной из стен добавлена железобетонная свая (либо колонна, рисунок 7), уложенная горизонтально и служащая неким подобием армопояса. Перекрытие – из ребристых плит. В 3-х помещениях применялись поддерживающие балочно-стоечные конструкции (рисунок 8), выполненные из бывших в употреблении шпунтовых профилей Л5 и Л4, а также рельса. Шпунтовые профили сварены между собой при помощи арматуры, стойки замоноличены в конструкцию пола без устройства базы.

Несмотря на явно избыточные геометрические характеристики балок и стоек, ввиду отсутствия необходимых конструктивных элементов (баз и оголовков стоек) конструкции претерпели крены величиной до 60 мм на 2 м высоты и прогибы величиной до 50 мм на 2 м длины. Такие значения деформаций свидетельствуют об исчерпании несущей способности конструкций.



Рис. 5. Конструкция стен.



Рис. 6. Конструкция стен.



Рис. 7. Импровизированный армопояс.



Рис. 8. Балочно-стоечные конструкции.

В результате проведения обследований выявлены характерные особенности хозяйственного способа строительства:

- Отсутствие полноценных проектных решений (в рассматриваемых в статье объектах только первый строился на основании эскиза, в остальных случаях документация отсутствовала);
- Применение строительных материалов и изделий не по назначению. Помимо указанных в статье примеров, автор неоднократно сталкивался с ленточными фундаментами, выполненными из свай, уложенных на грунт в горизонтальное положение для имитации капитальности строения;
- Пренебрежение действующими нормативными требованиями ведения строительства;
- Использование неапробированных технологий строительства;
- Абстрагирование от существующей системы строительной теории;
- Низкое качество итогового строения.

Практический интерес вызывает определение возможности обследования и дальнейшей безаварийной эксплуатации подобных строений. Согласно [3, п. 5.1.7]:

«Обследование технического состояния зданий (сооружений) должно проводиться в три этапа:

- 1) подготовка к проведению обследования;
- 2) предварительное (визуальное) обследование;
- 3) детальное (инструментальное) обследование».

Проблемы возникают на первом и третьем этапах. Ввиду практически повсеместного отсутствия на таких объектах задокументированных проектных решений, невозможно без проведения полномасштабных вскрытий конструкций определить конструктив здания либо сооружения. Однако и вскрывать несущие конструкции на этапе инструментального обследования не рекомендуется, так как при отсутствии достоверной информации о примененных материалах и технологиях невозможно исключить возникновение дефектов от вскрытий (например, откапывание шурфов у фундамента).

Определенную проблематику представляет и дуализм интерпретации выявленных дефектов - они могли возникнуть не только в результате эксплуатации, но и на этапе строительства.

Для решения возникающих проблем в ходе практики проведения строительно-технических обследований были выработаны следующие допущения:

- Дефекты конструкций учитываются как возникшие в результате эксплуатации, если нет явных свидетельств об их происхождении в ходе возведения здания. Эксплуатационное возникновение дефектов более опасно, так как оно свидетельствует о снижении прочности конструкций;
- Выполнение поверочных расчетов невозможно либо технически очень сложно ввиду применения строительных изделий не по назначению;
- Техническое состояние конструкций целесообразно устанавливать по внешним признакам и измерениям, производящимся неразрушающим способом.

Эксплуатация подобных строительных объектов несет определенную долю риска. Главным критерием возможности дальнейшего эксплуатации будет являться история предыдущей эксплуатации – то, как возникали дефекты конструкции. В случае если в результате обследования не будут выявлены дефекты несущих конструкций, либо их возникновение произошло на стадии строительства и отсутствуют факторы, свидетельствующие о развитии их в ходе жизненного цикла здания (сооружения) – дальнейшая эксплуатация возможна при условии сохранения режима (температурно-влажностного и уровня нагрузок). В иных случаях рекомендуется замена конструкций, в том числе и полная перестройка здания (сооружения), построенного хозяйственным способом.

Следует отметить, что основными материалами, используемыми вторично являются:

- бой кирпичной кладки, бетонных изделий;
- фундаментные бетонные блоки;
- плиты перекрытий, стеновые панели;
- силикатные и керамические кирпичи;
- рубероид.

При этом только для боя материалов и рубероида («Кладка Попова» и ВИР-пласт соответственно) разработаны и широко применяются технологии, позволяющие использовать материал вторично без снижения качества итогового строения.

В соответствии с требованием [6]:

9.1.14 Основным документом, подтверждающим технические требования к применяемым строительным материалам, конструкциям, изделиям, полуфабрикатам и оборудованию, является документ изготовителя (например, паспорт качества).

При этом у вторично используемых материалов таких документов нет. Однако, ввиду того, что при хозяйственном способе подрядчик одновременно является и заказчиком, и будущим владельцем сооружения, рекомендуется вместо получения паспорта на материалы с испытанием их в лаборатории, составлять акт визуального осмотра вторично используемых изделий (материалов) в случае отсутствия дефектов, либо акт инструментального контроля – в случае выявления дефектов.

Вывод

В результате проведения исследования существующих строительных объектов выявлены характерные конструктивные особенности хозяйственного способа ведения строительства. На основании выявленных особенностей сформированы рекомендации по обследованию и возможностям дальнейшей эксплуатации подобных зданий (сооружений). Помимо этого проанализировано вторичное использование материалов в таких постройках, сделан вывод о необходимости проведения контроля материалов на строительной площадке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лекции ОСП: файловый архив студентов Studfiles [Электронный ресурс] // URL: <https://studfile.net/preview/5592886/page:7/> (дата обращения 14.06.2024).
2. Лезина Е. П. История развития строительного нормирования в России / Е. П. Лезина // Новые технологии и проблемы технических наук – 2016: Междунар. научн. – практич. конф. (11 нояб.): сб. науч. трудов по итогам междунар. научн. – практич. конф. – Красноярск, 2016. – вып. 3, с. 120 – 126.
3. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст]. – Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014.
4. Бедов, А. И. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий [Текст] / А. И. Бедов, В. Ф. Сапрыкин. – М.: Изд-во АСВ, 1995. – 192 с.
5. Обследование и испытание зданий и сооружений: Учеб. Пособие для вузов / В. Г. Козачек, Н. В. Нечаев, С. Н. Нотенко и др; Под ред. В. И. Римшина. – М.: Высш. шк., 2004.
6. СП 48.13330.2019 Организация строительства [Текст]. – Введ. 2020.06.25. – М.: Стандартинформ, 2020.

THE SECONDARY USE OF MATERIALS IN THE CONDUCT OF CONSTRUCTION IN AN ECONOMIC WAY

¹Karpenko Alexey Vladimirovich, graduate student

²Kulishkin Andrey Valeryevich, Chief Project Engineer

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹rauseralex@gmail.com

²Public corporation "Bau-project", Kaliningrad, Russia, e-mail: ²a.kulishkin@gmail.com

The article examines objects built in the Kaliningrad region using the so-called “economic method” with recycled materials. The objectives of the study were: to identify the characteristic design features of such construction projects for the subsequent development of clarifications for the examination and the formation of recommendations for their further operation. As a result of the study, it was established that with the economic method it is undesirable to open structures – the main inspection methods will be visual and non-destructive instrumental. To understand the subsequent operation of such objects, it is necessary to monitor recyclable materials.

ВЫБОР ЦЕМЕНТОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРОЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОСТАВА БЕТОНОВ

¹Савкин Геннадий Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства

²Любишина Светлана Александровна, канд. пед. наук, доцент кафедры строительства

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹gennadij.savkin@klgtu.ru; ²svetlana.lyubishina@klgtu.ru

Рассмотрены вопросы выбора цемента для производства бетона различной прочности. Изложены основные этапы подбора состава бетонной смеси. Проанализированы требования к цементам по ГОСТам 31108 и 10178. Приведены показатели прочности для различных классов и марок цемента, и установлено соответствие между ними. Установлена неоднозначность расхода цемента и других материалов при подборе состава бетона, исходя из его проектной прочности (класса). На основе полученных данных сделан вывод о целесообразности подбора цемента не по показателю класса, а по показателю активности (прочности на сжатие в возрасте 28 суток).

Бетоны – главные строительные материалы. Наиболее массовый среди них – обычный тяжелый бетон средней плотности 2100...2500 кг/м³ на основе цементных вяжущих [1].

Бетоны хорошо сопротивляются сжатию. Прочность на сжатие является одной из важнейших характеристик, зависящей главным образом от прочности цементного вяжущего. В свою очередь, прочность цемента – основное свойство, характеризующее качество вяжущего. Показатели прочности на сжатие и растяжение при изгибе являются обязательными показателями качества всех цементов кроме тампонажных [2].

Высокие физико-механические свойства бетонов получаются за счет рационального подбора и расчета состава материалов, технологии приготовления и уплотнения бетонной смеси, выбора оптимальных режимов твердения.

Проектирование состава бетона – один из важнейших этапов технологии бетона. Это подтверждается наличием правил (методик) подбора состава на уровне национального стандарта [3]. От того, насколько правильно определен состав компонентов по количеству с учетом их качества, зависят свойства бетона, его долговечность и экономичность.

Подбор и расчет состава бетонной смеси включает в общем случае следующие этапы [4, 5]:

- расчет начального (лабораторного) состава по фактическим характеристикам материалов;
- опытная проверка состава смеси и бетона на соответствие требованиям задания на подбор;
- корректировка и назначение рабочего состава с последующей проверкой на производстве.

Расчет состава компонентов бетонной смеси производится на основании задания, в котором указывается значение конкретной прочности бетона. Это может быть нормативная прочность класса или другая прочность, принятая в проекте. Нормативная прочность – это средняя прочность образцов бетона на сжатие или растяжение в возрасте 28 суток, как правило, чаще всего применяемая в проектах.

Материалы, используемые для бетонов, должны соответствовать требованиям ГОСТ или ТУ на эти материалы. Для расчета состава бетона принимаются характеристики материалов из сопроводительных документов о качестве (паспортов). У цементов такими характеристиками являются: вид и класс (марка) прочности, значение прочности при сжатии (активность) и растяжении при изгибе и др.

В настоящее время в строительной отрасли при производстве бетонных работ и на предприятиях сборного железобетона применяются цементы общестроительного назначения, изготавливаемые на основе портландцементного клинкера. На эти цементы введен в действие новый межгосударственный стандарт ГОСТ 31108-2020 [6]. По техническим требованиям к цементам, методам их испытаний и другим характеристикам стандарт приведен в соответствие со стандартами Евросоюза на аналогичные виды общестроительных цементов. Первая редакция этого стандарта введена в действие с 2004 года.

С введением в действие в 2021 году актуализированной редакции ГОСТ 31108 был отменен действовавший до этого ГОСТ 10178 [7] на два вида цемента общестроительного назначения (портландцемента и шлакопортландцемент). Около 18 лет эти два нормативных документа действовали одновременно.

Основными отличиями нового «евростандарта» на цементы являются:

- увеличение до 6 типов цементов по вещественному составу и другим их обозначениям;
- квалификация показателя прочности на сжатие классами и подклассами прочности. Классы характеризуют прочность на сжатие в возрасте 28 сут., а подклассы – ранний набор прочности в 2 и 7 суток. Классы прочности: 32,5; 42,5; 52,5. В первоначальной редакции стандарта 2003 года был еще класс 22,5;

- требования к физико-механическим показателям не содержат показателей прочности классов на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток.

В отменённом стандарте прочность на сжатие представлена 5 марками: М300, М400, М500, М550, М600. Диапазон прочностей у классов существенно отличается от диапазона значений у марок цемента. Сравнительные показатели прочности на сжатие в возрасте 28 суток приведены в таблице 1. Каждая марка цемента еще нормируется показателями прочности на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток.

Таблица 1

Показатели прочности для различных классов и марок цемента

Цементы по ГОСТ 31108			Цементы по ГОСТ 10178	
Класс прочности	Прочность на сжатие, МПа		Марка прочности	Прочность на сжатие, МПа
	Нижний предел	Верхний предел		
22,5*	20*	42,5*	М300	От 29,4 до 39,1
32,5	30	52,5	М400	От 39,2 до 48,9
42,5	40	62,5	М500	От 49,0 до 53,8
52,5	50	-	М550	От 53,9 до 58,7
			М600	От 58,8 до 68,5
*- Показатели ГОСТ 31108 в редакции 2003 года				

Из таблицы видно, что нормативная прочность классов характеризуется широким диапазоном значений. При одном показателе прочности цемент может относиться к разным классам одновременно. Так, например, при прочности (активности) 51 МПа цемент относится к любому из классов: 32,5; 42,5; 52,5.

Неоднозначность нормативного показателя прочности цемента на сжатие затрудняет правильный выбор этого главного технического показателя при расчетах подбора состава бетона. Проблема выбора показателя прочности цемента заключается еще и в том, что в рекомендациях НИИЖБ [4] при расчёте начального состава бетона прочность принимается равной показателю класса. На начальном этапе это искажает состав (количественный расход компонентов) бетонной смеси.

Все существующие методики расчёта составов бетонов основаны на первоначальном определении цементно-водного отношения (Ц/В). А в формуле Ц/В определяющими показателями являются прочность на сжатие цемента и прочность на сжатие бетона.

Необходимо учитывать, что при выборе цементов для бетонов, твердеющих при нормальных условиях и тепловой обработке, рекомендуется применять цементы маркой (классом) не ниже класса бетона. Это означает, что прочность (активность) цемента должна быть не ниже проектной прочности бетона. С повышением прочности цемента снижается его расход. Так, с повышением прочности на 1МПа расход может снижаться до 5 кг на 1м³ бетона.

На примере определения состава бетона класса В30 со средней прочностью 40 МПа можно подтвердить неоднозначность расхода цемента и других материалов. Для расчета начального состава взята бетонная смесь марки П2 (ОК=5-9) по удобоукладываемости. Взяты материалы: щебень с наибольшей крупностью 20мм и цемент ЦЕМ I класса прочности на сжатие 42,5. Водопотребность В равна 185 л/м³ (из графиков и таблиц стандартных методик). Расход цемента Ц, кг/м³, в начальном составе при разных значениях прочности составляет:

- при 42,5 МПа (Ц/В=2,4) – 444 кг;

- при 52,5 МПа (Ц/В=1,89) – 350 кг;
- при 62,5 МПа (Ц/В=1,55) – 286 кг.

Поскольку расход всех материалов связан по закону «суммы абсолютных объемов всех компонентов готовой смеси равны 1 м³ (1000 л)», то имеет место неоднозначность расхода и других составляющих (щебня, песка, добавок). Такое положение искажает результаты испытаний образцов бетона первоначального состава.

В сложившихся условиях следует при подборе состава бетона принимать цемент не по показателю класса, а по показателю активности (прочности на сжатие в возрасте 28 суток). Этот показатель указывается в документе о качестве цемента, который должен сопровождать каждую партию цемента или часть партии с предприятия-изготовителя [6]. Активность цемента указывается как среднее значение за предшествующие 3 месяца его производства на предприятии. За 3 месяца указывается в этом же документе и коэффициент вариации активности.

Показатель активности могут применять потребители с массовым объемом изготовления товарного бетона или заводы ЖБИ. Цемент в этих случаях обязательно сопровождается паспортами (документами о качестве).

В случае реализации цемента через оптово-розничную торговлю при упаковке в бумажные или полипропиленовые мешки следует пользоваться в расчетах показателем марки цемента. Марку цемента наряду с классом и другой маркировкой указывают цементные заводы. Документов о качестве (паспортов) в магазинах, как правило, нет. Потребителями цемента в мелкой таре являются малые предприятия или рядовые покупатели. Некоторые изготовители на мешкотаре указывают и расходы компонентов бетонов разных классов (марок), т.е. рецептуру состава (рис. 1).



Рис. 1. Упаковка цемента и рекомендации по приготовлению смесей различного назначения

Потребителям цемента необходимо иметь в виду, что при хранении даже в закрытых условиях его активность (прочность) спостепенно снижается. Установлено, что за 3-6-месяцев хранения прочность снижается до 30%, а через год - до 40% [8]. Нормами [2] установлен гарантийный срок хранения – 60 суток с момента отгрузки.

Практическое применение «лежалого» цемента в этом случае требует проведения стандартных испытаний для определения фактической активности цемента на момент использования. Возможно применение метода ускоренного определения активности с использованием отечественного прибора «Цемент – прогноз - ЛАБ», изготовитель – ООО НПП Интерприбор (Челябинск). Диапазон измерений прочности (активности) – 10...100 МПа, при допускаемой погрешности 10%.

Еще одной особенностью выбора цементов по показателю прочности является выбор цементов для бетонов конструкций, воспринимающих напряжения растяжения при изгибе (полы, тротуарные плиты, бортовые камни, шпалы, дорожные покрытия). Для расчета состава бетона требуется характеристика цемента по показателю «прочность на растяжение при изгибе» или «прочность при изгибе». Если в отмененном ГОСТ 10178 такие показатели были приведены для каждой марки цемента, то в новом действующем ГОСТ 31108 они не приводятся.

Для бетонов, рассчитываемых на прочность при изгибе, рекомендуется использовать ГОСТ Р 55224 на цементы для транспортного строительства [9]. В документе установлены четкие значения и диапазоны прочностей на растяжение при изгибе в проектном возрасте (28 суток) для каждого класса цементов:

- класс 32,5 – прочность при изгибе не менее 5,5МПа;
- класс 42,5 – прочность при изгибе не менее 6,0 МПа;
- класс 52,5 – прочность при изгибе не менее 6,5 МПа.

Заключение. Для обеспечения большей точности расчетов составов бетонных смесей и достоверности показателей прочности лабораторных образцов бетонов необходимо пользоваться фактическими значениями показателей прочности на сжатие (активность) и изгиб цемента на момент приготовления бетонных смесей испытываемых бетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
2. ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия.
3. ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора составов.
4. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов / ФАУ ФЦС, Москва, 2016. – 100 с.
5. Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 103 с.
6. ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия.
7. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
8. Дворкин Л.Н., Дворкин О.Л. Строительное материаловедение. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 832 с.
9. ГОСТ Р 55224-2020. Цементы для транспортного строительства. Технические условия.

THE CHOICE OF CEMENTS IN TERMS OF STRENGTH IN THE DESIGN OF CONCRETE COMPOSITION

¹Savkin Gennadiy Vasilyevich, Ph.D. of Engineering,
Associate Professor of Department of Construction

²Liubishina Svetlana Aleksandrovna, Ph.D. of Pedagogics,
Associate Professor of Department of Construction

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹gennadij.savkin@klgtu.ru; ²svetlana.lyubishina@klgtu.ru

The article discusses the issues of choosing cements for the production of concrete of various strengths. The main stages of the selection of the composition of the concrete mixture are described. The requirements for cements according to GOST 31108 and 10178 are analyzed. The strength indicators for different classes and grades of cement are given and the correspondence between them is established. The ambiguity of the consumption of cement and other materials in the selection of the composition of concrete based on its design strength (class) has been established. Based on the data obtained, it was concluded that it is advisable to select cement not according to the class indicator, but according to the activity indicator (compressive strength at the age of 28 days).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

¹Смирнов Григорий Сергеевич, магистрант

²Курочкин Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доцент

^{1,2}ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹grindo1717@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ²viv653521@mail.ru

Рассмотрены материалы, применяемые для герметизации систем вентиляции и кондиционирования (СВК) воздуха. Обобщены граничные условия материалов, рекомендуемых для герметизации стыков СВК. Выявлено, что в нормативной литературе нет ограничений по применению герметиков в зависимости от относительной влажности. Предложен состав герметика на основе полиуретана и цеолита, обладающий коротким сроком схватывания при высокой влажности в помещении.

Система вентиляции и кондиционирования (СВК) воздуха в помещениях являются основой для допустимого или оптимального микроклимата помещения и залогом здоровья человека. Правильно спроектированная и выполненная система вентиляции позволяет снизить энергопотребление за счет эффективного использования ресурсов и оптимизации работы оборудования. Согласно требованиям к СВК [1] соединения должны быть прочными и герметичными, а герметик для заполнения банджа должен соответствовать по стойкости свойствам перемещаемой и окружающей среды.

Нормативной литературой [1] для герметизации стыков рекомендуется применение следующих материалов для герметизации систем вентиляции:

- термоусаживающиеся манжеты, самоклеящиеся ленты (при температурах воздуха до 60 °С);
- герметизирующие ленты типа «Герлен» (при температурах воздуха до 40 °С),
- различные мастики на основе каучука, силикон (при температурах воздуха до 70 °С),
- полиуретановые герметики (при температурах воздуха до 70 °С).

Как мы видим, нормируется только температурный диапазон применения герметиков, упуская такой важный показатель как относительная влажность помещения. Влажность оказывает значительное влияние на продолжительность схватывания, твердения, срок службы.

Рассмотрим характеристики герметиков, представленных заводами-изготовителями.

Одним из широко распространенных средств герметизации проходов является алюминиевая лента. Представляет собой алюминиевую ленту с нанесенным на нее клеевым составом. В качестве ее преимуществ можно отметить прочность на разрыв, низкую теплопроводность, устойчивость к излучению и легкость в эксплуатации [2].

Основными недостатками материала можно считать необходимость в подготовке основания, ограничения по температуре монтажа и относительная недолговечность.

Мастика представляет собой готовую к применению вязкую однородную массу, изготовленную на основе бутилкаучука и этиленпропиленового каучука, наполнителей, пластификаторов и технологических добавок. Плюсы таких герметиков: обладают хорошей адгезией, не теряют эластичности, не трескаются и не отстают от поверхности. К недостаткам можно отнести: плохое растяжение, небольшой срок эксплуатации, требует хранения в сухих помещениях в таре предприятия-изготовителя, не терпит прямых солнечных лучей и атмосферных осадков [3].

В настоящее время широко распространены силиконовые герметики. В их состав входит кремний и органический полимер. Это силиконовый каучук (около 45% состава), с помощью которого герметики затвердевают при комнатной температуре. Также такие герметики, прежде всего, имеют ряд плюсов: они долговечны и обладают устойчивостью к УФ-излучению и другим неблагоприятным условиям среды; силиконовые герметики легко подвергаются деформации, повторяя все изгибы материала; сохраняют свои свойства в широком интервале температур.

Но, как и другие герметики имеет ряд недостатков: не подвергаются окраске, могут вызвать коррозию у металла, нельзя наносить на влажные поверхности.

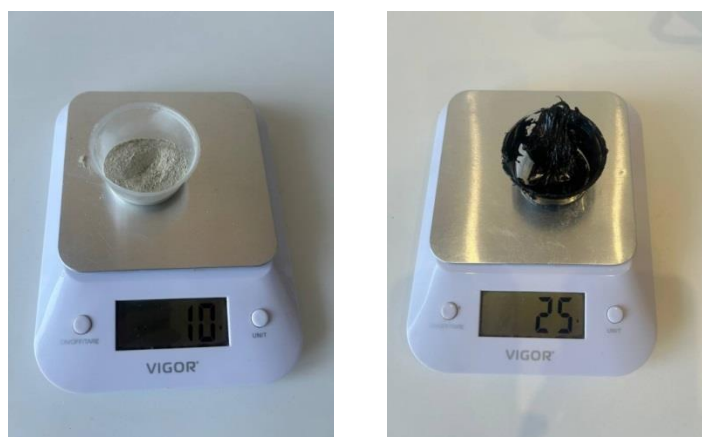
Последним из рассмотренных материалов является полиуретановый герметик. Полиуретановые герметики - материал, изначально применяемый для герметизации стыков и швов в строительных сооружениях. Но из-за своих свойств данный материал приобрел широкую сферу применения.

Полиуретан используется во многих областях и может выступать в качестве заменителя резины, каучука, пластика. Такие полиуретановые герметики имеют очень много преимуществ: высокой адгезией к различным поверхностям, эластичностью после затвердевания, водонепроницаемостью, устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, относительно быстрое затвердевание, возможность окрашивания, возможность проведения чистых герметизирующих работ, неограниченность срока использования.

Полиуретановые герметики представляют собой однокомпонентную вязкую массу, на основе полиуретановых преполимеров, и не содержат растворителей. При контакте с влагой, содержащейся в воздухе, происходит полная полимеризация, герметик начинает схватываться и после чего застывает.

Рассмотрим влияние цеолитов на скорость схватывания и твердения герметика при сохранении прочих свойств в зависимости от процентного соотношения масс двух веществ. Цеолит был выбран из-за своей способности отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности.

Для проведения эксперимента были подготовлены материалы и оборудование: однокомпонентный полиуретановый герметик, пылеватый цеолит, электронные весы, средства индивидуальной защиты и посуда для образцов (рис.1).



а)

б)

Рис. 1. Пылеватый цеолит (а) и полиуретановый герметик (б)

Для проведения эксперимента было сделано 8 образцов полиуретанового герметика по 25г каждый, к которым добавлялось различное количество пылеватого цеолита.

Процентное содержание добавки отражено в таблице 1.

После добавления цеолита к герметику, состав тщательно перемешивался и равномерным слоем распределялся по плоскости для дальнейшей оценки свойств.

Эксперименты проводились в помещении с температурой +26 и относительной влажности 60...65%

Согласно данным, предоставляемым производителем, застывание полиуретанового герметика, который участвовал в испытаниях составляет от 15 до 30 минут, а полностью от затвердевает за 2 дня. Исходя из этого, контрольные замеры проводились с интервалом 1 минута в период схватывания герметика и 1 час в период застывания.

Состав испытываемых образцов герметиков

Номер образца	Содержание герметика, г	Содержание цеолита, г	Процентное содержание цеолита, %
1	25	0	0,00
2	25	0,5	1,96
3	25	1	3,85
4	25	2	7,41
5	25	3	10,71
6	25	4	13,79
7	25	5	16,67
8	25	10	28,57

Полученные данные о продолжительности схватывания и застывания герметиков. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Продолжительности схватывания и застывания испытываемых образцов герметиков

Номер образца	Процентное содержание цеолита, %	Продолжительность схватывания, мин	Продолжительность застывания, ч
1	0,00%	42	48
2	1,96%	42	48
3	3,85%	39	48
4	7,41%	36	48
5	10,71%	33	48
6	13,79%	27	48
7	16,67%	27	48
8	28,57%	25	52

Данные о продолжительности схватывания составов представлены в виде рис. 2. Построена полиномиальная линия с учетом погрешности.

Данные о продолжительности застывания представлены в виде рис.3.

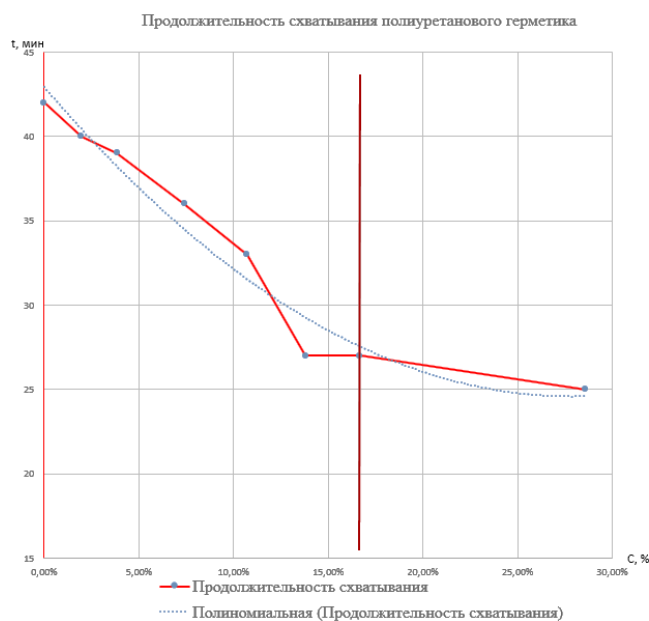


Рис. 2. Зависимость продолжительности схватывания образцов герметика от процентного содержания добавки (пылеватого цеолита)

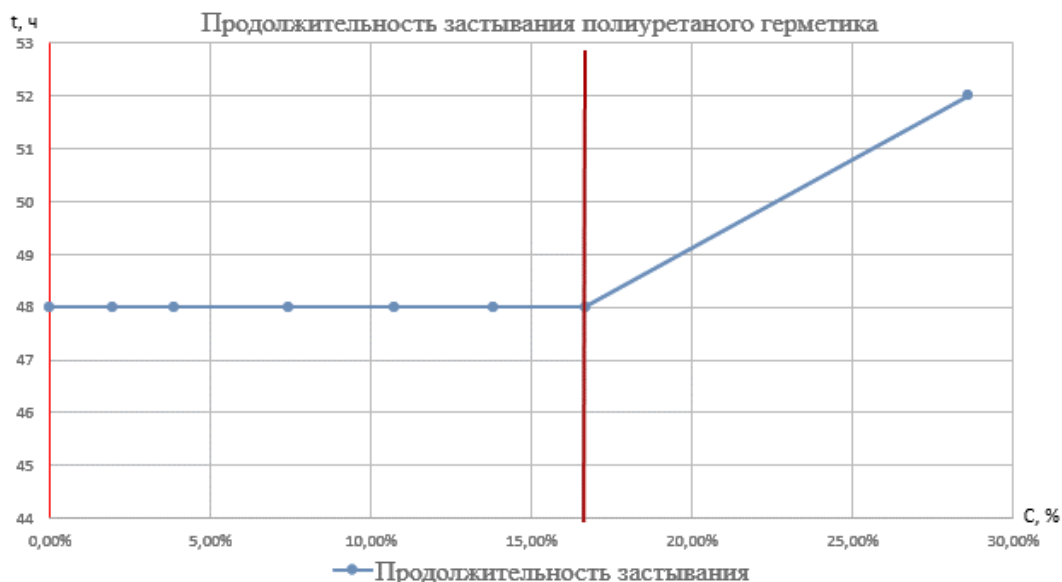


Рис. 3. Зависимость скорости застывания от процентного содержания цеолита

Экспериментальные данные показывают, что добавление пылеватого цеолита сокращает продолжительность схватывания полиуретанового герметика. Оптимальная концентрация тонкодисперсного цеолита находится в диапазоне 14-16,7 % от массы полиуретанового герметика, что позволяет сократить срок схватывания с 42 до 27 минут в условиях с повышенной влажностью. Внесение добавок в указанном диапазоне не оказывает влияние на продолжительность застывания герметика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 73.13330.2016 (СНиП 3.05.01-85). Внутренние санитарно-технические системы зданий [Электронный ресурс]. - Введ. 2017-04-01. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456029018>
2. Лукинский, О. А. Эффективная герметизация воздухопроводов / О. А. Лукинский // Жилищное строительство. – 2010. – № 2. – С. 22-23..
3. Имамудинов, И. В. Герметики на основе эластомеров / И. В. Имамудинов, Р. Ю. Галимзянова, Ю. Н. Хакимуллин // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 6. – С. 69-74.

ENSURING TIGHTNESS OF BUTT JOINTS VENTILATION SYSTEMS

¹Smirnov Grigory Sergeevich, master's student

²Kurochkin Evgeniy Yurievich, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor

^{1,2} Immanuel Kant Baltic Federal University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹grindo1717@gmail.com

²Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ²viv653521@mail.ru

The materials used for sealing ventilation and air conditioning systems (VAC) are considered. The boundary conditions of materials recommended for sealing VAC joints are generalized. It was revealed that in the regulatory literature there are no restrictions on the use of sealants depending on relative humidity. A sealant composition based on polyurethane and zeolite is proposed, which has a short setting time at high indoor humidity.

КИНЕТИКА КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕТОНЕ И АРМАТУРЕ В УСЛОВИЯХ ПРОМАТМОСФЕРЫ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

¹Хомякова Ирина Васильевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства

²Концедаева Жанна Григорьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹irina.khomyakova@klgtu.ru; ²zhanna.kontsedaeva@klgtu.ru

Проанализировано воздействие на бетон сернистого и углекислого газов в атмосфере котельных. Цель – анализ влияния проматмосферы котельных на прочность сцепления, анкеровку и несущую способность бетона и арматуры. Установлена степень агрессивности среды промышленной атмосферы, степень деструктивных изменений в бетоне. Приведены стадии развития коррозии, влияющие на бетон.

Общие сведения об объекте

Для оценки влияния проматмосферы на железобетонные конструкции было проведено обследование двух котельных, работающих на твёрдом топливе. сроком эксплуатации от 35 до 40 лет.

Химический анализ атмосферы проводился на двух объектах, а конструктивные размеры, в данной статье, приведены для одного инженерного сооружения.

Здание с разновысокими этажами нерегулируемым шагом колонн размерами в плане 13,5 к 27,5. Каркас здания - монолитный железобетонный. Перекрытия выполнены из монолитного железобетона. Часть встроенных этажерок - металлические. Основное внимание было уделено фундаменту под котлы. Фундамент выполнен из плиты толщиной 80 см из монолитного железобетона. Армирование выполнено вязаными каркасами из арматуры класса А240 диаметром 16мм. Бетон класса В15.

В результате обследования выявлено, что в аварийном состоянии находились консоли некоторых колонн (разрушение конца консолей). Толщина защитного слоя в большинстве соответствовала нормативному значению, но в связи с агрессивными условиями эксплуатации его защитные свойства оказались исчерпанными (трещины вокруг корродируемой арматуры). Особенно часто такой дефект отмечался в железобетонных колоннах, главных балках и ригелях.

1. Кинетика коррозионных процессов в железобетонных элементах

Анализ промышленной атмосферы в двух котельных свидетельствует о наличие в них значительных концентраций углекислого газа до 0,1% по объему или до 2000мг/м³ и сернистого газа от 0 до 10мг/м³. Концентрация последнего значительно колеблется в различных зонах и особенно велика в вентиляционных отсеках и вдоль системы золоудаления.

Взаимодействие бетона, углекислого и сернистого газов представляет собой сложную систему, в которой трудно предсказать последовательность образования продуктов химической реакции. Реакция нейтрализации является гетерогенной и согласно Д.А. Франк-Каменецкому для сложных гетерогенных реакций могут иметь место следующие соотношения:

1. При параллельных реакциях количество образующихся продуктов пропорционально скорости этих реакций;

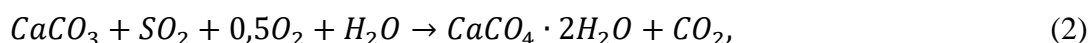
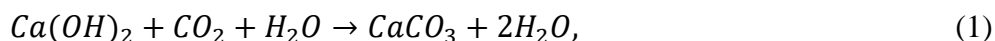
2. В случае последовательных реакций скорость образования промежуточных и конечных продуктов зависит от того, протекает ли вторая реакция в диффузионной или кинетической области.

Если вторая реакция находится в кинетической области, то практически возможно образование лишь промежуточного продукта в нашем случае $CaCO_3$, а если в диффузионной – то единственным конечным продуктом будет вещество $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (для анализируемой среды котельной). Направление и результат зависит от взаимодействия концентрации газов, относительной влажности и температуры среды.

При высокой относительной влажности среды ($\varphi=80\dots100\%$) и температуре поверхности бетона $30\dots50^\circ\text{C}$ образуется раствор сернистой кислоты. В этом случае нет ограничений для диффузии кислоты в поры и капилляры, заполненные влагой. Кинетика взаимодействия сернистой кислоты с продуктами гидратации в первую очередь с гидроокисью кальция может быть описана уравнением второго закона Фика, а продукты реакции бисульфат кальция и гипс могут отводиться во внутрь структуры и процессы коррозии получают незатухающий характер. Вследствие происходящих обменных реакций понижается концентрация гидрата окиси и РН среды достигает нейтрального значения (РН=7).

При небольшой относительной влажности среды ($\varphi=10\dots40\%$) раствор сернистой кислоты не образуется и проникновение сернистого газа в капилляры и поры бетона происходит с диффузионным ограничением по первому закону Фика.

Данные химического анализа проб бетона свидетельствует о последовательном характере протекания реакций по схеме:



т.е. карбонат кальция является промежуточным продуктом, который взаимодействуя с сернистым газом, образует гипс. Образование другого продукта обусловлено, очевидно, тем, что процесс карбонизации протекает в диффузионной области и его скорость предопределяется скоростью доставки газа в зону реакции. Размеры молекул углекислого газа существенно меньше сернистого, что и обуславливает их опережающую диффузию. Поскольку в рассматриваемой проатмосфере котельных концентрация CO_2 значительно выше, отмеченная тенденция носит ещё более ярко выраженный характер.

Данное предложение позволяет считать, что установленные зависимости скорости нейтрализации при действии углекислого газа остаются справедливыми и при совместном действии CO_2 и O_2 . Необходимо отметить, что происходящее увеличение объёма твёрдой фазы за счёт продуктов коррозии кольматируют в поры, уменьшая тем самым эффективное сечение капилляров и замедляя процесс коррозии. В дальнейшем возможно преобразование гипса в гидросульфат кальция, так как его растворимость $0,0001\text{г/л}$ значительно меньше растворимости газов $0,0153\text{ г/л}$. Его количество будет зависеть от содержания в цементном камне бетона алюминатов кальция и $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

При значительных колебаниях влажности, температуры и концентрации газов в проатмосфере процесс коррозии идёт по двум описанным выше схемам. При химическом взаимодействии сернистого газа, образующего растворы сернистой кислоты с цементным камнем бетона в нём протекают процессы по II и III видов по В.М. Москвину [2]. Это наиболее характерно для конструкций котельных, размещённых в различных зонах.

Сернистая кислота взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образует бисульфат кальция, который с течением времени окисляется в сульфат кальция, и последовательно идёт разложение структурных компонентов цементного камня (II вид коррозии).

После накопления большого количества гипса и, при определённых условиях, гидросульфатоалюмината кальция в стенках пор и капилляров возникают значительные внутренние напряжения, приводящие к деструктивным процессам, появлению трещин и шелушению бетона. После разрушения прокорродированного слоя бетона происходит вскрытие неповреждённого бетона. Как показали результаты натуральных исследований, после отшелушивания повреждённого слоя толщиной $2\dots5\text{мм}$ продукты коррозии прослеживаются только в поверхностном слое толщиной не более $0,5\text{мм}$.

В дальнейшем цикл повторяется. Таким образом, в конструкциях, рассматриваемых при обследовании процессы коррозии, развивались циклически. Толщина каждого прокорродированного слоя зависит от условий его микроатмосферы эксплуатации и плотности бетона.

При оценке несущей способности железобетонных элементов котельных учтены специфические особенности, связанные с изменением как прочностных и геометрических параметров бетона и арматуры, так и условий их совместной работы в конструкциях. В данном случае наблюдается повреждение защитного слоя, которое приводит к нарушению сцепления арматуры в бетоне.

При оценке влияния коррозии на прочность сцепления, анкеровку и несущую способность процесс коррозии арматуры целесообразно разделить на 3 стадии.

Первая стадия заключается в образовании ржавчины на арматурных стержнях. При достижении предельных растягивающих напряжений в бетоне защитного слоя она переходит во вторую стадию, сопровождающуюся образованием трещин вдоль арматурных стержней. С этого момента вследствие свободного доступа агрессивных компонентов к арматуре коррозионные процессы интенсифицируются и растягивающие напряжения в образованных первичными продольными трещинами в бетонных элементах защитного слоя возрастают и в конечном итоге достигают предельно допустимых величин. Происходит отслоение защитных слоёв бетона и наступает II стадия.

Толщину слоя продуктов коррозии на стержнях, при которой образуются трещины, а следовательно, допустимую степень их коррозионного износа, определяли расчётным путём для анализируемых конструкций:

$$\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2, \quad (3)$$

где Δr_1 - толщина продуктов коррозии, уплотняющих бетон в контактном слое с арматурой;

Δr_2 – тоже, повышающих распор и возникновение растягивающих напряжений в бетоне.

С использованием формулы для расчёта толстостенных труб и допущений об упругой работе бетона после его уплотнения продуктами коррозии формула для Δr_2 имеет вид:

$$\Delta r_2 = \frac{(1-\mu)R_p}{4E_b} \left[\frac{r^2+(r+a)^2}{r} \right] \quad (4)$$

где r , a – радиус арматуры (номинальный 25мм), толщина защитного слоя (среднестатистическая 24,5мм)

R_p – условно принята 10 кз/см^2 , $E_b=2,65 \times 10^5$, $\mu=0,22$. Установлено, что величина Δr_2 на порядок ниже, чем Δr_1 и его в дальнейшем анализе можно пренебречь.

Многочисленные натурные обследования конструкций, эксплуатируемых в агрессивных условиях, показали, что при $\Delta r_1=0,2 \dots 0,6 \text{ мм}$ в зависимости от плотности бетона и диаметра стержней в бетоне защитного слоя возникают растягивающие напряжения, приводящие к трещинам (стадия II), а при $\Delta r=2 \dots 3 \text{ мм}$ происходит отслоение защитных слоёв (стадия III).

Изменение прочности и жёсткости сцепления необходимо учитывать при расчёте анкеровки арматуры и несущей способности железобетонных элементов с корродированной арматурой. Расчёт анкеровки ненапрягаемой арматуры производится согласно требованиям [1], в которой качество сцепления учитывается параметрами $l_{0,ан}$ и коэффициентом α . Их величина установлена на базе статистической обработки результатов испытаний призм и балочных образцов с доверительной вероятностью 0,977.

За счёт снижения прочности сцепления арматуры и бетона на стадиях II и III несущая способность изгибаемых элементов по нормальным сечениям снижается на 15 и 30%, что должно быть учтено при оценке технического состояния железобетонных конструкций, длительно подвергающихся агрессивному воздействию.

Согласно СП 28.13330.2017 среда промышленной атмосферы котельных характеризующая повышенным содержанием углекислого и сернистого газов, может быть классифицирована слабо- или среднеагрессивная по отношению к железобетонным конструкциям при относительной влажности ниже и выше 60% соответственно.

Указанная классификация не может быть признана однозначной, так как имеется ряд сопутствующих факторов, усугубляющих условия эксплуатации отдельных элементов. Так, плиты покрытия эксплуатировались подавляющее время при высокой относительной влажности воздуха, высокой влажности бетона (из-за конденсата влаги) в периодическом воздействии низких температур (глубокое и циклическое замораживание). Поэтому, условия их эксплуатации могут быть оценены как крайне неблагоприятные.

Несущие конструкции, эксплуатирующиеся в среде сухого микроклимата, согласно обследованию, со сравнительно мало изменяющимися параметрами (влажность ниже 40%, температура $30 \dots 40^\circ \text{C}$) и может быть оценена как неагрессивная по отношению к бетону и арматуре.

Визуально-инструментальным обследованием установлено, что наибольшие коррозионные разрушения приурочены к элементам покрытия (карнизным плитам) и перекрытия над первым этажом. Воздух над перекрытием довольно влажный с температурой в зимнее время 15...17°C и заметным запахом сернистого газа. Бетон плит и консолей колонн полностью разъеден на глубину превышающую толщину защитного слоя с обнажением заполнителя и арматуры, которая покрыта слоем рыхлой ржавчины толщиной 3,0...3,5 мм. Высокая поверхностная прочность защитного слоя фактически обманчива, так как практически не имеет сцепления с основной арматурой.

Пробами на фенолфталеин сколов защитного слоя установлено, что глубина нейтрализации бетона в большинстве случаев превосходит толщину защитного слоя (таб.1).

Таблица 1

Значения водного показателя

№ п/п	Место взятия пробы	Элемент	Значение рН	Среднеквадратичное отклонение
1	Покрытие	плита	8,4	0,8
		ребро (низ)	8,2	1,4
		ребро(середина)	9,1	1,0
2	Покрытие	плита	8,0	1,5
		консоль (верх)	8,7	1,4
		консоль (в зоне размещения арматуры)	9,6	1,1
		колонна (верх)	9,5	1,6
		колонна (в зоне размещения арматуры)	10,8	0,9

Значения рН водной вытяжке подтверждает это. Значения водного показателя значительно ниже уровня стабильного существования силикатов клинкерных минералов цементного камня и пассивного состояния арматуры [3]. О значительной степени коррозии арматуры свидетельствуют данные о фактическом диаметре арматуры, измеренных в различных конструктивных элементах. Износ рабочей арматуры значителен, сцепление арматуры с бетоном, в большинстве случаев, находится в третьей стадии, что позволяет предпринимать снижение усиления, воспринимаемого арматурой зоны до 30% (без учёта степени фактического износа сечения арматуры).

Обращает на себя внимание, что в ряде случаев коррозия арматуры незначительна или практически отсутствует, хотя состав газовой среды в этих микрорайонах характеризуется наличием сернистого газа и бетон нейтрализован на незначительную глубину. Установлено, что в не увлажняемом бетоне, несмотря на значительную глубину нейтрализации, арматура не корродирована. В плитах покрытия, увлажняющихся атмосферными осадками и возможным конденсатом в виду интенсивного тепловыделения в покрытии, развитие коррозии значительно больше и носит она явно незатухающий характер. Внутри помещения из-за технологического увлажнения (пор) и высокого уровня грунтовых вод на площадке также имеются участки усиленной коррозии арматурой. Отсутствие влаги ведет к такому высушиванию бетона, при котором становится невозможен отвод электронов с коррозионно-активных участков арматуры и коррозия носит ярко выраженный затухающий характер с анодным ограничением. Представленные выше данные по определению водородного показателя поровой влаги подтверждают термодинамическую возможность коррозии арматуры. С другой стороны, они ниже установленного ранее значения $pH \geq 11,0$, границы стабильного существования гидратных соединений силикатов, т.е. становится возможной деструкция кристаллизационных связей структур, особенно при низкой влажности бетона.

2. Прочность бетона

Данные химического и структурного анализов позволяют судить о техническом состоянии бетона с качественной стороны. Важнейшим же критерием его конструктивных свойств по прежнему является показатель прочности.

Учитывая особенности эксплуатации конструкции (агрессивная к бетону среда, эксплуатационные нагрузки, значительный поверхностный слой карбонизированного бетона, нарушение плотности защитного слоя бетона на участках с прородированной арматурой) основным методом оценки был принят ультразвуковой способ по ГОСТ 17624-2021, основанный на связи между прочностью бетона и

скоростью распространения в бетоне ультразвуковых импульсов. Для косвенного подтверждения правильности выбора были проведены испытания бетона склерометрическим методом по ГОСТ 22690 2015 с помощью склерометра (молоток Шмидта). Испытания проводились в местах, не имеющих значительного насыщения бетона арматурой. Поверхность бетона очищалась от слоя штукатурки и краски и выравнивалась. В качестве контактного слоя между поверхностями датчиков УЗ и бетона применялся технический солидол. База прозвучивания измерялась с точностью до 1 мм. Время распространения ультразвуковых импульсов определялось с помощью прибора «Пульсар-3». Количество измерений на одной конструкции проводилось не менее 4-х. Учитывая одинаковые условия эксплуатации конструкций, принимался выборочный метод оценки прочности.

В качестве значений прочности на участке принимались средние значения после предварительной обработки выпадающих результатов. Результат считался выпадающим и не учитывался в дальнейшем, если не удовлетворялось условие, принятого в [4].

Данные испытаний бетона в колоннах (средняя часть высоты) после обработки результатов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний ультразвуковым методом

№ п/п	l, мм база прозвучивания	τ, мкс	Скорость, с, м/сек.	R ⁿ , МПа, единичная прочность	Примечание
1	582	209,2	2782	R ⁿ =8,46 (x _{ср} =2733,8)	R ⁿ принято по таблице при с=1,78
2	580	212,0	2738		
3	580	230,6	2754		
4	585	208,0	2812		
5	585	209,0	2799		
6	585	207,7	2530		

Аналогичным методом была определена прочность в консолях колонн, значения которой равна Rⁿ=8,50 МПа; прочность в крайних колоннах Rⁿ=9,6 МПа.

Оценка прочности бетона производилась в последовательности: $\bar{R}=8,85$ МПа, коэффициент вариации $v = \frac{100}{8,85} \sqrt{\frac{0,8371}{2}} = 7,3\% < 10\%$.

Коэффициент K_T=0,57 согласно ГОСТ 18105.-2018.

Результаты склерометрических испытаний показывают значительное понижение прочности поверхностного слоя бетона. Учитывая высокую степень карбонизации, эти результаты не могут быть приняты для определения расчётных значений сопротивления бетона.

Заключение

В результате вышеизложенного предложены следующие виды усиления конструкций:

1. Усиление колонн фундаментов под котлы - разработка вариантов усиления требует определения несущей способности конструкций, поэтому эта тема следующей статьи;
2. Усиление ствола колонн – установление стальной обоймы из уголков. Применение метода обоймы позволит компенсировать снижение несущей способности колонн без проведения значительных ремонтных работ
3. Усиление балочных плит- рекомендуется производить укладкой армированного бетона, толщиной от 30 до 50мм на мелком гравии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003» Бетонные и железобетонные конструкции». Дата введения 20.06.2019 г. / Минстрой РФ//М.2018. - с.143
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М., Наука, 1971, с.576.
3. В.М. Москвин, Савина Ю. А., Алексеев С.Н. Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред//М., Стройиздат, 1975.- с.136.

4. Мощанский Н.А. Физико-химические основы стойкости бетонов. Автореф. диссертации. 1953г.
5. Годин А.М. Статистика: Учебник. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2006. – 42 с.

**KINETICS OF CORROSION PROCESSES IN CONCRETE
AND FITTINGS IN INDUSTRIAL ATMOSPHERE CONDITIONS
ENGINEERING STRUCTURES**

¹Khomyakova Irina Vasilyevna: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction

²Concedaeva Zhanna Grigoryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹irina.khoyakova@klgtu.ru; ²zhanna.kontsedaeva@klgtu.ru

The article analyzes the effect of sulfur dioxide and carbon dioxide on concrete in the atmosphere of boiler houses. The purpose of this work was to analyze the influence of the industrial atmosphere of boiler houses on the adhesion strength, anchoring and bearing capacity of concrete and reinforcement. The degree of aggressiveness of the industrial atmosphere environment and the degree of destructive changes in concrete have been established. The stages of corrosion development affecting concrete are given.

МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ И РАСЧЁТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

¹Хомякова Ирина Васильевна: канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства

²Узунова Лилия Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹irina.khomyakova@klgtu.ru; ²liliya.uzunova@klgtu.ru

Цель – принятие решений по усилению железобетонных и металлических конструкций, включая расчёты усиления. Это анализ методов усиления, принятых в результате обследования объектов, где осуществлялась эксплуатация конструкций в агрессивных средах, будь то в среде, наполненной газовыми выбросами или в среде, где присутствуют солевые и щелочные растворы. Методика усиления колонн и балок подтверждена расчётами. Представлено конструктивное усиление изгибаемых элементов.

1. Характерные дефекты конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах

На основании результатов обследования конструкций объектов химических производств [1] и котельных были сгруппированы дефекты и повреждения, которые влияют на нормальную эксплуатацию сооружений.

1.1. Колонны

Наиболее характерными и значимыми дефектами колонн являются продольные трещины бетона вблизи рабочей арматуры. Ширина раскрытия трещин более предельно допустимых и колеблется от 0,3-0,4 мм до 0,5-1,9 см. Тем не менее плотность защитного слоя бетона оставалась высокой. Это можно объяснить кольматацией порового пространства продуктами новообразований при химическом перерождения бетонов под действием агрессивной среды (газовой, соляной) Кольматация - это процесс просачивания или проникновение коллоидных частиц (в частности из промышленной атмосферы) в трещины железобетонных элементов и осаждение в них химических веществ, которые взаимодействуют с бетоном. Кроме этого, некоторые конструкции не имели специальную антикоррозионную защиту I и II видов.

В результате из-за периодических проливов технологических продуктов агрессивных к бетону в последних имеется коррозия как I вида, так и II. Коррозия в бетоне характеризовалась, как щелочная, т.к. деструктивные процессы, по всей видимости, развивались в результате интенсивной карбонизации щёлочи в порах бетона за счёт углекислоты и наличия испаряющихся поверхностей. Наряду с коррозией II вида (образование в цементном камне алюминатов натрия) отмечается накопление в порах поверхностей кристаллов $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ и развитие коррозии III вида, характеризующееся растрескиванием бетона на отдельные пластинки, в промежутках между которыми находятся скопления кристаллов соды. Наблюдались и срезы бетона по сечению наклонному к продольной оси (рис.1).

Отчётливо прослеживались следы коррозионного воздействия, частичная карбонизация защитного слоя, разрушение сжатой зоны бетона на глубину более 50мм и даже до 100мм. Также отмечалось значительное влагонасыщение бетона несущих элементов.

Существующие повреждения несущих железобетонных конструкций вызваны в основном действием щелочной коррозией бетона. Потеря несущей способности для случаев симметричного нагружения колонн при толщине разрушенного слоя от 30 до 150 мм составляет от 22% до 84%.

. Дальнейшая эксплуатация таких конструкций является опасной из-за возможного обрушения. Учитывая характер работы конструкций, условия эксплуатации и степень повреждений рекомендуется усиление колонн путём наращивания бетона или полимербетона по способу Литвинова

(колонны и стойки, находящиеся в условно работоспособном состоянии (рис.2)), или путём обрамления стоек прокатным листом и металлическими полосами (для стоек, находящихся условно работоспособном состоянии (рис.3)).



Рис. 1 Срез бетона по сечению наклонному к продольной оси.

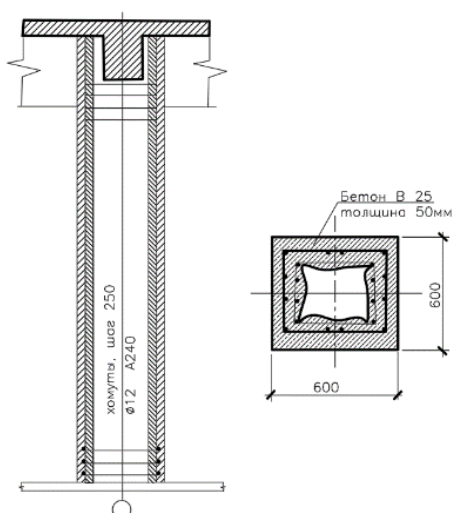


Рис. 2. Фрагмент схемы усиления колонны путем наращивания бетона

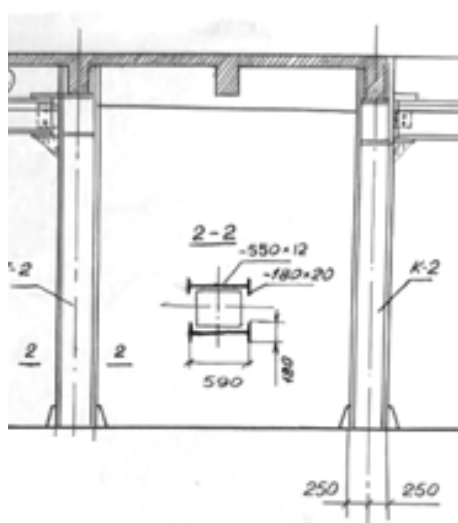


Рис. 3. Фрагмент схемы усиления колонны путём обрамления стоек прокатным листом и металлическими полосами

1.2. Расчёт стоек поперечной рамы

Производим расчёт стойки (самой дефектной) поперечной рамы. Максимальные значения расчётных усилий: $N_{\max}=1900\text{кН}$; $M=\pm 353,2\text{кНм}$.

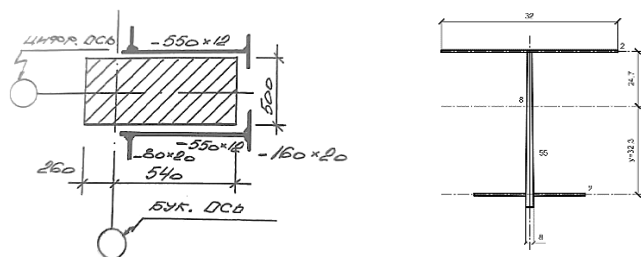


Рис. 4 Для расчёта стойки

Площадь принимаемых металлических элементов:

$$A_{for} = 32,2 + 55 \cdot 2,4 + 16,0 \cdot 2 = 228\text{см}^2,$$

$$S_{for} = 64 \cdot 56 + \frac{55^2}{2} \cdot 2,4 + 16,0 \cdot 2 \cdot 5 = 7374\text{см}^3,$$

Центр тяжести:

$$y_0 = \frac{7374}{228} = 32,34\text{см};$$

$$I_{for} = \frac{2,4 \cdot 55^2}{12} + 55 \cdot 2,4 \left(\frac{55}{2} - 32,3 \right)^2 + 64 \cdot 24,7^2 + 16,2 \cdot (32,3 - 5)^2 = 994324\text{см}^4,$$

$$W_H=3078,4\text{см}^3; \quad W_B=4025,6\text{см}^3;$$

Проверка напряжений:

$$\sigma = \frac{1900}{228} \pm \frac{35230}{3078} = 83 \pm 114 = 197 < 210\text{МПа}.$$

Устойчивость обеспечивается раскреплением элементов. Для средних стоек принято сечение по схеме, показанной на рис.3. Расчёт производился в такой же последовательности, как и выше представленный.

Для расчёта аварийных железобетонных колонн применялась методика усиления металлическими обоймами.

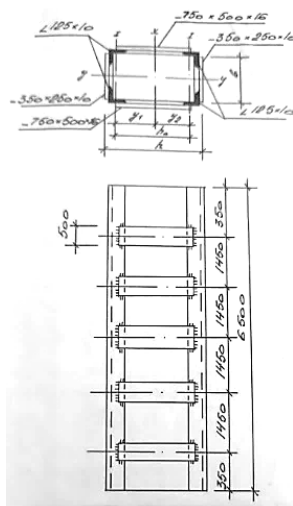


Рис. 5. К расчёту аварийных колонн

Сечение колонны 800x400 мм, высотой 6500 мм. Расчётная продольная сила $N=95,01$ т., $M=17,64$ тм, y_1 и y_2 – расстояние от центра тяжести сечения колонны до центра тяжести ветвей.

Продольные усилия определены по формуле:

$$N_B = N \frac{y}{h_0} \pm \frac{M}{h_0}, \quad (1)$$

В результате расчёта усилие $N=99$ т. Требуемая площадь сечения определялась по формуле:

$$F_B = \frac{N_B}{0,7 R_y}, \quad (2)$$

Площадь сечения $F_B=23,5$ см². По сортаменту были подобраны 4 уголка сечением 122x10мм.

Для четырёх уголков были определены геометрические характеристики сечения: $I_x=27902,7$ см⁴, $I_y=130934,7$ см⁴; $r_x=16,9$ см; $r_y=36,7$ см.

Гибкость стержня и коэффициент продольного изгиба, рассчитанных по известным формулам равны: $\lambda_x=38,5$; $\varphi_x=0,901$. Наибольшая длина ветви при $l_e < 40 \cdot r_e = 40 \cdot 3,85 = 154$ см.

Принято расстояние между центрами планок 165 см, что при высоте планки $d_{пл}=0,6l_{пл}=50$ см дает расчётную длину ветви в свету $l_e=115$ см, тогда:

$$\lambda_{B1}=115/3,85=30; \quad \varphi_{B1}=0,901.$$

Приведённая гибкость колонны относительно оси у-у и соответствующий ей коэффициент продольного изгиба φ_y .

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{B1}^2} = 34,9; \quad \varphi_y=0,920.$$

Устойчивость усиления проверялась по формулам:

$$\sigma = \frac{N_{B1}}{\varphi_x \cdot F_{B1}} = 157,5 \text{ МПа} < 210 \text{ МПа};$$

$$\sigma = \frac{N_{B1}}{\varphi_y \cdot F_{B1}} = 161,0 \text{ МПа} < 210 \text{ МПа};$$

Согласно расчётам толщина соединительных планок равна 1,6см. $Q_{усл}=19,4$ кН.

Усилия в планках определялось по формуле:

$$T_{пл} = \frac{Q_{усл} \cdot l}{2c}, \quad (3)$$

$$T_{пл}=44,45 \text{ кН. } M_{пл} = \frac{Q_{усл} \cdot l}{4} = 0,8 \text{ тм.}$$

Задавшись толщиной швов крепления к ветвям, $h_{шв.}=0,8$ см определили:

$$\sigma_{пл} = \frac{6M_{пл}}{0,7} = 34 \text{ МПа};$$

$$t_{ш} = \frac{T_{пл}}{0,7 \cdot h_{ш} \cdot d_{пл}} = 15,88 \text{ МПа.}$$

Равнодействующее усиление:

$$\sigma_{ш} = \sqrt{\sigma_{пл}^2 + t_{ш}^2} = 37,5 < R_y^{CB} = 150 \text{ МПа.}$$

Таким образом, окончательно принято усиление в виде 4 -х уголков 125x10, планки вдоль оси у-у -750x500x16, вдоль оси х-х - 350x250x10, толщина сварного шва -8мм.

Расстояние между центрами планок 1450 мм.

2. Изгибаемые элементы

Значительные разрушения железобетонных балок наблюдались там, где ярко выраженные следы протечек соляной кислоты (в цехе химических производств) и воздействие значительных концентраций углекислого и серного газов в котельных. (рис.6). В таких конструкциях были отобраны образцы бетона.

Структурные изменения бетона оценивались путём определения параметров влажности, плотности и пористости и т.д.

Ранее было высказано предположение, что изменения в бетоне вызваны кольматацией порового пространства продуктами новообразований и это обстоятельство позволяет с определённой осторожностью подходить к результатам определения поверхностной прочности склерометрическими методами. Значительная пористость бетона перекрытия вызвана значительной его деградацией из-за технологического и конденсационного переувлажнения и агрессивности внешней среды.

Результаты спектрального анализа бетона, имеющего повреждения в сжатой и растянутой зонах балок показал значительные изменения уровня и характера структурных связей.

Поэтому, эти существенные повреждения изгибаемых железобетонных несущих конструкций свидетельствуют об опасности обрушения и требовали немедленной разгрузки и устройства временных креплений.



Рис. 6. Щелочная коррозия бетона балок и плит

2.1. Расчёт усиления железобетонной балки

Нагрузки аварийного режима на перекрытие. Собственный вес перекрытия на 1 м^2 . Высота конструкции пола и плиты перекрытия – 20 см с нагрузкой $-5,1\text{ кН/м}^2$, собственный вес главной балки (на 1 м) - $4,6\text{ кН/м}$; собственный вес второстепенной балки – $1,53\text{ кН/м}$. Линейная нагрузка на главную балку от собственного веса $-30,11\text{ кН/м}$. Сосредоточенная нагрузка осей второстепенных балок – $7,65\text{ кН}$. Временная нагрузка на перекрытие в виде сосредоточенных сил по главным балкам -75 кН .

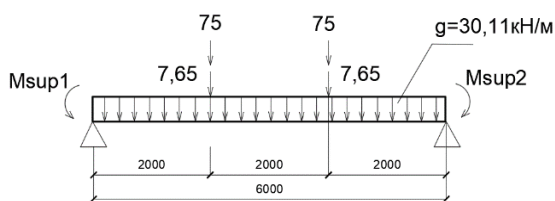


Рис.7. Расчётная схема главной балки

С учётом разрушения, при образовании пластических шарниров $M_{\text{sup}1} = M_{\text{sup}2} = M_{\text{sup}} = 2M_0$, по формуле $M_0^a = \frac{g_{\text{ser}} l^2}{8} + \sum P_i a = 300,8\text{ кНм}$.

Расчётные усилия от аварийной нагрузки на замещающую раму с учётом собственного веса элементов усиления $M_0 = 371,013\text{ кНм}$.

Требуемое сечение стального проката для ригеля заменяющей рамы под главную балку:
 $W_{\text{red}} = \frac{M_0}{R_y} = 883,4\text{ см}^3$.

Принимаем швеллер №36 ($W_x = 743\text{ см}^3$), учитывая соотношение жесткостей стойки и ригеля.

2.2. Усиление ребристого железобетонного покрытия

Конструктивные элементы (плиты, второстепенные и главные балки) имеют различную степень долговечности. Это обусловлено, как условиями эксплуатации, так и конструктивными различиями. При эксплуатации их не в агрессивных средах, но при повышенных технологических нагрузках в первую очередь предельных состояний достигают главные и второстепенные балки, если отсутствуют сосредоточенные нагрузки. Эксплуатация при сочетании повышенных нагрузок и неблагоприятной внешней среды приводит вначале к коррозии арматуры, увеличения прогибов, наличия силовых трещин. Учитывая различную степень потери надёжности эксплуатации элементов покрытия, было принято решение конструктивно усилить те конструкции, в которых имелись наибольшие дефекты. Полное усиление железобетонной ребристой плиты покрытия было решено производить укладкой армированного бетона толщиной от 30 до 50 мм на мелком гравии. Для армирования рекомендована сетка диаметром рабочих стержней 8 мм (в рабочем направлении) и диаметром 5-6 мм распределительной арматуры.

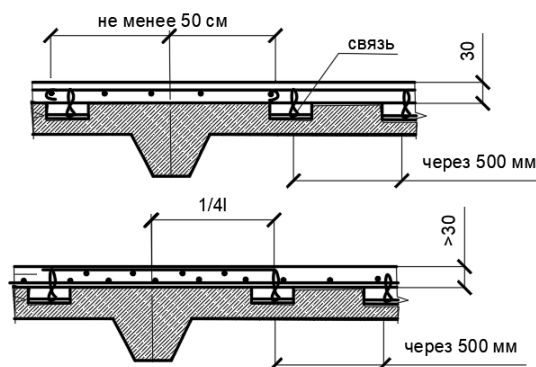


Рис. 7. Способы усиления плит

Заключение

Анализ дефектов объектов химических производств и котельных позволяет считать, что:

– при проектировании объектов (в основном) химических производств не удалось обеспечить жесткого защемления колонн в стаканах фундамента. Опыт эксплуатации каркасных зданий и сооружений показывает, что защемление гарантируется глубиной заделки $h_3 \geq 1,5h$, где h высота сечения колонны. Хотя действующие нормы проектирования и допускают принимать $h_3 \geq 1,5h$, но следует учитывать, что бетоны пятидесятих годов изготавливались на гравии при значительной потребности в песке и отмечались не высокими упругими свойствами (согласно проектной документации).

– согласно нормативным документам того времени (НиТУ 123-55), по какому было произведено проектирование, расчётная длина колонн при применении их по прямому назначению составляла $0,7l$, тогда как для эстакадных колонн, где были и определены значительные дефекты, на наш взгляд, должна приниматься расчётная длина $2l$. Что и привело к недопустимому увеличению гибкости (см. расчёты).

– такое увеличение гибкости внецентренно сжатых колонн вызвало неопозволительное развитие деформаций изгибаемых элементов и, как следствие, рост прогибов.

– принято усиление, как сжатых элементов (колонн), так и изгибаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомякова И.В. Обследование несущих строительных конструкций корпуса химических производств [Текст]/ Обследование несущих строительных конструкций корпуса химических производств (научная статья) И.В. Хомякова И.В., Э.В. Боркин// материалы XI Международного Балтийского морского форума 25-30 сентября 2023 года [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 6. IV Национальная научная конференция; «Архитектура, строительство и инженерные коммуникации» / Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023– С. 311-315.

2. Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций здания и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85)/ ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова. - М.: Стройиздат, 1989.

3. Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.11-85)/ НИИЖБ. - М.: ЦИТП, 1989.

METHODS OF STRENGTHENING AND CALCULATION OF BUILDING STRUCTURES OPERATED IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

¹Khomyakova Irina Vasilyevna: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction

²Uzunova Liliya Vladivirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹irina.khoyakova@klgtu.ru; ²liliya.uznova@klgtu.ru

The purpose of this work is to make decisions on strengthening reinforced concrete and metal structures, including strengthening calculations. This is an analysis of strengthening methods adopted as a result of surveys of objects where operation is carried out in aggressive environments, whether in an environment filled with gas emissions or in an environment where salt and alkaline solutions are present. The method of strengthening columns and beams is confirmed by calculations. Structural strengthening of bending elements was presented.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

¹Шестаков Роман Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства

²Матвеева Юлия Сергеевна, заместитель начальника службы эксплуатации газопроводов № 1

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: shestakov@r-shestakov.ru

²АО «МОСГАЗ», Москва, Россия, e-mail: yulia2@yandex.ru

Жизнь современного города и поселения сложно представить без использования природного газа. Этот ценный и относительно недорогой природный ресурс применяется повсеместно: как в быту отдельного домохозяйства, так и в промышленности. Цель – моделирование гидравлики процесса проведения ремонтных работ, проводимых на газовых сетях низкого давления без отключения потребителей от газоснабжения. Тема актуальна для любого газоснабжающего предприятия. Выводы и результаты представленной работы могут быть применены на практике.

Природный газ является одним из самых дешевых и экологичных энергоносителей, поэтому его использование находит широкое применение как в промышленности, так и в сфере бытового обслуживания жилых и общественных зданий [1].

Природный газ подается к простым потребителям – жилым домам, общественным зданиям и объектам коммунально-бытового назначения – по сети газопроводов низкого давления, в которые природный газ поступает из газопроводов газораспределительных сетей среднего и высокого давления через газораспределительные станции (ГРС), газораспределительные пункты (ГРП) и регуляторы шкафные блочные газовые (ШБДГ), на которых идет понижение давления и поддержание его величины на заданном уровне на выходе из них соответственно [2-5].

Главная задача газоснабжения, которая стоит перед любым газоснабжающим предприятием – это безаварийная и бесперебойная подача ресурса потребителям [6-8]. При этом ежедневно на городских газовых сетях осуществляются различные виды ремонтных работ, проведение которых связано с риском отключения потребителей от газоснабжения.

В настоящее время ремонт участков или замена оборудования на газопроводах низкого давления осуществляется двумя способами: с отключением и без отключения потребителей от газоснабжения. После проведения ремонтных работ с отключением потребителей от газоснабжения обязательно производится перепуск газа в домах и у коммунально-бытовых потребителей сотрудниками службы внутридомового газового оборудования, что обеспечивает исключение газозадушенной смеси во внутридомовых газопроводах. Соответственно проведение ремонтных работ с отключением потребителей от газоснабжения существенно увеличивает срок проведения данных работ.

Проведение ремонтных работ на газопроводе низкого давления без отключения потребителей от газоснабжения возможно также двумя способами. Первый способ возможен только в кольцевой системе газоснабжения, когда газ подается потребителю сразу в двух направлениях, что исключает возможность прекращения подачи ресурса потребителю. Второй способ используется в тупиковой схеме газоснабжения. При применении этого способа для обеспечения бесперебойности газоснабжения необходима установка байпасного устройства (далее байпаса), по которому газ будет подаваться к потребителям, минуя ремонтируемый участок (рисунок 1).

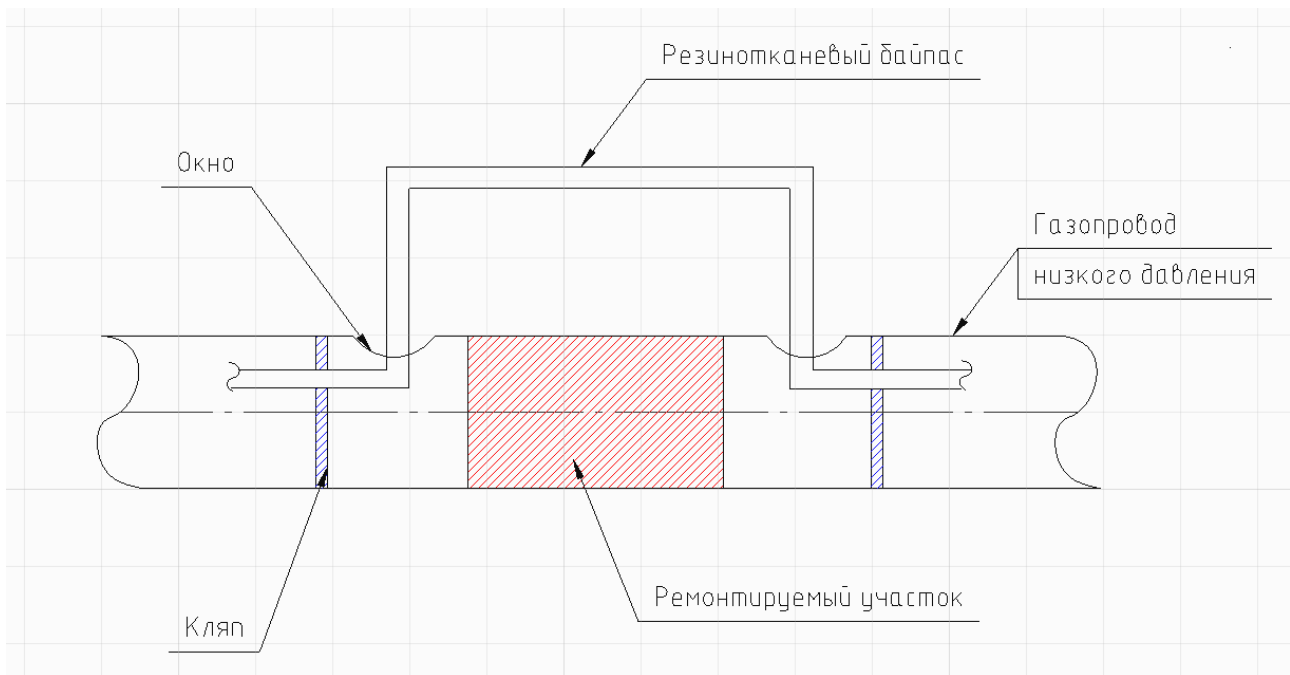


Рис. 1. Схема установки байпаса на ремонтируемом участке газопровода

Однако, при использовании данного способа возникает несколько вопросов. Какого диаметра и какого типа (металлический или резинотканевый) байпас использовать при выполнении работ? На практике, для установки байпаса обычно подбирают диаметр байпаса с запасом, так сказать по наитию и исходя из производственного опыта для того, чтобы не отключить потребителей от газоснабжения. Однако, выбор байпаса таким образом без гидравлического расчета порождает две проблемы. Во-первых, установка байпаса с запасом по диаметру, а значит неоправданно большего диаметра чем необходимо, является неудобным для ремонтной бригады, а в некоторых случаях приходится даже использовать спецтехнику. Во-вторых, что самое главное, при выборе байпаса отсутствует его точный гидравлический расчет и не определен тот расход газа, который может обеспечить выбранный байпас, что как следствие может привести к прекращению газоснабжения домов или аварийному отключению ГРП. Чтобы ответить на возникшие вопросы, необходимо составить математическую модель для гидравлического расчета байпаса.

Для начала рассмотрим простую математическую модель без учета местных сопротивлений на трение, которая описывается следующей формулой [9]:

$$p^2(x) = p^2(0) - \frac{16 \cdot M^2 \cdot \lambda \cdot z \cdot R \cdot T}{\pi^2 \cdot d^5} \cdot x, \quad (1)$$

где $p^2(x)$ – давление газа в байпасе в сечении x , Па;

$p^2(0)$ – давление газа на входе в байпас, Па;

M – коммерческий расход газа в байпасе, м³/с;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления потока газа;

Z – коэффициент сверхсжимаемости газа;

T – температура газа, К;

d – внутренний диаметр байпаса, м;

R_0 – универсальная газовая постоянная, равная 8314,463 Дж/(моль·К);

x – координата сечения по длине байпаса, м.

Ниже, на рисунке 2 представлена расчетная схема байпасного устройства на ремонтируемом газопроводе, места установки байпаса обозначены как сечение 1 и сечение 2.

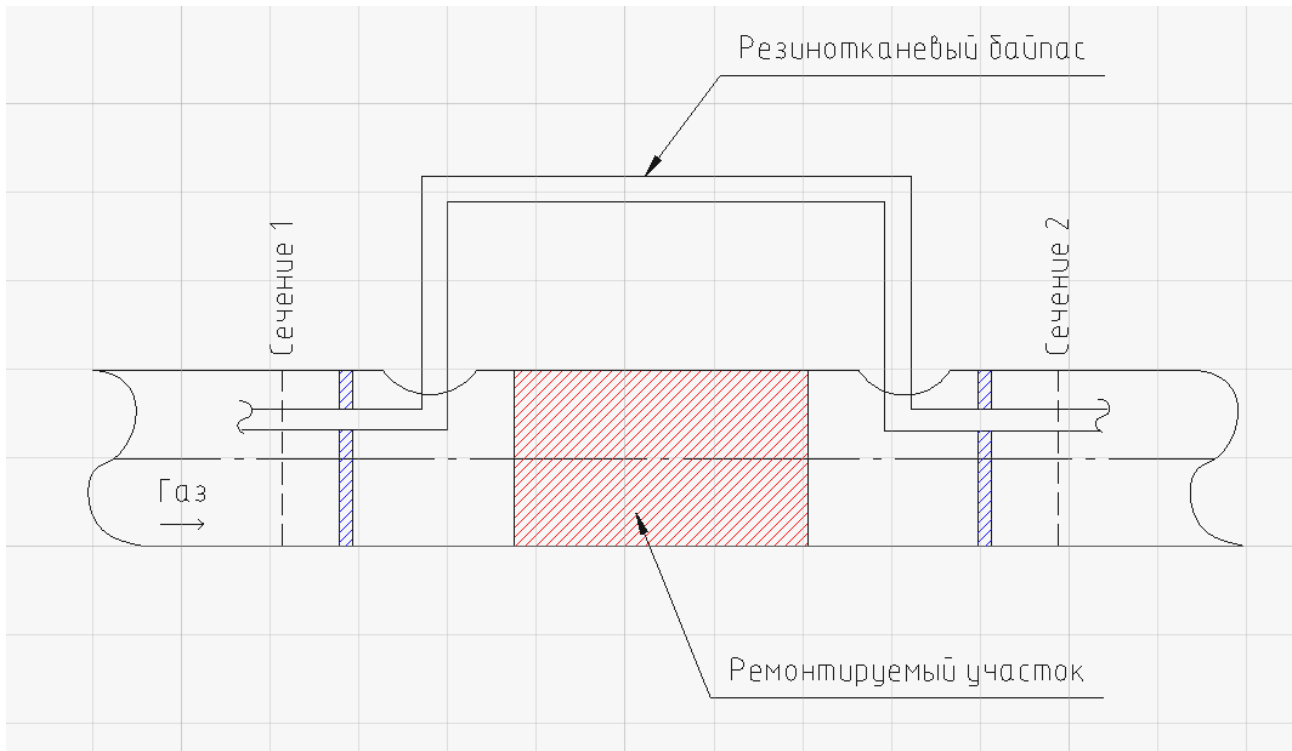


Рис. 2. Схема для расчета байпасного устройства

Давление газа в сечении 1 – **начальное давление** p_n на входе в байпас примем 200 мм.вд.ст. Данная величина обусловлена давлением на выходе из ГРП/ШБДГ.

Давление газа в сечении 2 – **конечное давление** p_k на выходе из байпаса рассчитываем по формуле (2), применяя метод итераций.

$$p_k^2 = p_n^2 - \frac{16 \cdot M^2 \cdot \lambda \cdot Z_{cp} \cdot R_0 \cdot T_{cp} \cdot L}{\pi^2 \cdot d^5} \quad (2)$$

где L – длина байпаса, м.

Коэффициент сверхсжимаемости газа Z_{cp} вычисляется для всех условий и сечений, что связано с падением давления при перекачке газа по байпасу. Коэффициент сверхсжимаемости z , который является функцией двух параметров – приведенного давления \bar{p} и приведенной температуры \bar{T} , находим по следующим аппроксимационным формулам (3)-(5):

$$z(\bar{p}, \bar{T}) \cong 1 - 0,0241 \cdot \frac{\bar{p}}{\theta} \quad (3)$$

$$\theta = 1 - 1,68 \cdot \bar{T} + 0,78 \cdot \bar{T}^2 + 0,0107 \cdot \bar{T}^3 \quad (4)$$

$$\bar{p} = \frac{p_{ст.у.}}{p_{кр}}, \bar{T} = \frac{T_{ст.у.}}{T_{кр}} \quad (5)$$

где $p_{ст.у.}$ – давление газа при стандартных условиях, Па;

$p_{кр}$ – критическое давление газа, Па;

$T_{ст.у.}$ – температура газа при стандартных условиях, К;

$T_{кр}$ – критическая температура газа, К.

Средняя плотность газа ρ_{cp} вычисляется по формуле (6) [10]:

$$\rho_{cp} = \frac{p_{cp} \cdot \mu}{Z_{cp} \cdot R_0 \cdot T_{cp}} \quad (6)$$

где p_{cp} – среднее давление газа, Па.

Природный газ представляет собой смесь различных газов, которые входят в нее с различными массовыми концентрациями. **Молярная масса μ газа (кг/кмоль)** и **критические параметры $p_{кр}$ и $T_{кр}$** газовой смеси в первом приближении рассчитывают по аддитивным формулам (7)-(9) или как средневзвешенные величины [10].

$$\mu = \sum_{i=1}^{i=n} c_i \cdot \mu_i, \quad (7)$$

$$p_{кр} = \sum_{i=1}^{i=n} c_i \cdot p_{кр,i}, \quad (8)$$

$$T_{кр} = \sum_{i=1}^{i=n} c_i \cdot T_{кр,i}, \quad (9)$$

где $p_{кр,i}$ – критическое давление i -го компонента газа, Па;

$T_{кр,i}$ – критическая температура i -го компонента газа, К;

c_i – объемная концентрация i -го компонента газа, %;

μ_i – молярная масса i -го компонента газа, кг/кмоль.

Скорость газа в байпассе v определяем по формуле (10):

$$v = \frac{4 \cdot Q_{ср}}{\pi \cdot d^2} \quad (10)$$

Число Рейнольдса Re находим по формуле:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\vartheta} \quad (11)$$

где ϑ – кинематическая вязкость газа, м²/с.

Объемный расход газа $Q_{ср}$ при средних давлении и температуре в байпасе вычисляется по формуле:

$$Q_{ср} = \frac{M}{\rho_{ср}}. \quad (12)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления λ можно вычислить по следующим правилам. Если течение жидкости в трубопроводе – ламинарное (число Рейнольдса ≤ 2320), то для вычисления λ используется точная **формула Стокса**:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (13)$$

В области переходного течения от ламинарного к турбулентному, то есть в диапазоне чисел Рейнольдса от 2320 до 10⁴, можно использовать, например, аппроксимационную **формулу Гинзбурга**:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \cdot (1 - \gamma) + \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \cdot \gamma, \quad (14)$$

где γ – коэффициент перемежаемости: $\gamma = 1 - e^{-0,002 \cdot (Re - 2320)}$.

По мере увеличения скорости течения, а следовательно, и числа Рейнольдса ($Re > 10^4$) течение жидкости в трубопроводе можно считать достаточно развитым. Существует множество теоретических и экспериментальных формул для вычисления коэффициента гидравлического сопротивления λ , возьмем одну из них, дающую достаточно хорошее приближение – **формулу А.Д. Альтшуля**:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\varepsilon + \frac{68}{Re} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (15)$$

Эта формула справедлива в широком диапазоне чисел Рейнольдса от 10^4 до 10^6 и выше. Вычислив значения всех переменных, входящих в формулу (2), определяем значение p_k . При второй и последующих итерациях среднее давление p_{cp} находим по формуле:

$$p_{cp} = \frac{2}{3} \cdot \left(p_0 + \frac{p_k^2}{p_H + p_k} \right). \quad (16)$$

Итерации проводим до тех пор, пока разность между p_{cp} при первой и последующей итерациях будет равным или меньшим принятой погрешности.

Таблица 1

Численные значения λ , v и p_k для моделей без и с учетом местных сопротивлений

Q_{cp} , м ³ /ч	Модель байпаса с учетом местных сопротивлений			Модель байпаса без учета местных сопротивлений			Разница численных значений моделей, Па
	v , м/с	λ	p_k , Па	v , м/с	λ	p_k , Па	
1	0,97	0,033	103 318	0,97	0,036	103 319	-1
2	1,94	0,029	103 298	1,94	0,030	103 302	-4
3	2,91	0,028	103 269	2,90	0,028	103 276	-7
4	3,88	0,027	103 226	3,87	0,027	103 241	-15
5	4,85	0,027	103 172	4,84	0,027	103 196	-24
6	5,82	0,026	103 108	5,81	0,026	103 143	-35
7	6,79	0,026	103 033	6,78	0,026	103 080	-47
8	7,76	0,026	102 946	7,76	0,026	103 008	-62
9	8,73	0,025	102 848	8,73	0,025	102 926	-78
10	9,71	0,025	102 739	9,70	0,025	102 835	-96
11	10,69	0,025	102 618	10,65	0,025	102 735	-117
12	11,71	0,025	102 486	11,66	0,025	102 626	-140
13	12,70	0,025	102 343	12,63	0,025	102 507	-164
14	13,69	0,025	102 189	13,61	0,025	102 379	-190
15	14,69	0,025	102 022	14,60	0,025	102 241	-219
16	15,70	0,025	101 845	15,58	0,025	102 094	-249
17	16,71	0,025	101 656	16,57	0,025	101 938	-282

Численное моделирование гидравлических процессов при проведении ремонтных работ на газопроводе низкого давления без отключения потребителей от подачи природного газа методом установки байпасного устройства в технологическое окно, устроенное на действующем газопроводе, проводилось для стационарных условий подачи газа, т.е. без учета переходных процессов подачи газа, возникающая в момент установки байпасного устройства.

Исходя из этого следует, что учет местных гидравлических сопротивлений, возникающих при установке байпасного устройства, существенно влияет на величину падения давления и отражает более точно вероятность отключения потребителей от газоснабжения, что крайне нежелательно согласно нормам эксплуатации газовых сетей.

Поэтому актуальным является создание методических рекомендаций по определению требуемого диаметра байпаса при заданных расходах газа и протяженности байпаса, а также разработка методов и устройств, способных контролировать перепад давления на байпасном устройстве и обеспечивающее снижение влияния нестационарности процесса, а также человеческого фактора при проведении ремонтных работ на газовых сетях низкого давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Традиционная углеводородная энергетика в рамках устойчивого развития / Д. И. Дауди, Г. И. Рожнятовский, С. И. Нуржиц и др. // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 5(101). – С. 94-101.
2. Ионин А. А. Газоснабжение: учеб. для вузов. – 4-е изд., переаб. и доп. – М.: Стойиздат, 1989. – 439 с.
3. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032042?ysclid=m0un83objg769302973> (дата обращения: 11.07.2024).
4. СП 62.13330.2011* Газораспределительные системы // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084535?ysclid=m0p3is215k436479101> (дата обращения: 04.08.2024).
5. Использование инновационных технологий и материалов в транспортировке природного газа / Ю. А. Орехова, И. В. Орехова, Ю. С. Матвеева // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции, Казань, 28–29 февраля 2020 года. Том Часть 1. – Казань: ООО "Конверт", 2020. – С. 139-141.
6. Аспекты технологической надежности газораспределительных сетей / В. А. Петряков, М. Ю. Земенкова, А. М. Куликов и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-3. – С. 5.
7. Современная многоуровневая система управления надежностью газораспределительных сетей / В. А. Петряков, М. Ю. Земенкова, А. Н. Шиповалов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S36. – С. 21-28.
8. Кускильдин Т. Р., Дмитриев М. Е., Мастобаев Б. Н. Актуальные проблемы развития газовых сетей и основные направления повышения эксплуатационной надежности газораспределительных систем // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2016. – № 3. – С. 40-45.
9. Лурье М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2012. – 456 с.
10. Газовое оборудование, приборы и арматура газораспределительных сетей и газохранилищ / К. А. Акулов, Ю. Д. Земенков, А. Н. Гульков и др. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2016. – 317 с.

MODELING THE OPERATION OF LOW-PRESSURE GAS DISTRIBUTION NETWORKS DURING REPAIR WORK

¹Shestakov Roman Alexeevich, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Candidate of Technical Sciences

²Matveeva Iuliia Sergeevna, Deputy Head of the Gas Pipeline Operation Service No. 1

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: shestakov@r-shestakov.ru

²"MOSGAZ", Moscow, Russia, e-mail: yulia2@yandex.ru

It is difficult to imagine the life of a modern city and settlement without the use of natural gas. This valuable and relatively inexpensive natural resource is used everywhere both in the household of an individual household and in industry. The purpose of this work is to simulate the hydraulics of the repair work carried out on low-pressure gas networks without disconnecting consumers from the gas supply. This topic is relevant and topical for any gas supply company. The conclusions and results of the presented work can be applied in practice.

II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «БАЛТИЙСКИЙ ЯНТАРЬ И СМОЛЫ МИРА»

II INTERNATIONAL RESEARCH AND PRACTICAL CONFERENCE "BALTIC AMBER AND RESINS OF THE EARTH"

УДК 543.421;424

БАЛТИЙСКИЙ ЯНТАРЬ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИКВИДНОГО СЫРЬЯ В РФ

¹Булычев Александр Григорьевич, канд. хим. наук, доцент кафедры химии

²Воротников Борис Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой химии

³Якута Сергей Антонович, канд. техн. наук, доцент

⁴Богданова Елизавета Сергеевна, студентка 3 курса направления «Пищевая биотехнология»

⁵Мещеряков Алексей Николаевич, начальник отдела

^{1,2,3,4}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹a_bulychev@mail.ru; ²vorotnikov@klgtu.ru;

³sergej.yakuta@klgtu.ru

⁵Экспертно-криминалистическая служба – региональный филиал ЦЭКТУ,
Калининград, Россия, e-mail: mescheryakovan@ca.customs.gov.ru

Отмечается, что многие исследователи продолжают изучать биологическую активность янтаря и ископаемых смол. Проводится анализ направлений, в которых возможно использовать неликвидный янтарь, в том числе проводится обзор рынка так называемой «янтарной косметики». Делается вывод, что существующий ассортимент продуктов переработки отходов янтарной отрасли РФ ограничен, хотя свойства Балтийского янтаря дают возможность его расширения.

Введение

В основном Балтийский янтарь, добываемый в Калининградской области, используется для ювелирных изделий и декоративно-прикладного искусства. После его обработки остается большое количество отходов, которые являются ценным, натуральным, недорогим, потенциально биоактивным сырьем для медицины и косметики.

Стратегия развития янтарной отрасли также предусматривает глубокую переработку янтарного сырья, в том числе эффективную утилизацию мелкого неликвидного янтаря, в продукты, которые востребованы в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и медицины. [1].

Изучение свойств и химического состава балтийского янтаря (сукцинита) продолжается с тех пор, как эта ископаемая смола стала известна человеку. В настоящее время большинство исследователей считают, что это очень сложная смесь надмолекулярной структуры, состоящая из макромолекулярных и низкомолекулярных компонентов. Существуют теории, что основным компонентом полимерной структуры сукцинита является абиетиновая кислота и ее димер [2.]

Биоактивные соединения янтаря и примеры использования неликвидного сырья

Низкомолекулярные соединения могут быть закрыты в клатратах. В растворимой фазе находятся в основном монотерпены и их производные, поскольку они встречаются в смоле, тогда как нерастворимая фаза состоит из полимеров смоляных кислот и дитерпенов. Благодаря наличию различных функциональных групп, связанных со смолой (например, гидроксильных), полимерные цепи могут быть сшиты, например, с янтарной кислотой. Ряд компонентов янтаря были идентифицированы. Однако эта работа продолжается.

В работе польских исследователей разделили идентифицированные компоненты сукцинита на восемь групп:

1. ненасыщенные монотерпены (камфен, лимонен, α -пинен, β -пинен),
2. ароматические монотерпены (p -цимол),
3. монотерпеновые спирты и их эфиры (фенхол, изоборнеол, борнеол, борнилацетат, терпинен-4-ол),
4. монотерпеновые кетоны (фенхон, камфора, пулегон),
5. монотерпеновые эфиры (эвкалиптол),
6. полициклические соединения и их производные (абиетиновая кислота, коммуникова кислота, пимаровая кислота, изопимаровая кислота,
7. абиета-7,13-диен, α -амирин, β -амирин),
8. янтарная кислота и эфиры жирных кислот (метилпальмитат).

Эти компоненты могут быть закрыты в клатратах и высвободиться из структуры смолы, например, таким растворителем, таким как спирт.

Многие компоненты янтаря проявляют различные виды биологической активности, как например, антиоксидантная активность, проявляют антимикробные, противогрибковые, нематцидные, противовирусные, противовоспалительные, репеллентные и инсектицидные свойства. Следует отметить, что янтарная кислота оказывает седативное действие и подавляет анафилаксию. [3] Авторы делают вывод, что наиболее разумно применять положительную биологическую активность янтаря и его производных в косметике и фармацевтике.

В связи с этим следует отметить, что проводятся исследования, направленные сравнение экстрактивных характеристик янтаря из различных месторождений. [4]. Ведутся работы по повышению эффективности извлечения низкомолекулярных компонентов из янтаря [5]

Интересным направлением является получение и исследование материала для укоренения растений *in vitro* на основе высокодисперсного полиакриламидного гидрогеля, обогащенного янтарным порошком [6].

Также следует отметить такую статью, в которой разрабатывается метод сорбционной иммобилизации фермента α -амилазы на янтарной пудре. [7]

Поиск новых биологически активных соединений ведётся в других ископаемых смолах и сравниваются эти свойства с Балтийским янтарём. В этом отношении следует отметить сообщение японских исследователей, [8]

Как уже отмечалось выше, одним из перспективных направлений использования неликвидного янтаря является косметика.

Термин «косметика» охватывает широкий спектр продукции и относится к любому предмету, который наносится на тело с целью его изменения, будь то внешний вид, текстура, запах и т.д. В современном мире каждый человек знаком с косметикой. Косметика, согласно толковому словарю русского языка – это искусственное придание красоты лицу, телу, поддержание их здорового состояния, свежести [9].

Многие применяют её для самовыражения или для повышения самооценки. В наши дни косметика стала ещё и способом заработка. Объем мирового рынка косметики в 2023 году оценивался в 426,4 млрд долларов США. Объем рынка будет расти со среднегодовым темпом роста 6,88% в период с 2023 по 2033 год. Ожидается, что к 2033 году объем мирового рынка косметики достигнет 829,2 млрд долларов США. [10]

История косметики начинается одновременно с историей человечества. Еще в Древнем Египте женщины украшали свое лицо подводкой с помощью угля и сурьмы, и уже тогда хороший макияж считался искусством [11]

Однако кроме искусства, чувства вкуса и мастерства, важную роль играли материалы, которыми пользовались. И в этой части без знания химии было уже не обойтись. Косметическая химия, как наука формировалась на рубеже 18 и 19 веков. Начало XIX века стало временем формирования отраслей, происходящих от фармации и требующих знания материалов растительного происхождения. Это были: токсикология, броматология и косметология. Последняя стала на научный путь благодаря прогрессу в ботанике и фармацевтической химии. В косметических работах начала XIX века с достаточной точностью можно идентифицировать ряд видов или родов косметических растений [12].

Развитие косметологии в России проходило в несколько этапов, чередовались периоды процветания и упадка, в основном связанными с политическими событиями в стране. Осенью 1908 года в Москве обществом врачей и химиков был создан кружок, в скором времени преобразованный в Первый Московский Институт Врачебной косметики (1909). Его создатели ставили перед собой задачу дать возможность русской публике получать на Родине те продукты, за которыми приходилось ездить за границу, и развить те способы гигиенического ухода за красотой тела, которые бы имели научное обоснования. Ими выделялись: гигиеническая косметика, целью которой было сохранять чистоту тела, врачебная косметика - нечто среднее между гигиеной и лечением, и «научная косметика искусство сохранять и улучшать природную красоту не вредя никакой ткани организма» [13]

Исследование рынка янтарной косметики

Все ингредиенты, которые используют в косметических препаратах можно разделить на три группы. Первая функциональные ингредиенты, который действительно обеспечивает желаемый эффект для пользователя продукта. Например, ароматизаторы, эмульгаторы, пенообразователи, красители, увлажняющие вещества и др.

Вторая группа это эстетические ингредиенты, которые влияют на внешний вид, ощущение и общий вид косметического продукта. Это загустители, растворители, регуляторы pH. В эту же категорию можно отнести и компоненты из уникальных природных объектов.

Третья группа это заявленные ингредиенты которые добавляются в небольших количествах в маркетинговых целях. Они, как правило, не оказывают практически никакого влияния на функциональность или внешний вид косметики, но при этом рекламируются как ключевой ингредиент в косметическом продукте, чтобы побудить потребителей покупать продукт

Для своих исследований мы использовали такие методы, как информационный и, в качестве инструментального метода, метод ИК-спектроскопии.

Были изучены состав янтарной косметики в торговой сети г. Калининграда. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состав янтарной косметики

Наименование косметического продукта	Есть наличие янтарных продуктов в косметике
Маска для волос –	Янтарная кислота
Твердый шампунь -.	Янтарная кислота, янтарное масло
Масло для волос-	Янтарное масло
Гель для душа -.	Янтарная кислота
Шампунь «Рост и сияние» -.	Янтарная кислота
Маска для лица –	Янтарная кислота и янтарная пудра из белого королевского янтаря/пудра из черного янтаря
Зубная паста.	Пудра янтарная
Мицеллярная вода –.	Янтарная кислота
Пенка для умывания -	Янтарная кислота
Бальзам для волос.	Янтарная кислота
Тоник для лица.	Янтарная кислота
Мыло-	Янтарь, янтарная кислота
Скраб для тела.	Янтарная пудра/ Янтарная кислота
Крем-уход для кожи вокруг глаз.	Янтарная кислота
Крем для лица	Янтарная кислота

Наименование косметического продукта	Есть наличие янтарных продуктов в косметике
Гидрофильное масло	Янтарная кислота
Крем для ног.	Янтарная пудра
Масло для тела.	Янтарное масло, янтарь
Янтарное масло «Биостимулятор»	Концентрат янтарного масла, натуральный балтийский янтарь

Из приведенных в таблице данных можно сделать вывод о том, что в составе, косметических продуктов содержатся: янтарная кислота, янтарная пудра, янтарное масло, янтарь.

С помощью метода ИК-спектроскопии исследовали такие образцы косметической продукции как:

- Янтарная пудра;
- Янтарная кислота (биодобавка);
- Янтарное мыло с кусочками янтаря;
- Янтарное джем-мыло.

На рисунках ниже приведены спектры данной продукции.



Рис. 1. Ик-спектр янтарной пудры



Рис. 2. Ик-спектр кусочка янтаря из мыла

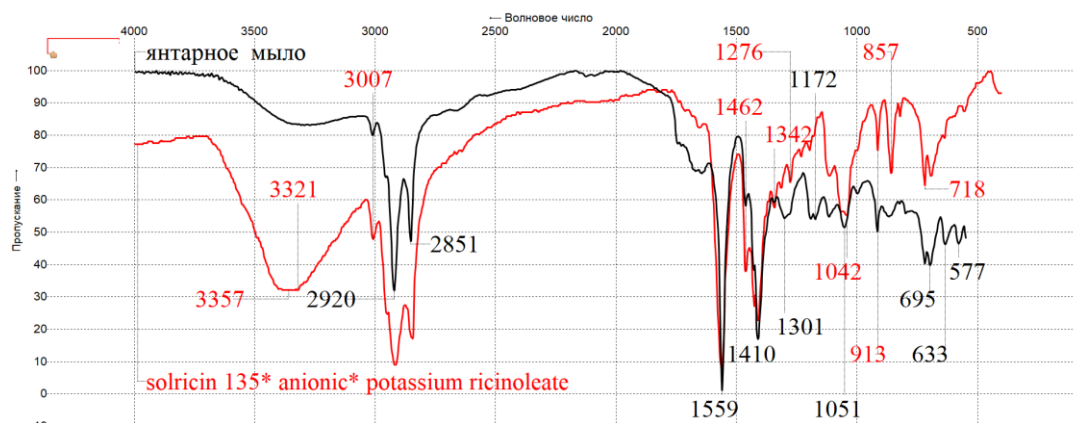


Рис. 3. Ик-спектр янтарного мыла



Рис. 4. Ик-спектр янтарной кислоты (биодобавки)

Так же был исследован на соответствие ГОСТ 31460-2012 косметический продукт «Крем для кожи вокруг глаз «Янтарный» (рис 5). Данный косметический крем представлял собой смесь синтетических и натуральных продуктов: жиров, воска, масел, настоев или экстрактов лекарственных трав, витаминов, красителей, антиоксидантов, консервантов, отдушек и других добавок, обеспечивающих потребительские свойства кремов и разрешенных к применению в установленном порядке. Определение физико-химических показателей: водородный показатель pH пробы составил 7 (нейтральная среда), массовая доля воды и летучих веществ составила 64,8 масс. %. По установленным органолептическим и физико-химическим показателям исследованная косметическая продукция соответствует требованиям и нормам, приведенным в ГОСТ 31460-2012.



Рис. 5. Косметический продукт «Крем для кожи вокруг глаз «Янтарный»

Заключение

Проведенный анализ образцов янтарной косметики позволяет сделать вывод, что добавление в название прилагательного «янтарная» носит рекламный характер, янтарные ингредиенты относятся к категории заявленных, т.е. добавляются в небольших количествах в маркетинговых целях и не оказывают практически никакого влияния на функциональность или внешний вид косметики. Исключение составляет янтарная пудра, которая состоит из измельченного Балтийского янтаря. Что касается наиболее часто встречающегося компонента янтарная кислота, то важно отметить, что этот компонент получен не сухой перегонкой природного Балтийского янтаря, а искусственно синтезирован. По мнению авторов, использование синтетической янтарной кислоты снижает маркетинговую привлекательность янтарной косметики на Калининградском рынке.

Потенциальные свойства Балтийского янтаря по-прежнему не нашли своей должной реализации в конечных продуктах его переработки. Актуальным является продолжение исследований в этом направлении с привлечением заинтересованных в развитии янтарного бизнеса предпринимателей.

Таким образом, можно констатировать, что на территории РФ отсутствует исчерпывающее использование неликвидных фракций и отходов янтарной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Стратегии развития янтарной отрасли Российской Федерации на период до 2025 года. Распоряжение Правительства РФ от 15 сентября 2017 года N 1966-р
2. Мартиросян, О. В. Ископаемые смолы: диагностика, классификация и структурные преобразования в условиях термального воздействия / О. В. Мартиросян, М. А. Богдасаров // Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2014. – № 4(232). – С. 10-15. – EDN SIYGPD
3. Paweł Tumiłowicz, Ludwik Synoradzki, Agnieszka Sobiecka, Jacek Arct, Katarzyna Pytkowska, Sławomir Safarzyński. Bioactivity of Baltic amber – fossil resin. POLIMERY 2016, 61, nr 5, 347-356.
4. Valentyn Chornyi, Zanda Krūma, Taras Mysiura, Nataliia Popova and Volodymyr Zavialov. COMPARATIVE EXTRACTION OF COMPONENTS FROM UKRAINIAN AND BALTIC AMBERS. PROCEEDINGS OF THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES. Section B, Vol. 77 (2023), No. 5/6 (746/747), pp. 244–249. DOI: 10.2478/prolas-2023-0035
5. Черный, В., Мысюра, Т., Попова, Н., Завьялов, В. (2024). Виброизвлечение из предварительно обработанного янтаря с помощью электроимпульсных разрядов. В: Иванов, В., Павленко, И., Эдл, М., Мачадо, Дж., Сюй, Дж. (ред.) Достижения в проектировании, моделировании и производстве VII. DSMIE 2024. Конспект лекций по машиностроению. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_20
6. Lyudmyla Kernosenko, Kateryna Samchenko, Olena Goncharuk, Natalya Pasmurtseva, Tetiana Poltoratska, Olena Siryk, Oksana Dziuba, Oleg Mironov and Katarzyna, Szewczuk-Karpisz Polyacrylamide Hydrogel Enriched with Amber for In Vitro Plant Rooting. Plants 2023, 12, 1196. <https://doi.org/10.3390/plants12051196> <https://www.mdpi.com/journal/plants>
7. Сергеева, Е. О. Использование отходов янтарной промышленности для создания лечебной косметики / Е. О. Сергеева // Молодая фармация - потенциал будущего : Сборник материалов XII всероссийской научной конференции студентов и аспирантов с международным участием, Санкт-Петербург, 14 марта – 18 2022 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2022. – С. 577-581. – EDN PFIJKU.
8. Эйсаку Симидзу, Нозому Симода, Тецуаки Кавамура, Наоми Уэда, Кен-ичи Кимура. Сравнение биологической активности составляющие японского янтаря. Успехи биологической химии, 2020, 10, 99-112 <https://www.scirp.org/journal/abc>
9. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка / Шведова Н. Ю.. – М.: А ТЕМП, 2008. – 944 с
10. <https://www.sphericalinsights.com/reports/cosmetics-market>
11. [Алимова, А. С. История макияжа и ее возникновение / А. С. Алимова // Интернаука. – 2023. – № 3-1(273). – С. 26-28. – DOI 10.32743/26870142.2023.3.273.351262. – EDN UBZDNK
12. Drobniak J., Viana K. Cosmetic plants of the early 19th century, Pol J Cosmetol 2017, 20(4): 349-358
13. Сточик, А. А. Из истории становления косметологии в России. Первый московский институт врачебной косметики / А. А. Сточик // Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко. – 2019. – № 3-4. – С. 88-95. – DOI 10.25742/NRIPH.2019.03.010. – EDN PBQQJS

BALTIC AMBER, REALITY AND PROSPECTS OF USING ILLIQUID RAW MATERIALS IN THE RUSSIAN FEDERATION

¹Bulychev Aleksandr Grigorievich, Associate Professor of the Chemistry Department,
Candidate of Chemical Sciences

²Vorotnikov Boris Yurievich, Head of the Chemistry Department,
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

³Yakuta Sergey Antonovich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

⁴Bogdanova E.S., 3rd-year student of the Food Biotechnology program

⁵Meshcheryakov Aleksey Nikolaevich, Head of Department

^{1,2,3,4}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹a_bulychev@mail.ru; ²vorotnikov@klgtu.ru; ³sergej.yakuta@klgtu.ru

⁵Forensic Science Service – Regional Branch of the Center for Expertise and Forensic Technology,
Kaliningrad, Russia, e-mail: meshcheryakovan@ca.customs.gov.ru

The authors note that many researchers continue to study the biological activity of amber and fossil resins. The paper analyzes the areas in which illiquid amber can be used, including a review of the so-called "amber cosmetics" market. The authors conclude that the existing range of products from the processing of waste from the Russian amber industry is limited, although the properties of Baltic amber make it possible to expand it.

КОЛЛЕКЦИЯ СПЕКТРОВ ИСКОПАЕМЫХ СМОЛ НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОГО ЯНТАРЯ, ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ

¹Воротников Борис Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой химии

²Булычев Александр Григорьевич, канд. хим. наук, доцент кафедры химии

³Марковцева Юлия Сергеевна, студентка 2 курса направления «Ветеринарно-санитарная экспертиза»

⁴Сыркина Анастасия Андреевна, студентка 2 курса направления «Ветеринарно-санитарная экспертиза»

^{1,2,3,4}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹vorotnikov@klgtu.ru; ²a_bulychev@mail.ru

На основе собранных в течение 5 лет экспериментальных данных создана база инфракрасных спектров Балтийского янтаря, ископаемых смол, современных смол и синтетических имитаторов янтаря. Регистрация инфракрасных спектров образцов проводилась на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (производитель прибора научно-производственная фирма "СИМЕКС", г. Новосибирск).

Предполагается, что эта база данных будет дополняться и охватывать широкий перечень материалов. Цифровая коллекция предназначена для использования при анализе неизвестных и редких образцов.

Введение

Поиск в спектральной библиотеке в настоящее время является наиболее распространенным подходом к идентификации химических соединений. Чтобы найти спектральную информацию об интересующем соединении, часто приходится тратить время на поиск, поскольку лишь небольшую часть известных соединений можно найти в онлайн-базах данных спектров или печатных сборниках. Спектральные данные, публикуемые в журналах, обычно кратки, приводятся только графические спектры.

Для ускорения и оптимизации поиска создаются всеобъемлющие спектральные базы данных, которые предоставляют доступ к миллионам высококачественных спектров в различных методах, включая инфракрасную спектроскопию, хромато-масс-спектрометрию, спектроскопию ядерного магнитного резонанса, комбинационного рассеивания и спектроскопию в ультрафиолетовой и видимой области. Эти ресурсы играют важную роль в интерпретации, идентификации, проверке и классификации спектров. Появляются базы данных, которые создаются с использованием методов машинного обучения, что значительно расширяет количество спектров доступных для анализа. Эти новые базы данных охватывают широкий спектр соединений, включая общие органические вещества, биохимические вещества, лекарства, красители, пищевые соединения, промышленные соединения, мономеры, загрязняющие вещества и многое другое[1].

Создаются отдельно коммерческие библиотеки ИК-спектров, которые охватывают широкую номенклатуру химических соединений, включая общие органические вещества, ароматизаторы и отдушки, промышленные соединения, эстрогены и стероиды, метаболиты, липиды, геохимические вещества, нефтехимические вещества, биомаркеры, лекарственные препараты, фармацевтические препараты, пестициды, токсикологию, терпены и другие летучие вещества, содержащиеся в пищевых продуктах, натуральных продуктах, а также мономеры, ПФАС и многое другое.

Эталонные спектры в библиотеке, идентифицированные как схожие на основе наличия семейства полос в определенной области длин волн, как в неизвестном, так и в эталонном спектрах, выбираются алгоритмом поиска и представляются пользователю в виде списка лучших совпадений в порядке их выбора.

Однако и такие обширные библиотеки высококачественных эмпирических инфракрасных данных, не охватывают общее химическое пространство, используемое химиками, учеными-биологами и материаловедами. Часто эмпирическая библиотека приводит либо к низким показателям индекса совпадения, либо к плохому соответствию, либо к отсутствию соответствий, чтобы помочь

исследователям классифицировать и определять структурные характеристики и возможную идентичность неизвестных соединений.

Поэтому актуальным является создание специализированных коллекций спектров. Так, например, создана библиотека пищевых ингредиентов в ближнем ИК-диапазоне, в которой содержится около 10 000 спектров порошковых смесей, сырья и готовой продукции. Эта база представляется на коммерческой основе для пищевых компаний при контроле качества продукции и регулярно обновляется [2].

Балтийский янтарь или сукцинит является уникальным природным минералом. Он издавна ценится человечеством и привлекает внимание самых любознательных его представителей – ученых. Россия имеет естественные конкурентные преимущества на мировом рынке янтаря-сырца. Основные залежи янтарного сырья сосредоточены в Калининградской области, на территории которой расположено около 90 процентов разрабатываемых мировых запасов янтарного сырья [3].

Янтарь – это высокомолекулярное органическое соединение, состоящее из углерода, водорода и кислорода. Цвет и физико-химические свойства янтаря зависят от вида дерева, из смолы которого он образовался, условий и времени нахождения этой смолы в анаэробной среде, а также от месторождения.

Одна из классификаций ископаемых смол, предложенная К.Б.Андерсеном [4.5], основана на их структурных особенностях. В ней ископаемые смолы разделены на пять классов. К I классу отнесены ископаемые смолы с преобладающим лабдановым скелетом (сукцинит, гедано-сукцинит, румэнит, геданит, копалы). Смолы II и III классов имеют кадиленовый (кранцит) и стирольный скелеты (зигбургит, ньюджерсит). Смолы IV и V классов не содержат полимерных структур, IV класс образуют ископаемые смолы, имеющие цедреновый скелет (валховит), а V – смолы, имеющие абиетиновый и пимаровый скелеты (ретинит).

Очевидно, что сравнение ископаемых и современных смол позволяет изучать их структуру и идентифицировать. Инфракрасная спектроскопия широко используется для изучения деталей структуры и диагностики Балтийского янтаря и ископаемых смол, она признана одним из надежных методов их идентификации [6].

Важным также является тот факт, что изделия из янтаря издавна являлись объектом имитации, а то и откровенной подделки. Количество имитаций увеличилось с развитием химии полимеров. Все чаще янтарные аналоги создаются из нескольких синтетических полимеров с добавлением янтарного сырья. До сих пор у исследователей возникают проблемы с различением настоящего и поддельного янтаря без разрушения материала [7].

Как и прежде, многие исследователи, в своих работах отмечают недостаток доступной цифровой спектральной информации о балтийском янтаре и ископаемых смолах, а также используют методологию, сочетающую различные техники анализа [8].

Несмотря на существование различных обзоров и атласов ИК спектров янтаря и ископаемых смол, как например работа Н.Варвы и Б.Космовской-Церанович [9], где представлено 350 различных спектров.

Идет постоянная работа по изучению различных образцов янтаря. Накопление и обновление спектральных баз данных остается актуальным. В совместной работе российских и белорусских исследователей [10] получены спектры колебательной спектроскопии (ИК и Рамановские) 15 образцов янтаря и янтареподобных смол. Среди них образцы из различных месторождений России (село Тастах, Якутия; посёлок Амдерма, побережье Карского моря; Таймыр; Калининградская область), зарубежных месторождений (Нью-Джерси, США; Доминиканская Республика; Биттерфильд, Германия; Клесов, Украина; Новая Зеландия, Северная Франция, Чьяпас (Мексика) и современных смол сосны черной (*Pinus nigra*), сосны Бэнкса (*Pinus banksiana*) и Новозеландского каури, *Agathis australis*). Информация об ИК-спектрах с указанием волновых чисел и относительной спектральной интенсивности для каждого изученного образца «Вибрационные спектры янтаря и янтареподобных смол.xlsx» представлена в формате Excel.

Проведя анализ литературных источников, авторы обратили внимание, что янтарь и смолы интересны не только как объекты спектроскопии.

Некоторыми исследователями было замечено, что существует высокий потенциал для использования янтаря в сфере медицины, здравоохранения и отдыха. Этот вывод основан на анализе патентов, посвященных использованию янтаря [11].

В подтверждение этому продолжение работ исследователя из университета Миннесоты, посвященной антибактериальной активности продуктов из Балтийского янтаря [12].

Также к этой области относится исследование китайских ученых, посвященных терпенам современных растений [13].

В КГТУ на протяжении многих лет ведётся работа по сбору различной, в том числе и спектральной информации по янтарю, ископаемым смолам и полимерным аналогам янтаря [14, 15, 16].

Последние два года в Калининграде под эгидой Международного Балтийского Морского Форума проводится научная конференция «Балтийский Янтарь и смолы мира» с целью интеграции подходов к изучению уникальных природных объектов и артефактов [17, 18, 19, 20].

Пример использования цифровой библиотеки ИК спектров балтийского янтаря, ископаемых смол, современных смол и полимерных аналогов янтаря на практике

В КГТУ используется цифровая библиотека ИК спектров. Эта работа ведётся по нескольким направлениям:

1. Совместные исследования с Калининградским областным музеем янтаря образцов представляемых сотрудниками музея.

2. Исследование и занесение в коллекцию спектров образцов предпринимателей, работающих в янтарной отрасли.

3. Привлечение к этой работе привлекли и студентов в ходе реализации проекта «Янтарная библиотека» [21].

4. Также на базе Химико-аналитический ресурсный центр (ХАИЦ) КГТУ планируется расширить цифровую платформу данных исследованиями с помощью использования оптической микроскопии, спектроскопии ультрафиолетовой и видимой области, газовой и жидкостной хроматографии.

В рамках первого направления в 2023 году была выполнена научно-исследовательская работа по договору между ФГБОУ ВО «КГТУ» и ГБУК «Музей янтаря» по теме: Исследования состава бижутерии [22]. Было исследовано 5 образцов. Ниже представлены некоторые результаты этих исследований.

Регистрация всех инфракрасных спектров образцов в данной работе проводилась на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (производитель прибора научно-производственная фирма "СИМЕКС", г. Новосибирск).

Для снятия спектров применяли метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием универсальной приставки НПВО.

Образец №1. Исследуемое изделие представляет собой кулон из непрозрачного материала желтого цвета с металлическим креплением, массой 11,0 г.

Внешний вид образца №1 при дневном освещении и при освещении в УФ представлен на рис 1 и рис. 2



Рис. 1. Внешний вид и геометрические размеры образца №1



Рис. 2. Внешний вид образца №1 при 336 нм в УФ.

Материал, из которого изготовлено украшение люминесцирует при освещении источником УФ-излучения с длиной волны 336 нм (рис.2)

Запись спектров производилась на ИК Фурье-спектрометре ФТ-801 методом НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) на приставке НПВО с алмазной призмой, прижимая грани образца №1 к поверхности алмаза. На рис 3 представлен спектр образца №1.



Рис. 3 ИК спектр образца №1

Также для сравнения на рис. 4 представлены фрагменты ИК-спектров образца №1 и образца Балтийского янтаря (сукцинита) из коллекции кафедры химии КГТУ.

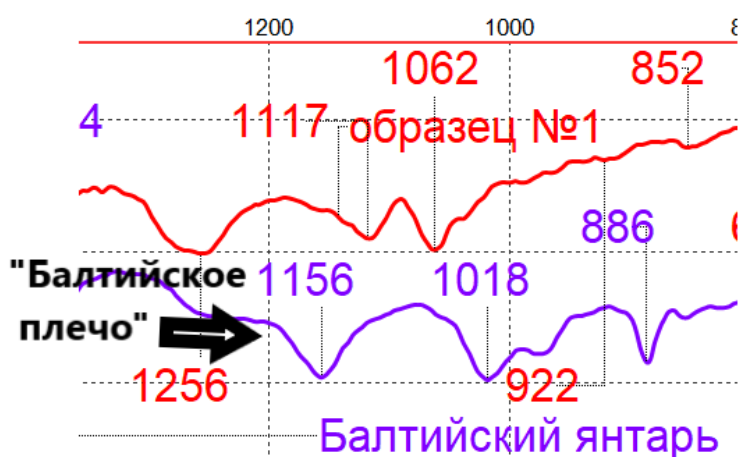


Рис. 4. Фрагменты ИК-спектров образца №1 (красный цвет) и образца (синий цвет) Балтийского янтаря (сукцинита) из коллекции кафедры химии КГТУ.

На представленных рисунках хорошо видно отсутствие в образце №1 основных полос поглощения характерных для Балтийского янтаря (сукцинита), а именно участка спектра около 1150 см⁻¹, который отнесен к деформации связи углерод-кислород полосы, а также отсутствие «Балтийского плеча» между 1250 и 1175 см⁻¹.

В результате исследования образца №1 было установлено, что по совокупности признаков, внешнему виду, люминесценции и ИК спектру материала, из которого изготовлен образец №1, кулон предположительно является синтетическим полимером на основе полиэфиров.

В качестве образца №3 в отчете исследовались три бусины, массой 2,4 г.

Внешний вид образца №3 при дневном освещении и при освещении в УФ представлен на рис 5 и рис. 6.



Рис. 5. Внешний вид и геометрические размеры образца №3



Рис. 6. Внешний вид образца №3 при 336 нм в УФ.

Материал, из которого изготовлено украшение, люминесцирует при освещении источником УФ-излучения с длиной волны 336 нм (рис.6)

Запись спектров производилась на ИК Фурье-спектрометре ФТ-801 отечественного производителя методом НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) на приставке НПВО с алмазной призмой, прижимая грани образца №3 к поверхности алмаза. На рис 7 представлен спектр образца №3 и Балтийского янтаря.

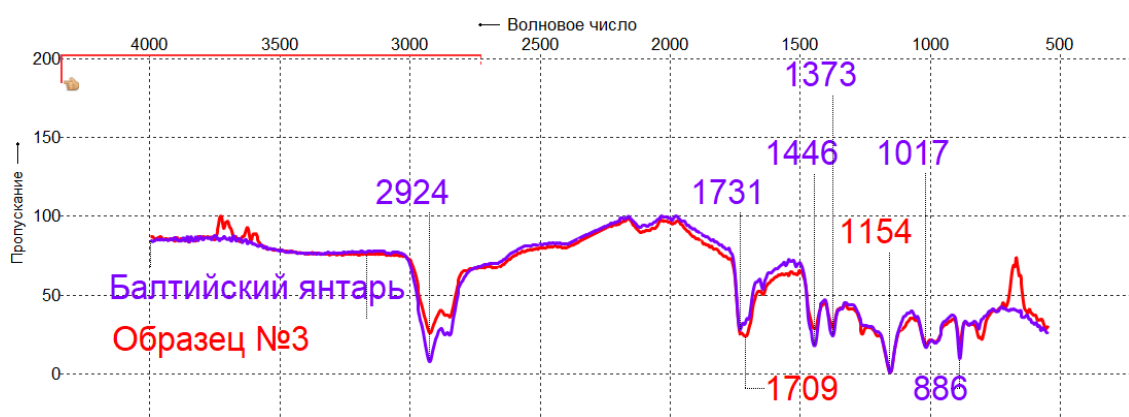


Рис. 7 ИК спектр образца №3 (красный) и Балтийского янтаря (синий)

На представленном рисунке 7 хорошо видно совпадения основных полос поглощения образца №3 и образца Балтийского янтаря из коллекции кафедры химии КГТУ при 2924 см⁻¹ 1446 см⁻¹, 1254 см⁻¹, 1154 см⁻¹. Данные полосы характерны для Балтийского янтаря (сукцинита). Для идентификации балтийского янтаря часто используется термин «Балтийское плечо» или «Балтийский зубец». Такой характерный участок спектра был отнесен к одной углеродно-кислородной деформации полосы около 1150 см⁻¹, которой предшествует плечо между 1250 и 1175 см⁻¹ в инфракрасном спектре.

В результате исследования установлено, что по совокупности признаков, внешнему виду, люминесценции и ИК спектру материалом, из которого изготовлен образец №3 три бусины, является Балтийский янтарь.

По остальным исследованным образцам были сделаны следующие выводы, образец №2 – материал полиэфир, образец №4 – материал балтийский янтарь, образец №5 – материал – эпоксидная смола. Все полученные спектры были занесены в базу данных библиотеки спектров КГТУ.

По второму направлению, когда образцы предоставлялись частными лицами, также проводилась идентификация и снятие ИК-спектров.

На кафедре химии в 2023 году в КГТУ частным предпринимателем было предоставлено украшение в виде ожерелья. Поставлена задача: определить материал изготовления.

Исследуемое изделие представляло собой ожерелье (бусы) массой 108,5 г. Оно состояло из полированных граненых бусин из прозрачного материала лимонного, медового, коричневого цветов, нанизанных на нить с закручивающей застежкой.

На рис 8 представлены для сравнения спектры материала данного изделия и Балтийского янтаря (сукцинита), представленного в распоряжение Калининградским янтарным комбинатом:

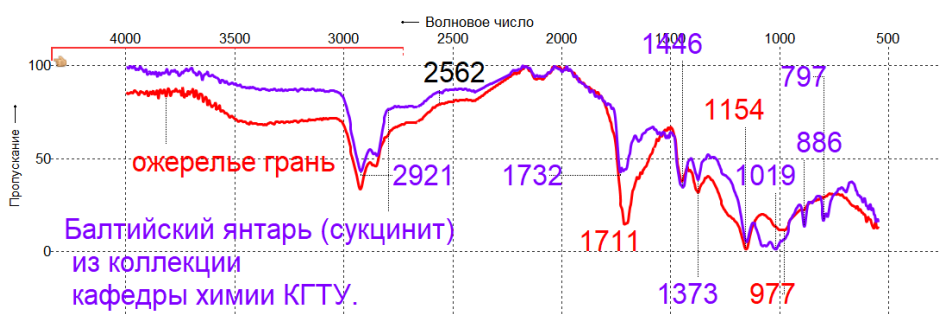


Рис. 8. Сравнение ИК спектров, характерных для бусин данного изделия (красный) и образца Балтийского янтаря (синий).

На представленных рисунках хорошо видно совпадения основных полос поглощения при 2921 см⁻¹, 1446 см⁻¹, 1254 см⁻¹, 1173 см⁻¹, 1154 см⁻¹. Данные полосы характерны для Балтийского янтаря (сукцинита). Для идентификации балтийского янтаря часто используется термин «Балтийское плечо» или «Балтийский зубец». Такой характерный участок спектра был отнесен к одной углеродно-кислородной деформации полосы около 1150 см⁻¹, которой предшествует плечо между 1250 и 1175 см⁻¹ в инфракрасном спектре, и относится к пику янтарной кислоты

В результате исследования установлено, что по совокупности признаков, внешнему виду, характерной люминесценции и ИК спектру материала, из которого изготовлены бусы (ожерелье) является Балтийский янтарь (сукцинит).

Также в марте 2024 года по договору между ХАРЦ КГТУ и индивидуальным предпринимателем была выполнена научно-исследовательской работы по теме: «Исследования состава бус». Исследуемое изделие представляло собой ожерелье (бусы) массой 87 г. Ожерелье состояло из полированных граненых бусин из прозрачного материала лимонного с зеленоватым отливом цвета, нанизанных на нить с закручивающей застежкой.

Внешний вид отдельных бусин изделия при дневном освещении представлен на рис 9.



Рис. 9. Внешний вид отдельных бусины изделия

На рис 10 представлены для сравнения спектры, материала данного изделия и доминиканского копала из библиотеки спектров КГТУ:

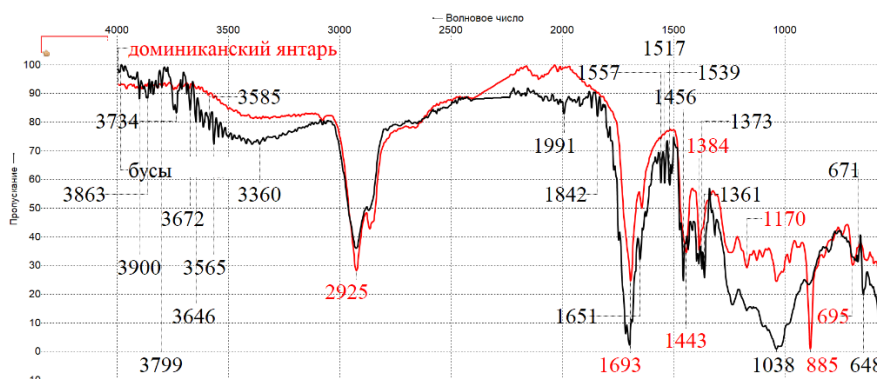


Рис. 10. Сравнение ИК спектров, характерных для бусин данного изделия (черный) и образца доминиканского копала (красный).

На представленных рисунках хорошо видно совпадения основных полос поглощения при 2925 см-1 1693 и 1651 см-1, 1373 см-1, 1038см-1. Полосы характерны для Балтийского янтаря (сукцинита), в виде плеча между 1250 и 1175 см-1 отсутствуют.

Также было проведено исследование ИК спектра капиллярного смыва этанолом с поверхности бусины. Полученный спектр по основным линиям соответствует полимеру, пиролизуемому в контролируемых условиях (рис 11).



Рис. 11 Сравнение спектра исследуемого образца (черный) с библиотечным спектром ZONESTER 55 (красный).

При обработке поверхности бусины капилляром с этиловым спиртом, наблюдается растворение части обработанной поверхности.

В результате исследования установлено, что по совокупности признаков, внешнему виду, характерной люминесценции и ИК спектру материалом, из которого изготовлены бусы, является ископаемая смола, доминиканский янтарь (копал), подвергнуты термической обработке.

По третьему направлению привлечения студентов к исследованию янтаря проходило в рамках подготовки к III Национальная научно-техническая конференции студентов и курсантов «Дни науки» в 2024 году. В ходе этой работы были исследованы образцы янтаря, найденные на побережье Балтийского моря в 2018 году, образцы украшений из домашних коллекций, а также янтаря используемого для изготовления картин. Данное исследование обнаружили в бижутерии такой аналог янтаря, как сополимер метилакрилата, а также балтийский янтарь в образцах заготовок для картин.

Также в рамках данной работы был подготовлен проект сайта, с рабочим названием «Янтарная библиотека, или Амбертека», на котором размещалась информация об исследованных образцах, включая файлы ИК спектров образцов в формате .jdx, которые можно обрабатывать с использованием существующих программ для современных ИК-Фурье спектрометров.

Заключение

Приведенные примеры практического использования библиотеки спектров показывают актуальную базу спектральных данных. Использование отечественной приборной базы, доступность и простота снятия спектров предполагает в дальнейшем расширение пользователей цифровой коллекции и участников её пополнения. Кроме того, возможности созданного химико-аналитического ресурсного центра КГТУ позволяет расширить цифровую платформу с привлечением других физико-химических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://analyticalscience.wiley.com/content/news-do/wiley-expands-its-chemical-compound-coverage-new-smartspectra-databases>.
2. <https://analyticalscience.wiley.com/content/news-do/near-ir-spectral-library-food-additives-blendhub>
3. Стратегия развития янтарной отрасли Российской Федерации на период до 2025 года утв. Распоряжением правительства РФ от 15 сентября 2017 года N 1966-р
4. Anderson K. B., Crelling J. C. Introduction to Amber, Resinite and Fossil Resins // ACS Symposium Series. 1995. Vol. 617. P. 170–192.
5. Anderson K. B., Winans R. E., Botto R. E. The nature and fate of natural resins in the geosphere – II. Identification, classification and nomenclature of resinites // Organic Geochemistry. 1992. Vol. 18. № 6. P. 829–841.
6. Analysis of Mexican Amber and Natural Resins Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Raman Spectroscopy To cite this article: G Vazquez-Bautista et al 2024 J. Phys.: Conf. Ser. 2699 012009
7. Голлох, А., Хайдбредер, С. и Люр, К. Идентификация янтаря и его имитаций с помощью спектроскопии отражения в ближнем инфракрасном диапазоне. Fresenius J Anal Chem 361, 545–546 (1998). <https://doi.org/10.1007/s002160050943>.
8. Musa M, Kaye TG, Vieri W, Peretti A. Сравнение бирманского янтаря с использованием микро-инфракрасной спектроскопии полного внутреннего отражения и ультрафиолетовой визуализации. Прикладная спектроскопия. 2021;75(7):839-845. doi: 10.1177/0003702820986880.
9. Атлас инфракрасных спектров смол мира, Б. Космовска-Церанович, Н. Вавра. Варшава, 2015, 280с.
10. A. Kundalevich, A. Zozulya and A. Zyubin et al. /Data in Brief 54 (2024) 110478.
11. Mikhaylova, A. Technological innovations for Baltic amber processing / A. Mikhaylova, A. Mikhaylov // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020, Albena, 18–24 августа 2020 года. Vol. 1.2. – Sofia: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технологии, 2020. – P. 293-300. – DOI 10.5593/sgem2020/1.2/s03.038. – EDN WYKEAA.
12. Ambrose E, McDermott C, Flanders P. Analysis of Abietane-Type Diterpenoids from Baltic Amber Samples. ChemRxiv. 2022; doi:10.26434/chemrxiv-2022-48kmn This content is a preprint and has not been peer-reviewed.
13. Yang EL, Hou Y, Ma GX, Zou LJ, Xu XD, Wu HF, Yang JS, Wei HW, Fan CZ, Sun ZC, Shi LL. Abi-etane-Type Diterpenoids From *Nepeta bracteata* Benth. and Their Anti-Inflammatory Activity. Front Chem. 2022 Jul 4;10:944972. doi: 10.3389/fchem.2022.944972. PMID: 35860628; PMCID: PMC9289214.
14. Сравнительный анализ образцов балтийского и украинского янтаря / Б. Ю. Воротников, А. Г. Булычев, А. Н. Мещеряков [и др.] // Балтийский морской форум : материалы VI Международного Балтийского морского форума : в 6 т., Калининград, 03–06 сентября 2018 года. Том 1. – Калининград: Обособленное структурное подразделение "Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота" федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Калининградский государственный технический университет", 2018. – С. 65-70. – EDN УТВРВВ.
15. Б.Ю Воротников., А.Г. Булычев, О.И. Карстен, Т.Б. Ежевская Исследование разновидностей янтаря на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 методом НПВО, Научно-технический журнал «Лаборатория и производство».- №2/2019(6). – С.104-109
16. К вопросу систематизации естественно-научных данных об ископаемых смолах на примере Балтийского янтаря / А. Г. Булычев, Б. Ю. Воротников, С. А. Якута, М. С. Будулев // Балтий-

ский морской форум : материалы X Международного Балтийского морского форума: в 7 т., Калининград, 26 сентября – 01 2022 года. Том 1. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2022. – С. 32-39. – EDN JBUFNH

17. Идентификация янтаря в украшениях и сувенирной продукции калининградского региона и пути повышения доверия потребителей Булычев А.Г., Якута С.А., Мещеряков А.Н. материалы XI Международного Балтийского морского форума: в 8 т., Калининград, октябрь 2023 года. Том 6. Международная научно-практическая конференция «Балтийский янтарь и смолы мира», Калининград: КГТУ, 2023, 330-334.

18. О необходимости подготовки коллекции и создания проекта описания стандартных образцов Балтийского янтаря. Воротников Б.Ю., Булычев А.Г., Олейник В. К. Материалы XI Международного Балтийского морского форума: в 8 т., Калининград, октябрь 2023 года. Том 6. Международная научно-практическая конференция «Балтийский янтарь и смолы мира», Калининград: КГТУ, 2023, 337-341.

19. Оценка перспективы использования хемометрического метода анализа для возможности определения региона происхождения янтаря Кузьмина А.И., Булычев А.Г., Якута С.А. Материалы XI Международного Балтийского морского форума: в 8 т., Калининград, октябрь 2023 года. Том 6. Международная научно-практическая конференция «Балтийский янтарь и смолы мира», Калининград: КГТУ, 2023, 359-362.

20. Применение ИК-Фурье-спектроскопии для исследования эксудатов современных растений и ископаемых смол. Яковлева С.А., Булычев А.Г., Демкина Д.Ю., Сивашенко Е.Н., Пляскина Е.Д. Материалы XI Международного Балтийского морского форума: в 8 т., Калининград, октябрь 2023 года. Том 6. Международная научно-практическая конференция «Балтийский янтарь и смолы мира», Калининград: КГТУ, 2023, 368-372.

21. Марковцева Ю.С., Сыркина А.А., гр. 23-ВС. «Амберпедия» - цифровая коллекция КГТУ ископаемых, современных смол и продуктов их переработки. Научные руководители: канд. хим. наук Булычев А.Г. и канд. техн. наук Воротников Б.Ю. III Национальная научно-техническая конференция студентов и курсантов «Дни науки», Калининград, 2024.

22. Отчёт по выполнению научно-исследовательской работы по договору между ФГБОУ ВО «КГТУ» и ГБУК «Музей янтаря» по теме: Исследования состава бижутерии на ИК-Фурье спектрофотометре. Начало выполнения работ: 5 октября 2023 Окончание работ: 16 октября 2023.

COLLECTION OF SPECTRA OF FOSSIL RESINS ON THE EXAMPLE OF BALTIC AMBER, PRACTICAL APPLICATION

¹Vorotnikov Boris Yurievich, head of the department of chemistry, associate professor, candidate of technical sciences

²Bulychev Alexander Grigorievich, Associate Professor of the Department of Chemistry, Candidate of Chemical Sciences

³Markovtseva Yu. S., 2nd year student of the direction "Veterinary and sanitary examination"

⁴Syrkina A. A. 2nd year student of the direction "Veterinary and sanitary examination"

^{1,2,3,4}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹vorotnikov@klgtu.ru; ²a_bulychev@mail.ru

In this work, based on experimental data collected over 5 years, infrared spectra of Baltic amber, fossil resins, modern resins and synthetic amber simulators were created. Registration of infrared spectra of the samples was carried out on an FT-801 IR Fourier spectrometer (device manufacturer: Scientific and Production Company "SIMEKS", Novosibirsk).

It is expected that this database will be expanded and cover a wide range of materials. The digital collection is intended for use in the analysis of unknown and rare samples.

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНОГО ТУРИЗМА ЯНТАРНОЙ ОТРАСЛИ

¹Воротников Борис Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой химии

²Устич Владимир Иванович, канд. техн. наук, проректор по учебной работе

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,

Калининград, Россия; e-mail: vorotnikov@klgtu.ru

В ходе проведённых на протяжении более чем тридцати лет исследований удалось выявить универсальные иерархичные историко-технологические закономерности и раскрыть потенциал Балтийского янтаря как ресурса формирования Янтарного научно-образовательного туристического кластера (ЯНОТК) Калининградской области. Его создание актуально, потому что вернувшиеся участники «спецоперации» должны будут не только восстановить здоровье, но и получить качественное востребованное современной экономикой образование, устроиться на работу в качестве высококвалифицированных сотрудников уже за пределами оборонно-промышленного комплекса страны.

В этом году исполняется тридцать лет первому выступлению на научной конференции кафедры химии КГТУ по технологии Балтийского янтаря (тема доклада «Комплексная переработка смол природного происхождения»). Исследования балтийского янтаря в Калининградском государственном техническом университете, таким образом, начались в первой половине 90-х годов прошлого века, но наиболее значимые публикации относятся уже к началу века нынешнего [1 – 13].

Одним из главных научных результатов является комплекс исследований, приведших в итоге к получению патента РФ на комплексную переработку янтаря [14], который раскрыл объёмную технологическую нишу [15] исчерпывающего экологически оправданного использования мелкофракционного камня. Эти научно-технологические разработки нашли своё отражение в раскрытии потенциала новых областей возможностей ископаемых смол в косметологии [8], биомедицинских и ветеринарных продуктах [9, 12].

Важным дополнением к технологическим разработкам можно отнести появление и развитие потенциала образовательной деятельности. В рамках формирования инновационных гуманитарных подходов были сформулированы концепция Янтарного естествознания, новая потребительская концепция янтаря и разработана программы их передачи обществу через проект «Янтарное образование» [10]. Причём, если с реализацией потенциала технологических разработок до сих пор существуют проблемы (например, 30 лет не может быть внедрена технология комплексной переработки янтаря), потенциал обучения слушателей сохраняет перспективность в рамках групповых или индивидуальных траекторий, особенно с использованием электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС). В рамках данной технологии два года назад было успешно проведено повышение квалификации в КГТУ группы федеральных таможенных экспертов. При наличии устойчивого заказа и спроса может быть разработана и реализована образовательная программа высшего образования под нужды янтарной отрасли, в том числе в рамках направления Биотехнология.

Однако на сегодняшний день наиболее актуальным видится более широкая инновационная парадигма янтарного научно-образовательного туристического кластера. Она объединяет в себе наряду с экологическими подходами и помимо упомянутых выше образовательной и научно-технологической, ещё и рекреационно-туристическую функцию, основанную, в частности, на климатических условиях побережья южной Балтики и потенциале Музея Янтаря. Реализация проекта подразумевает расширение спектра обучающихся за счёт возможного вовлечения ветеранов СВО и части туристического потока в Калининградскую область. Предусматривается адаптация учебных программ и выбор для участников проекта возможных научно-технологических траекторий с целью их практической реализации.

В рамках ЯНОТК возможно приобретение не только мастерства в сферах художественного творчества, ювелирной обработки янтаря, но и более высоких образовательных уровней для участия в бизнес-проектах, генерации инновационных производств.

Основные характеристики и особенности кластера:

- деятельность ЯНОТК является круглогодичной;
- ЯНОТК сосуществует с предприятиями и организациями в режиме реального времени;
- ЯНОТК не имеет ограничений для его участников;
- ЯНОТК имеет свои учебные и рабочие места; экономические возможности, способствующие приобретению материальных и нематериальных активов;
- учебные программы ЯНОТК могут меняться пользователями дистанционно и децентрализованно.

Предлагаемая парадигма развивает и дополняет многолетние исследования университета, создавая основу для сверттехнологического уровня освоения главного символа региона (табл.) [5].

Реализация концепция ЯНОТК также может стать практическим развитием идеи, высказанной Президентом Российской Федерации В.В. Путиным в начале сентября 2022 года, о создании в Калининградской области круглогодичного, образовательного, научно-технологического федерального проекта.

Таблица

Иерархия периодов освоения балтийского янтаря

Период освоения	Характеристика освоения	Результаты освоения
Дотехнологический	Отсутствие технологий, янтарь в неизменном виде в житейских практиках	Камень бел-горюч, Bernstein
Технологический	Комбинация индивидуальных навыков при формировании процессов добычи и переработки; накопление дисциплинарных знаний о янтаре как геологическом объекте [13, 16 – 20]	Формирование янтарной отрасли на традиционной технологической платформе. Культовые и ювелирные изделия. Коллекции Музея Янтаря. Отходы мелкофракционного янтаря. ИК-спектроскопия
Межтехнологический	Интеграция средств различных отраслей для решения задач янтарной отрасли – комплексная высокотехнологичная переработка [14]. Янтарь как технологическое сырьё [8, 9, 21 – 23]	Формирование промышленного кластера янтарной отрасли Композиционные материалы, имитации янтаря [3]. Янтарная кислота [24 – 28,36]. Идентификация янтаря на отдельных операциях новыми методами. Технологические коллекции Балтийского янтаря[37].
Транстехнологический	Конвергенция больших межтехнологических проектов и областей возможностей.	Возникновение новых технологических платформ: «Янтарная биомедицина» [29 – 32], экологическая платформа «Янтарный бутстрап» [35,39]
Сверстехнологический	Гуманитарные технологии. High-tech. Янтарь как нематериальный ресурс [33, 34]	Изменение общественного сознания. Проект «Янтарное образование» [27,38]. Международные научно-практические конференции. Научно-образовательный туристический кластер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воротников Б. Ю. Периодическая систематизация развития технологий природного сырья. // Вопросы рыболовства. – 2014, Т. 15, №1. – С. 173 – 178.
2. Воротников Б. Ю. К вопросу реализации комплексной технологии янтаря – янтарная кислота как БАД. // Янтарь: знания и технологии. – Калининград: изд. ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – С. 83 – 87.
3. Высокотехнологичный композиционный материал: пат. 2525074 РФ. № 2012156082/03 / Воротников Б. Ю., Ивашкевич Н. Б.; заявл. 24.12.12; опубл. 10.08.14. Бюл. № 22. 5 с.
4. Воротников Б. Ю. и др. Фондовая технологическая коллекция балтийского янтаря АО «Калининградский янтарный комбинат» - научный базис развития и продвижения бренда «Российский янтарь» / Б. Ю. Воротников, А. Г. Булычев, Д. Н. Ларионов, А. Е. Коркин, А. С. Хомутецкая // «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2019», XVII Международная научная конференция. Т. 1. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 85 – 89.

5. Воротников Б. Ю., Гончаренко М. В. Иерархия технологических уровней янтарной отрасли // Труды международной научной конференции «Инновации в науке и образовании 2011». В 2 ч. Ч. 2. – Калининград, ФГБОУ ВПО КГТУ, 2011. – С. 324 – 325.
6. Воротников Б. Ю., Гончаренко М. В. Универсальные тенденции развития технологий на примере янтарной отрасли региона // Известия КГТУ. – 2011, №23. – С. 82 – 86.
7. Воротников Б. Ю. Синергетика янтаря // Тез. докл. Международного симпозиума «Добыча и обработка янтаря на Самбии». – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2010. – С. 140 – 142.
8. Очищающее средство (варианты): пат. 2199580 РФ. № 2001104552/04 / Воротников Б. Ю., Корниецкий А. Е., Вайнерман Е. С., Алексеенко А. И.; заявл. 19.02.01; опубл. 27.02.03. Бюл. № 6.
9. Наноянтарь: Отчет о НИР / ФГБОУ ВПО «КГТУ», руководитель Б. Ю. Воротников, исполнители: Б. Ю. Воротников, А. Б. Муромцев, Н. А. Мыслицкая, М. В. Гончаренко. № ГР 01201172255; инв. № 02201259083. – М.: ФГНУ ЦИТиС, 2012. – 53 с.
10. Янтарь: знания и технологии: Сборник научных трудов / Отв. ред. Б. Ю. Воротников. – Калининград: изд-во. ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 154 с.
11. Электронный атлас балтийского янтаря // Отчет о НИР «Разработка критериев оценки янтаря-сырца и изделий из него при вывозе из РФ» / Институт Янтаря и региональных ресурсов, руководитель Б. Ю. Воротников. – Калининград, 2001. – 94 с.
12. Воротников Б. Ю., Введенская Л. А., Немцев С. В. БАД к пище на основе янтарной пудры // Клиническая фитотерапия и фитохитодезтерерапия, биологически активные пищевые добавки (БАД). Материалы 7 Международной науч. конференции. – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2009. – С. 227 – 233.
13. Воротников Б. Ю., Ковалева И. П. Естественнонаучные знания в структуре и эволюции технологий природного сырья // Известия КГТУ. – 2013, № 31. – С. 30 – 37.
14. Способ комплексной переработки янтаря: пат. 2336165 РФ. № 2007108991/04 / Воротников Б. Ю., Кунин В. А.; заявл. 12.03.07; опубл. 20.10.08. Бюл. № 29. 3 с.
15. Воротников Б. Ю., Устич В. И. Проблемы развития отраслей переработки природного сырья, создания промышленных кластеров и формирования новых технологических платформ // Известия КГТУ. – 2015, № 37. – С. 83 – 91.
16. Vorotnikov B. Yu. Baltic amber: The genesis of succinic acid // World congress on amber inclusions. – Vitoria-Gasteiz, 1998. - P. 159
17. Воротников Б. Ю. К вопросу изучения смол физико-химическими методами // Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высш. рыбохоз. образования в России: сб. тезисов и докладов. В 4 частях, ч. 4. – Калининград: КГТУ, 1999.
18. Воротников Б. Ю. Особенности химической структуры некоторых смол природного происхождения // Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию основания Калининградского государственного технического университета (17 – 19 окт. 2000 г.): материалы. В 3 частях, ч. 3. – Калининград: КГТУ, 2000.
19. Воротников Б. Ю. К вопросу происхождения Балтийского янтаря как сукцината // Инновации в науке и образовании – 2003: междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию высш. рыбохоз. образования в России, 13 – 15 окт.: материалы. – Калининград: КГТУ, 2003. – С. 402.
20. Воротников Б. Ю., Булычёв А. Г., Масляков А. А. Сравнительный анализ ИК-спектров некоторых сукцинитов // Инновации в науке и образовании – 2005: междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию основания КГТУ и 750-летию Кенигсберга-Калининграда, 19 – 21 окт.: труды науч. конф. В 2 ч. Ч. 2. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2005. – С. 193 – 196.
21. Разработка критериев оценки янтаря-сырца и изделий из него при вывозе из РФ: Отчет о НИР / ИЯиРР, руководитель Б. Ю. Воротников. – Калининград, 2001. – 94 с.
22. Воротников Б. Ю. Эколого-информационные тенденции в переработке природного сырья и разработке новых пищевых форм // Известия ТИНРО. – 2008, Т. 154. – С. 379 – 383.
23. ТУ 9158-001-44192851-2003 Косметическая янтарная пудра. Технические условия. – Калининград, 2003. – 9 с.
24. Воротников Б. Ю. Метаболизм янтарной кислоты в организме человека // Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высш. рыбохоз. образования в России: сб. тезисов и докладов. В 4 частях, ч. 4. – Калининград: КГТУ, 1999.

25. Воротников Б. Ю. Янтарь и его производные. Расширение спектра использования янтарной кислоты в процессах биорегуляции организма человека // Инновации в науке и образовании – 2006: IV междунар. науч. конф., 18 – 20 окт.: труды науч. конф. В 2 ч. Ч. 1. – Калининград: КГТУ, 2006. – С. 266.
26. Воротников Б. Ю. и др. Расширение спектра использования БАД на основе хитозана за счёт природных компонентов растительного происхождения / Б. Ю. Воротников, Е. А. Ежова, В. М. Быкова, С. В. Немцев // Рыбпром. – 2007, № 1. – С. 37 – 40.
27. Воротников Б. Ю., Пухов В. В. Экономика янтарного края – экономика знаний о янтаре // Янтарь: знания и технологии: сб. науч. трудов. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – С. 83 – 87.
28. Воротников Б. Ю. Биоэлектрический потенциал янтаря // Инновации в науке и образовании – 2004: междунар. науч. конф., посвящ. 10-летию образования КГТУ, 20 – 22 окт.: материалы. – Калининград: КГТУ, 2004. – С. 251.
29. Воротников Б. Ю. К вопросу использования биоэлектрического потенциала янтаря в медицине и косметологии // Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине; 4 междунар. конгр. – СПб, 2006.
30. Воротников Б. Ю. и др. Роль терпенов и янтарной кислоты Балтийского сукцинита в ветеринарной медицине / Б. Ю. Воротников, Ю. А. Павлов, М. В. Гончаренко, А. Ю. Ефремов // Известия КГТУ. – 2014, № 33. – С. 149 – 153.
31. ТУ 9158-002-44192851-2005 Янтарное масло для массажа. Технические условия. – Калининград, 2005. – 9 с.
32. Полимерно-битумная композиция: пат. 2138459 РФ. № 97108704/03 / Корниецкий А. Е., Воротников Б. Ю., Корниецкий Ю. А., Почечура В. Н.; заявл. 20.05.97; опубл. 27.09.99.
33. Воротников Б. Ю. Перспективы янтаря в постиндустриальном мире // Балтийский янтарь: Наука. Культура. Экономика. 2007: науч. сб. Вып. 1. – Калининград: Калининградский областной музей янтаря, 2007. – С. 95 – 97.
34. Воротников Б. Ю. Основания и критерии выделения иерархических уровней освоения янтаря и природных смол // Янтарь и его имитация: мат. Междунар. науч.-практ. конф. – Калининград, 2013.
35. Воротников Б.Ю. Биогеохимические основания янтарного бутстрапа. материалы X Международного Балтийского морского форума: в 7 т. Калининград, 2022. С. 44-47.
36. Воротников Б.Ю., Притыкина Н.А., Ткачев И.М Использование, янтарной кислоты для получения овощного соуса «Янтарный чили»// БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы XI Международного Балтийского морского форума 25-30 сентября 2023 года [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 6. «Балтийский янтарь и смолы мира», Международная научно-практическая конференция – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. –с.334-337
37. Воротников Б.Ю. , Булычев А.Г., Олейник В. К. О необходимости подготовки коллекции создания проекта описания стандартных образцов Балтийского янтаря //БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы XI Международного Балтийского морского форума 25-30 сентября 2023 года [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 6. «Балтийский янтарь и смолы мира», Международная научно-практическая конференция – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – с.337-341
38. Воротников Б.Ю., Соклаков В. В., Устич В. И Янтарный Мета-Университет как элемент создания высокоструктурированной социальной среды// БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы XI Международного Балтийского морского форума 25-30 сентября 2023 года [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 6. «Балтийский янтарь и смолы мира», Международная научно-практическая конференция – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – с.341-345
39. Воротников Б.Ю., Булычев А.Г., Казимирченко О.В. Экологическая альтернатива Балтийского янтаря// БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы XI Международного Балтийского морского форума 25-30 сентября 2023 года [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 6. «Балтийский янтарь и смолы мира», Международная научно-практическая конференция – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – с.345-350

PROSPECTS FOR SCIENTIFIC TOURISM IN THE AMBER INDUSTRY

¹Vorotnikov Boris Yurievich, PhD in Engineering, Docent, Head of the Department of Chemistry

²Ustich Vladimir Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Vice Rector for Academic Affairs

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: vorotnikov@klgtu.ru

During the research conducted over more than thirty years, it was possible to identify universal hierarchical historical and technological patterns and to reveal the potential of Baltic amber as a resource for the formation of the Amber Scientific and Educational Tourism Cluster (YaNOTK) of the Kaliningrad Region. Its creation is relevant because soon the returning participants of the "special operation" will have to not only restore their health, but also receive a high-quality education in demand by the modern economy, and get a job as highly qualified employees outside the country's military-industrial complex.

НОВЫЕ ЭКСПОНАТЫ МУЗЕЯ ЯНТАРЯ КАК ИЛЛЮСТРАЦИЯ ВОССОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОШЛОГО

Жванько Валерия Владимировна, научный сотрудник научно-экспозиционного отдела

ГБУК «Калининградский областной музей янтаря», Калининград, Россия,
e-mail: Himmlichwanderin@mail.ru

Исследуется возрождение с конца 1970-х гг. забытое искусство высокохудожественной обработки янтаря. Рассмотрены предпосылки: начало работы по копированию янтарных шедевров XVII–XVIII вв. ленинградскими художниками для Калининградского музея янтаря, что стало технологической базой для воссоздания утраченной во время Второй мировой войны Янтарной комнаты. Описаны проблемы, с которыми столкнулись мастера-камнерезы в ходе этого сложного процесса, а также технологические открытия, сделанные ими. Представлены материалы, использованные в ходе работы мастеров и ставшие экспонатами Музея янтаря.

В мае 2023 года отмечалось 20-летие со дня торжественного открытия воссозданной ленинградскими мастерами-камнерезами Янтарной комнаты, которая считается образцом искусства художественной обработки янтаря. Она доступна для посещения в Екатерининском дворце в Государственном музее-заповеднике «Царское Село» (г. Пушкин, Ленинградская область). Важнейшим шагом, и, в первую очередь, технологической базой на пути воссоздания уникального янтарного шедевра стало тесное сотрудничество ленинградских художников с Калининградским музеем янтаря.

В конце 1970-х Музей янтаря готовился к открытию. На момент разработки экспозиции стояла глобальная проблема – отсутствовали экспонаты XVII – XVIII веков, которые иллюстрировали бы эпоху расцвета искусства обработки янтаря. Оружейная Палата Московского Кремля передала в дар музею семь уникальных янтарных изделий прошлых веков, в том числе церемониальный посох, две декоративные тарелки и распятие [5, с.15].

В статьях «Калининградский музей янтаря и становление Петербургской мастерской художественной обработки янтаря» (2005) и «Участие Оружейной палаты в формировании художественной коллекции Калининградского музея янтаря» (2008) Зоя Костяшова выделяет причины малочисленности экспонатов для раздела «Янтарь в искусстве XVII – XVIII веков»:

1. отсутствие подлинных предметов тех эпох в Калининградской области;
2. неразвитость антикварного рынка янтарных изделий в нашей стране;
3. невозможность получить доступ в то время к зарубежным частным коллекциям [7, с.29].

Авторы проекта оформления экспозиции – архитекторы Генрих Хозацкий и Марианна Еленевская совместно с ленинградскими художниками и работниками музея нашли нестандартное решение – отразить период расцвета художественной обработки янтаря копиями, а также реконструкциями изделий, утраченных во время Второй мировой войны.

В настоящее время в общественном сознании сложилось достаточно пренебрежительное отношение к копийным изделиям. Однако, по замечанию искусствоведа И.А.Тороповой, целенаправленное копирование произведений искусства для частных и государственных коллекций известно с древности, и преследует научные, эстетические или социальные цели [12, с.242], копирование произведений искусства – сложная, требующая профессиональных навыков деятельность. Художник-копиист не только «вживается» в определенную культурную среду, но и перенимает особенности творческой манеры автора, понимает его намерения и идеалы в искусстве. Поэтому ценность копий, создаваемых для музейной коллекции, складывается из таких качеств, как точность копирования и сохранение впечатления от естественного стиля [12, с.244]. Таким образом, копии имеют важное социокультурное значение. Они помогают музеям воссоздать историко-культурный контекст в экспозициях, наполнять их примерами и образами, характерными для ушедших эпох.

Процесс создания копий для Музея янтаря растянулся на несколько лет. Первые изделия, выполненные ленинградскими мастерами, поступили в фонды в 1978 (Шкатулка в виде сундучка – рис.1), 1979 (Шкатулка-несессер – рис.2) и 1982 (Стопа – рис.3) годах.



*Рис.1 - Шкатулка в виде сундучка. Копия изделия первой половины XVIII в.
Ерцев В.П. КМЯ 1 №1500*



*Рис.2 - Шкатулка-несессер. Копия изделия конца XVII – начала XVIII в.
Ерцев В.П., Ерцев Г.П., Журавлёв А.А. КМЯ 1 №1501*



*Рис.3 - Стопа. Копия изделия первой половины XVII в.
Ерцев В.П., Ерцев Г.П., Ванин А.П., Николаенко А.Г. КМЯ 1 №11499*

В ходе работы художники столкнулись с большими трудностями. К середине XX века особенности обработки янтаря, применявшиеся в XVII – XVIII веках, были утрачены. Неизвестны были рецепты клея, мастики, типы соединения деталей, способы изменения цвета, а также многие технологические методы – конструирование, точение, профилирование, резьба, гравирование и консервация.

Мастера в короткие сроки осваивали основные приемы обработки этого хрупкого камня, полностью или частично забытые в прошлом и позапрошлом столетиях. Были разработаны и апробированы многие материалы, которые использовались в ходе создания копий. Первым промежуточным итогом научных изысканий и лабораторных исследований стала «Методика художественной обработки янтаря» (далее – Методика), разработанная на базе Комбината Декоративно-Прикладного Искусства Ленинграда», и утвержденная Государственной инспекцией охраны памятников (ГИОП) Ленинграда 4 января 1982 года [2, с.46]. Методика объясняет общие вопросы последовательности проведения работ над янтарными изделиями и специфику каждого направления деятельности:

- повторения янтарных изделий (создание копий),
- реставрации янтарных изделий,
- реконструкции (восстановления утрат),
- воссоздания изделий (по сохранившимся фото и проектным материалам).

В каждом направлении самым главным моментом является подбор более подходящего для создаваемого или реставрируемого изделия материала, его обработка и окрашивание в необходимый оттенок.

Искусственное изменение цвета янтаря имеет многовековую историю. Советский минералог Б.И. Сребродольский упоминает со ссылкой на «Естественную историю» Плиния Старшего об окрашивании в Древнем Риме янтаря с помощью корня растения *Anchusa tinctoria* (воловик), морского пурпура и козлиного в темно-красный цвет [11, с.14]. На различные способы окрашивания этого камня в XVIII веке указывают в разделе «Разгадка технологических приемов мастеров прошлого» на сайте «Царскосельская янтарная мастерская». По их данным в этот период прозрачный янтарь подвергался термическому воздействию, а непрозрачный тонировался специальными красителями естественного происхождения [10].

Необходимость разработки новой технологии колорирования янтаря возникла уже на самом начальном этапе создания копий. Она была обусловлена тем, что янтарь в старинных изделиях имеет темный насыщенный оттенок из-за окисления, а в современных – светлый, более невыразительный цвет. Как утверждается в Методике, процесс цветовой обработки янтаря улучшает декоративные качества материала и восполняет процессы, которые не совершились в природных условиях [8, с.14].

Ленинградским мастерам необходимо было найти способ окрашивания – колорирования янтаря – изменение его цвета искусственным путем. Была проведена серия экспериментов: «янтарь погружали в различные растворы, меняя их концентрацию и температурные режимы, прокаливали, проваривали в масле, меду» [9, с.37]. После многочисленных опытов и сотрудничества с Ленинградским Технологическим институтом советскими художниками-камнерезами был разработан метод колорирования янтаря и получено авторское свидетельство «Способ окраски янтаря» (рис.4). В ходе окрашивания изделие выдерживалось в горячем растворе синтетического или натурального красителя, благодаря чему поверхность янтаря приобретала насыщенный красноватый оттенок.



Рис.4 - Авторское свидетельство «Способ окраски янтаря» 1987 г.

В 2023 г. в Калининградском музее янтаря проходила выставка из фондов музея и частных коллекций «Янтарная комната версия 2.0. К 20-летию воссоздания шедевра», которая в том числе проиллюстрировала специфику и историю длительного процесса технологических изысканий. Специально для этой выставки ювелир, камнерез Анастасия Никифорова – дочь художника Александра Александровича Журавлёва, передала в дар Музею образцы материалов, с которыми работали реставраторы по янтарю с конца 1970-х годов: натуральный и синтетический красители (рис.5), рыбий клей (рис. 7), мастику (рис. 8), канифоль (рис. 10), шеллак (рис. 9), фольгу (рис. 11), а также образцы колорированного янтаря – от светло до насыщенно-желтого цвета (рис.6).



Рис.5 Синтетический и натуральный красители для янтаря



Рис.6 Образцы колорированного янтаря

Одной из главных проблем была разработка состава клея для скрепления янтарных фрагментов между собой и приклеивания их на деревянную основу. Современные клеи разрушают поверхность янтаря. По словам Александра Журавлёва, даже если современный клей и подходит для крепления элементов, при последующих реставрациях «необходимо было бы использовать различные растворители, в частности ацетон, что отрицательно сказалось бы на хрупких элементах янтарного убранства, дополнительно их пересушивая и растворяя» [3, с.24]. Поэтому перед реставраторами предстала сложная задача – определить рецепт старых клеящих составов, снятых с исторических кусочков Янтарной комнаты. После серии исследований выяснилось, что в качестве связующего материала мастерами XVII – XVIII веков использовался рыбий клей (рис.7), получаемый из плавательных пузырей, а также отходов переработки рыб (обычно осетровых). Но, «по прошествии многих лет рыбий клей делается гораздо прочнее окислившегося янтаря и «отрывает» большое количество маленьких (до 3 миллиметров) кусочков янтаря от внутренней поверхности. Это было замечено при реставрации янтарных шахмат из коллекции Эрмитажа, где выявлены многочисленные отслоения янтарных пластин от основы. Такое же явление наблюдалось у ряда подобных изделий, в том числе и панелей подлинной Янтарной комнаты Екатерининского дворца» [3, с.29]. Помимо рыбьего клея на сохранившихся деталях подлинной Янтарной комнаты присутствовали следы мастики (рис.8) – густой застывшей массы, в состав которой входили воск и канифоль.



Рис.7 Рыбий клей

В итоге были разработаны два оптимальных состава для склеивания янтарных деталей:

1. воско-канифольная мастика (50% из натурального воска, 46% канифоли (рис.10) – полупрозрачной смолы, получаемой при перегонке живицы хвойных растений [4]) с добавлением шеллака (4%) – смолы, выделяемой насекомыми (лаковыми червецами), обитающими на побегах тропических растений [13]. Шеллак (рис.9) также использовался для заполнения мелких трещин, сколов янтаря,

2. воско-канифольная мастика с небольшой добавкой даммары (до 10%) – прозрачной смолы одноименного тропического дерева [1].

Таким образом, был получен «прекрасный, долговечный и обратимый клей с высокими адгезионными свойствами» [3, с.29].



Рис.8 Мастика

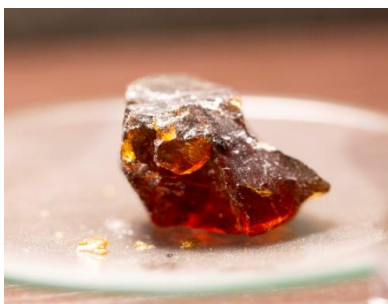


Рис.9 Шеллак



Рис.10 Канифоль

В процессе копирования реставраторами также была освоена одна из сложнейших техник углубленной по отношению к фону резьбы – создание инталии. По словам Александра Журавлёва «для того, чтобы внутренняя резьба на прозрачном камне «играла» и выявились все объемы, под прозрачный камень мастера прошлого подкладывали золоченую фольгу» [3, с.38]. Золоченая фольга (рис.11), использовавшаяся для изготовления копийных предметов изготавливалась ведущим ювелирным предприятием СССР – трестом «Русские самоцветы».

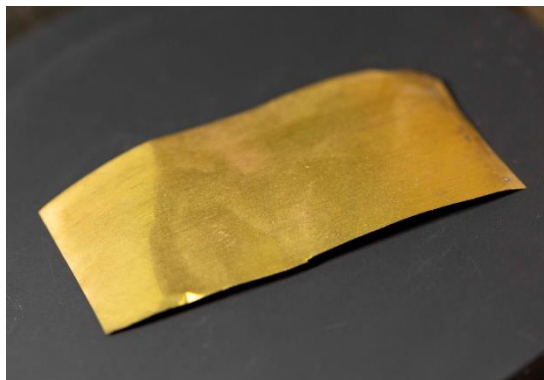


Рис.11 Золоченая фольга

Создание копий мастерами-реставраторами продолжалось более десяти лет: с 1978 по начало 1990 годов. Кропотливая и сложная работа по копированию янтарных изделий XVII – XVIII веков для экспозиции Музея янтаря в конце 1970-х годов сделала возможным возрождение забытого искусства высокохудожественной обработки янтаря. Все большое начинается с малого: благодаря пробам и ошибкам, усвоенным в результате создания копий, стало возможным возрождение утраченной Янтарной комнаты. Этот факт подтверждается словами художников-реставраторов высшей категории, входившего в состав коллектива мастеров, создававших янтарные произведения искусства, Александра Михайловича Крылова: «Мы прошли хорошую школу, работая над изделиями для Музея янтаря. Не было бы этих работ, я не знаю, что получилось бы с Комнатой. Музей янтаря стал претечей всей этой работы» [6, с.33].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Даммара. Большой словарь иностранных слов. // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_fwords/9084/%D0%94%D0%90%D0%9C%D0%9C%D0%90%D0%A0%D0%90 (Дата обращения: 30.08.2024)
2. Журавлёв А.А. Воссоздание Янтарной комнаты. Формирование рабочего коллектива. история и опыт. // Преемственность традиций художественной обработки янтаря. Проблема подготовки кадров: Материалы международной научно-практической конференции 21 октября 2005 года, Калининград / Под ред. З.В. Костяшовой; Сост. Т.Ю. Макеева. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2006. – 83 с.
3. Журавлёв А.А. Жизнь в янтарном свете / Калининградский областной музей янтаря. – Калининград, 2013. – 176 с., ил.
4. Канифоль. Толковый словарь Ушакова Д.Н. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ushakov/830518> (Дата обращения: 30.08.2024)
5. Костяшова З.В. Государственный Эрмитаж и создание Калининградского музея янтаря // Каталог «Балтийский янтарь в собрании Государственного Эрмитажа». – Санкт-Петербург, 2007. – 176 с.
6. Костяшова З.В. Калининградский музей янтаря и становление Петербургской мастерской художественной обработки янтаря. // «Янтарь из собрания Государственного музея-заповедника «Царское село». Каталог выставки. – Калининград: Калининградский областной музей янтаря, 2005. – 76 с.
7. Костяшова З.В. Участие оружейной палаты в формировании художественной коллекции Калининградского музея янтаря. // Союз Земли и Воды. Произведения XV–XIX веков из коллекции натуралий Музеев Московского Кремля. Каталог выставки. = Union of Earth and Water. Works of the 15th–19th centuries from the collection of naturals of the Moscow Kremlin Museums. Exhibition catalogue. – Калининград: Калининградский областной музей янтаря, 2008. – 90 с.

8. Методика художественной обработки янтаря (на основе традиций западноевропейских и русских камнерезных школ XVII – XVIII в.в.). – Ленинград, 1981. // Архив Калининградского музея янтаря, дело 119.
9. Поляков А. Второе рождение Янтарной комнаты. // Наука и жизнь. 1980. № 7. – М.: Правда, 1980. – 160 с.
10. Разгадка технологических приемов мастеров прошлого. // Электрон. дан. Режим доступа URL:<http://www.amberroom.ru/index.php/en/proj-en-2/amber-room-en?showall=&start=5> (Дата обращения: 20.08.2024)
11. Сребродольский Б. И. Янтарь. – М.: Наука, 1984.– 112 с., ил.
12. Торопова И.А. Копии янтарных портретов-камей XVIII века в собрании Калининградского областного музея янтаря. // Коллекция в пространстве культуры: материалы международной научной конференции / под ред. И.А. Поляковой, Т.Ю. Суворовой; Калининградский областной музей янтаря. – Калининград, 2018. – 386 с., [393] ил.
13. Шеллак. Новый словарь иностранных слов. // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_fwords/30168/%D0%A8%D0%95%D0%9B%D0%9B%D0%90%D0%9A (Дата обращения: 30.08.2024)

THE NEW EXHIBITS OF AMBER MUSEUM AS AN ILLUSTRATION OF RECREATION OF PAST TECHNOLOGIES

Zhvanko Valeriya Vladimirovna, researcher of the scientific and exhibition department

Kaliningrad Regional Amber Museum, Kaliningrad, Russia, e-mail: Himmlichwanderin@mail.ru

The paper is dedicated to rebirth in 1970-th the forgotten art of highly artistic amber processing. The prerequisites considered: the beginning of coping the amber masterpieces XVII–XVIII cent. by Lenin-grad artists for Kaliningrad amber museum, what is the technological base for remade the lost in World War II famous Amber room. The issues that stone-cutters masters faced to according that complicated process and also the tech insights they made are described. There are presented the materials used by masters while working on item and became after the exhibits of Amber museum.

ЕЛЕНА ГРАДИНАРОВА: ТВОРЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ МАСТЕРА (1959–2009)

Костяшова Зоя Васильевна, ведущий научный сотрудник научно-экспозиционного отдела

ГБУК «Калининградский областной музей янтаря», Калининград, Россия,
e-mail: z.kostyashova@mail.ru

Посвящено деятельности известной калининградской художницы Елене Градинаровой, работавшей с янтарем на рубеже 1990-х и 2000-х годов. Она относилась к той плеяде молодых талантливых мастеров середины 90-х годов прошлого века, которые заложили основы современного янтарного искусства в Калининградской области. Базируясь на национальных и европейских традициях обработки камня, Елена Градинарова сумела найти свой особый подход в работе с янтарем, она уделяла особое внимание сохранению естественной красоты и своеобразия балтийского самоцвета.

В ряду художников, пришедших в янтарное искусство в Калининградской области в 1990-е годы, Елена Градинарова (рис. 1) занимала свое достойное место. Всего десять лет полноценной творческой работы отвела ей судьба, но за этот короткий срок она сумела создать множество оригинальных произведений, выработать свой особый стиль, свои подходы в работе с янтарем и заявить о себе как о серьезном, состоявшемся мастере. Ее работы узнаваемы благодаря их яркой образности, характерному трепетному и очень вдумчивому отношению мастера к янтарю и своеобразным конструктивным и художественным решениям, которые Елена использовала для выявления не всегда очевидных декоративных качеств камня. Среди всех материалов, которые она использовала для создания своих неординарных и красочных произведений, самым родным был янтарь, который дарил ей тепло, привлекал разнообразием цвета, формы и фактуры, пробуждал воображение и творческую мысль. Талант Елены Градинаровой был подобен ее любимому камню, такой же щедрый, жизнерадостный, теплый, светящийся изнутри, играющий всеми красками и часто непредсказуемый.



*Рис. 1. Елена Градинарова - дипломантка конкурса «Алатырь 2007».
Калининград. Фото С. Покровского*

Лена родилась в городе Резекне, в Латвии. В Калининград приехала в 1984 году. В непростые перестроечные годы работала в Доме быта, прорабом в Калининградском техническом институте, затем там же на научно-экспериментальном предприятии «СТУДКО». Художница начала заниматься янтарем в середине 1990-х годов и сумела завоевать признание еще, будучи художником-любителем. Сначала изготавливала простые украшения на каждый день - колечки, брошечки, браслетики. Уже в 1996 году она представила свои первые изделия на выставке «Мир камня» в Санкт-Петербурге [1; 2; 7].

Она стремилась получить хорошее специальное образование, чтобы стать настоящим профессионалом. В 1999–2000 гг. обучалась в Мультимедиаальной академии в Гданьске, где с середины 1990-х годов стал формироваться центр янтарного ювелирного искусства и куда приезжали работать и повышать свою квалификацию художники со всей Европы. Там она приобрела не только профессиональные навыки в работе с янтарем и металлом, но познакомилась с главными стилевыми направлениями в современном декоративно-прикладном искусстве. Созидательная атмосфера, которая царила в Академии, заинтересованное внимание к ее творчеству и поддержка со стороны польских учителей и друзей дали мощный импульс для развития ее природного дарования.

Главной темой ее произведений стала природа во всем ее разнообразии, увиденная особым зрением художника, пропущенная через призму его впечатлений и переживаний. У Лены было несколько излюбленных тем, одна из них – обитатели подводного царства. Образы фантастических рыб, морских коньков, звезд и других жителей морских глубин возникали сначала в ее воображении, а затем с помощью кожи, янтаря и других материалов появлялись в реальной жизни и становились ее частью. В подвесе «Реликтовая рыба» (рис.2) слегка обработанный янтарь естественной формы и фактуры прекрасно сочетается с рельефной окрашенной кожей и создает живой образ древней рыбы.



*Рис. 2. Подвес. «Реликтовая рыба». 2005. Янтарь, кожа. Частная коллекция.
Фото С. Покровского*

Очень необычными получались у художницы работы из так называемого «шлакового» или «земляного» янтаря. В 1990-е годы на него мало кто обращал внимание. Е. Градинарова использовала такой янтарь для создания аксессуаров для одежды и сувениров. Особенно в этой серии удачным получился сувенир «Воробей» (рис. 3), идею которого ей подсказал Гедимин Яблоньский, известный польский художник, основатель Мультимедиаальной академии и крупнейшей в Европе ежегодной выставки янтаря «Амбериф» в Гданьске [4, с. 16].



*Рис. 3. Композиция «Воробей». 2008. Янтарь, кожа, металл, перо.
Частная коллекция. Фото С. Покровского*

Елена Градинарова тесно сотрудничала и дружила со многими калининградскими художниками. Совместно с Андреем Кавецким был создан выразительный подвес «Мамонт-слон» (рис. 4) из цельного куска янтаря на декоративной янтарной цепочке.



*Рис. 4. Подвес «Мамонт-слон». 2004.
Янтарь. Частная коллекция.
Фото С. Покровского*



*Рис. 5. Браслет-кольцо «Подсолнух». 2006.
Янтарь, кожа. Собрание Музея янтаря.
Фото С. Ломакина*

«Цветы» - еще одна тема, которая вдохновляла художницу на создание самых разнообразных изделий. Несомненной ее удачей, этапным изделием в творчестве стал браслет-кольцо «Подсолнух» (рис. 5) [3, 161-164]. Именно при создании этого произведения проявились самые сильные стороны дарования этого замечательного мастера: умение использовать форму, фактуру, цвет янтаря, включать в композицию изделия, имеющиеся на камне шероховатости, неровности и трещинки, при этом обращаться с янтарем очень смело и свободно. Для соединения деталей вместо металла художница использовала мягкую и гибкую кожу, которой она как бы прошивала янтарь, изделие получилось подвижным, легким, теплым на ощупь, светящимся на просвет, очень солнечным. Браслет создан из довольно крупных натуральных, отполированных кусочков янтаря разной расцветки и мелкого натурального и термически обработанного янтаря. Крупные куски-листья сохраняют природный рельеф, они прошиты кожаной нитью, которая одновременно является частью конструкции и декоративным элементом.



*Рис. 6. Кулон «Солнечный круг». 1999. Янтарь, кожа.
Частная коллекция*

Соляная тема прослеживается и в кулоне «Солнечный круг» (рис. 6). Специально подобранные узкие пластинки янтаря, как солнечные лучи, расходящиеся в разные стороны и святающиеся на солнце, завораживают своей естественной красотой и близостью к природе, они и сами часть природы. Это изделие по образному строю близко к народной культуре. Кожаное плетение напоминает плетение лозы.



Фото А. Баранова

Елена создала несколько вариантов украшений в виде одуванчика (рис. 7). Среди них выделяется брошь-эполет [6, с. 60]. Обычный цветок, который растет в городе, художница превратила в «царственный», минимальными средствами показала его роскошь и необыкновенную красоту. Умело и точно подобран янтарь, создана практически идеальная композиция, которая притягивает взор, дарует радость и эстетическое наслаждение.

Калининград – это город каштанов, которые пышно цветут в мае. Тема «каштанов» нашла свое отражение и в творчестве Е. Градинаровой. Она создавала броши, браслеты, эполеты (рис. 8) и предметы интерьера в виде роскошных веток каштанов. При создании серии этих украшений художница работала с янтарем как с тканью, прошивала его кожей и металлической нитью. Изделия получались гибкими и подвижными как настоящие ветви каштанов [5, с. 24-25].



Рис. 8. Композиция «Ветка каштана». 2007. Янтарь, проволока. Собрание Калининградского музея янтаря. Фото С. Ломакина

Художница много времени посвятила показу моделей одежды на различных выставках и конкурсах в Музее янтаря, «Балтик-Экспо» и других выставочных площадках Калининграда, а также на выставке «Jupwex» в Санкт-Петербурге. В них крупные янтарные аксессуары доминировали, создавали образ, а одежда была только необходимым фоном.



*Рис. 9. Сумка «Яблоко». 2001.
Янтарь, кожа. Частная коллекция*



*Рис. 10. Сумка «Лондонский автобус». 2009.
Янтарь, кожа. Частная коллекция.
Фото С. Покровского*

К костюму она всегда стремилась создавать подходящие аксессуары, чаще всего это были сумки самых разнообразных, иногда причудливых форм (рис. 9), украшенные янтарем. Среди них, несомненно, выделялась одна из последних работ Елены – сумка «Лондонский автобус» (рис. 10). Создан великолепный художественный образ двухэтажного английского автобуса, который является своеобразным символом туманного Альбиона. Это символ движения и жизни большого города. Очень контрастно и выразительно выглядят желтые пластины-окна из янтаря на красном кожаном фоне.

В изделиях художницы ощущается сильное влияние прибалтийских традиций художественной обработки янтаря. Особое предпочтение она отдавала созданию украшений и аксессуаров для одежды, в которых янтарь сочетался с кожей, а также часто применяла такие материалы, как фруктовые косточки, дерево, натуральные ткани, струны от старых музыкальных инструментов и даже пух ангорской козы. Ее изделия экспрессивны и зрелищны, они притягивают взгляд своими раскованными, зачастую буйными формами, даря зрителям тепло и жизнерадостность глазами, восхищалась им и щедро делилась этим радостным чувством с другими.

Е. Градинарова была постоянным участником областных, республиканских и международных выставок и конкурсов, в том числе «Amberif» в Польше, «Образ и форма» в Санкт-Петербурге, «Amber Trip» в Вильнюсе, «Янтарь Балтики» в Калининграде, а также представляла янтарное искусство нашего региона в Англии, Франции и Швеции.

Работы этого замечательного мастера хранятся в Калининградском музее янтаря, Калининградской художественной галерее, Музее Мирового океана, в частных собраниях в России и Польше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градинарова Елена Аркадьевна / автор текста Н. Шамардина // Каталог Второго регионального конкурса янтарных изделий «Алатырь 2004». Калининград, 2004. С. 123-124.
2. Градинарова Елена // Каталог Второй международной биеннале авторских изделий из янтаря «Алатырь 2007». Калининград, 2007. С. 91-92.
3. Костяшова З.В. Янтарь в творчестве калининградских художников // Янтарь в природе и искусстве. Калининград, 2017. С. 124-185.
4. Областная биеннале авторских изделий из янтаря «Янтарная осень»: каталог выставки. Калининград, 2008. 54 с.

5. Янтарный фонд Елены Градинаровой / ред. С.В. Петров. Вильнюс: Standartu Spaustuve, 2009. 64 с.
6. Янтарь России / автор текста З.В. Костяшова. Калининград: Пикторика, 2008.
7. Kostiaszowa Z. «Sloneczny каме́нь» Jeleny Gradinarowej» // Bursztynisko. 2010. № 32. S. 43–44.

ELENA GRADINAROVA: A CREATIVE PORTRAIT OF A MASTER (1959–2009)

Kostyashova Zoya V., leading researcher of the scientific and exhibition department

Kaliningrad Regional Amber Museum, Kaliningrad, Russia,
e-mail: z.kostyashova@mail.ru

The article is dedicated to the famous Kaliningrad artist Elena Gradinarova, who worked with amber at the turn of the 1990s and 2000s. She belonged to that galaxy of young talented masters of the mid-90s of the last century, who laid the foundations of modern amber art in the Kaliningrad region. Based on national and European traditions of stone processing, Elena Gradinarova managed to find her own special approach to working with amber; she paid special attention to preserving the natural beauty and uniqueness of the Baltic gem.

БУСЫ «ВОСКОВУХИ»

Кривонос Ирина Андреевна, ученый секретарь

ГБУК «Калининградский областной музей янтаря», Калининград, Россия,
e-mail: krivonos.ira@gmail.com

Рассмотрена традиция ношения и использования янтарных бус у русских, сопоставлены бусы из коллекций разных музеев России, Казахстана, сделан вывод о возможном едином происхождении материала. Новизна состоит в комплексном исследовании одного предмета – янтарных бус определенной формы, которые чаще рассматриваются в комплексе «янтарь» в культуре, а не как самостоятельный артефакт. Также новизна состоит в охвате исследования, направленного на вычленение всех вариантов ношения янтарных бус на рубеже XIX–XX вв. Выводы касаются двух аспектов: атрибуции конкретного предмета и условий сохранения русских традиций.

Введение

Коллекция Калининградского областного музея янтаря – это собрание предметов, имеющих естественно-научную и исторически-художественную ценность. Предметный ряд, конечно, соотносится с тем, что музей расположен в том же регионе, что и самое большое месторождение балтийского янтаря, на котором ведется крупнейшая промышленная добыча камня. С 1945 года область входила в состав РСФСР, а с 1991 года в РФ и янтарь приобрел статус советского и российского камня. До этого в его истории, охватывающей как минимум 33 млн. лет, он бывал камнем разных народов и разных предназначений, но как всякий драгоценный, привлекающей своей красотой материал, он широко распространялся по миру. Янтарь был известен в Новгородской республике благодаря её обширным торговым связям с населением Самбийского полуострова, еще до появления Гевтонского государства и Пруссии. Очевидно, что в XVII – XVIII вв. янтарь был известен русским царям и императорам как драгоценный дар от Прусского герцогства и позднее королевства.

Но этим знакомство с янтарём русских не ограничилось. Обыватели часто, говоря о янтаре, обращаются к такой лексической конструкции как «бабушкины бусы». Принято считать, что причина такого названия для янтарных изделий – это миллионные тиражи бус Калининградского янтарного комбината, выпущенные в период 1950-60-х годов. Это период молодости бабушек нынешних 40–летних. Но дело в том, что русская культура знает еще один янтарный бум и уже к 1950-60-м годам янтарь вполне мог носить массовое название «бабушкиных» бус.

Таким образом, янтарь и янтарные украшения, которые в настоящее время переживают очередную пик популярности – это атрибут женского костюма, вписанный в историю России уже более сотни лет. Однако данные о периоде моды на янтарь столетней давности край разрозненны и в связи с предполагаемой дешевизной янтарных товаров имеют крайне малое значение для исследователей быта русских периода конца Российской Империи и последующей жизни русской деревни.

Совокупность таких факторов как наличие в РФ самого большого янтарного месторождения, развивающегося янтарного производства, крупного государственного музея янтаря и ряда частных инициатив, открытых ввиду появившейся экономической выгоды в презентации янтаря, говорит об актуальности исследования бытования янтаря у русских, что предшествует его появлению на многонациональной советской арене.

Методы исследования и атрибуции изделий основаны на географическом и количественном анализе нахождения самих бус в Государственном каталоге музейных предметов РФ, анализе фотографий характерных бус, возраст фото и география. Немаловажную роль в исследовании играет непосредственное общение с представителями музеев и исследователями, которые могут прояснить некоторые положения выстроенной гипотезы.

Обзор литературы представляет собой сложность именно в том аспекте, что при наличии даже на фотографиях янтарных бус, они не описаны в пособиях по содержанию русского костюма. Есть вероятность, что, будучи фабричными, они не считались за значимую часть ансамбля костюма, по крайней мере, исследователями. Так в фотогалереях мастера по русскому традиционному крестьянскому костюму Татьяна Юрьевна Куликова и собирателя Русского народного костюма Сергея Глебушкина есть множество костюмов, в которых присутствуют сами бусы, но не описание. Описаны они частично в каталоге «Украшения русских крестьянок Южного и Юго-Западного Алтая в конце XIX – первой половине XX вв» научного сотрудника Восточно-казахстанского областного архитектурно-этнографического и природно-ландшафтного музея-заповедника Шарабариной Т.Г.

Также большой раздел посвящен происхождению самих бус и янтаря, который использовали для их изготовления в монографии научного сотрудника Калининградского областного музея янтаря В.И. Резчикова. Исследуя тему добычи и обработки самоцвета в регионе, В.И. Резчикова обнаружила, что в XIX веке в результате начала применения фирмой «Штантин и Беккер» промышленной добычи янтаря при помощи разработки грунта экскаватором, водолазной добычи и горных выработок, которые увеличили объем 5000-7000 кг. до 400 000 кг. в 1880 г. и 500 000 кг. в 1890 г. поставки на внешний рынок увеличились в 100 раз. В разных городах открывались представительства и фабрики по производству янтарных изделий(1).

В.И. Резчикова указывает, что для экспорта в Российскую Империю Беккер открыл фабрику в Полангене, на границе Восточной Пруссии и России. Здесь производили множество товаров, в том числе круглые граненые бусы. Причем, если изначально производились бусы в форме оливок, то вскоре они были вытеснены цилиндрическими, более дешевыми в производстве. В 1878 г. в Москве в доме Третьяковых открылась янтарно-токарная фабрика, а уже в 1879 г. появился второй филиал (2).

Бусы, которые отправляли в Россию, имели название конские кораллы – плоские в форме трехмерного эллипсоида, с огранкой на двух противоположных сторонах, на них использовались кусочки янтаря с трещинами (3).

Янтарные бусы представляются весьма интересной темой, которая может раскрыть некоторые факты о сохранении русского костюма и в целом на быт русской деревни. С учетом важности понимания национальной идентичности и осознание того, что для массового жителя страны она почти утрачена, тема и способ её раскрытия через бытовой предмет становится актуальной.

Современное наличие

В коллекции Калининградского областного музея янтаря, помимо большого количества массовых и высокохудожественных янтарных изделий находятся три образца янтарных бус, которые предположительно относятся в моде конца XIX – начала XX вв. Бюкебургские (Линдхорские) свадебные бусы XIX в. (КМЯ 1 №-5704 и КМЯ 1 № 6609), бусы янтарные, переданные семейскими староверами Забайкалья (КМЯ 1 № 4554, КМЯ 1 № 6434).

Бусы имеют характерную схожую структуру: прозрачный янтарь, сами бусы граненые, что изначально говорило возможности их сходного происхождения. Действительно оказалось, что источник этих янтарных бус действительно централизованный. При этом тема данного исследования – это история бытования бус в Российской Империи, а точнее бытования их в русском костюме. Для начала надо упомянуть, что подобные янтарные бусы имеются сразу в ряде современных российских музеев, что отмечено в государственном каталоге музейных предметов РФ. Так:

- нитка размером 72,5 см и 81 см находится в собрании ГАУК «Иркутский областной краеведческий музей имени Н.Н. Муравьева-Амурского»;
- длиной 68 см – в ГБУК «Ростовской области "Азовский историко-археологический и палеонтологический музей-заповедник имени А.А. Горбенко"»;
- высотой 19 см в БУК Вологодской области «Великоустюгский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник»;
- длиной 19 см, 30 см, 32 см, 34 см – в БУК «Тарногский музей традиционной народной культуры» Тарногского муниципального округа Вологодской области;
- 66 см, 52 см, 67 см, 39 см, 75 см, 55 см, 42 см, 52 см, 36 см, 50 см, 46 см, 32 см, 70 см, 52 и 32 см, также бусы в связке с алюминиевой цепочкой – 66 см (возраст изделия обозначен как конец XVIII – начало XIX вв.), 48 см связка из янтарных и стеклянных бус, в ГАУК Республики Бурятия «Этнографический музей народов Забайкалья»;

- 37,9 см в МБУК «Тотемское музейное объединение»;
- в БУК Вологодской области «Вологодский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник» – бусы янтарные 33,8 см обозначены 1940-ми (обычно возраст XIX нач.- XX);
- 65 см – ГБУК Московской области «Государственный музей-заповедник "Зарайский кремль"»;
- 51 см (первая половина XIX в.) ФГБУК «Государственный Эрмитаж»;
- 29,5 см (1880 г.) МАУК «Череповецкое музейное объединение»;
- 30,5 см. (XIX в.), 34 см, 44 см, 31 см, 84 см, 47 см, 74 см, 78 см, 47 см, 69 см в ГБУК Архангельской области «Государственное музейное объединение «Художественная культура Русского Севера»;
- 41,5 см, 27,8 см, 20,5 см (XIX в. производство Российская империя) – БУК Вологодской области «Вологодский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник»;
- ГАУК «Оренбургский губернаторский историко-краеведческий музей», 99 см МБУК «Серовский исторический музей».

На фотографиях конца XIX века из Архангельской и Вологодской губерний можно увидеть довольно много молодых девушек, в праздничный костюм, которых входят характерные янтарные бусы. Бусины крупные граненые близки к шайбовидной форме, прозрачного коричневого янтаря центральная бусина во всех обнаруженных вариантах заметно больше, при этом бусины в целом начинают увеличиваться к центру.

Научный сотрудник отдела русской этнографии Исследовательница Восточно-казахстанского областного архитектурно-этнографического и природно-ландшафтного музея-заповедника Т.Г. Шарабарина указывает, что среди «поляков» такие бусы называются «восковухи».

Бусы и русские

В настоящий момент довольно сложно понять, в каком количестве бусы присутствовали в культуре и нарядах в России до революции. Возможно, они были достаточно сильно распространены. Но коллективизация и урбанизация населения страны, которые наступили после гражданской войны, негативно повлияли на сохранение преемственности культуры. Видимо, по этой же причине бусы сохранились в культуре более менее изолированных групп. Дело в том, что в Восточном Казахстане «поляки» и «семейские» Бурятия, которых также иногда называют поляками – это староверы Ветковского согласия. Современное название согласия происходит от названия города Ветка, основанного русскими староверами в конце XVII в. в составе Речи Посполитой. После первого раздела Польши Ветка оказалась в составе Российской империи и уже в конце XVIII староверов из Ветки насильственно выдворяют в разные регионы.

Траектория расселения этой группы весьма широка и охватывает не только Южный Урал и Забайкалье, но и другие, в том числе северные регионы. Сведений о компактном расселении ветковских довольно мало. Но Бурятия и Восточный Казахстан входят в их число. При этом не удалось найти ни одного доказательства в пользу того, что ветковские староверы уже знали янтарные бусы на момент нахождения в Ветке.

Ветка остается центром старообрядчества и сейчас. Там работает государственное учреждение культуры «Ветковский музей старообрядчества и белорусских традиций», в котором не только нет янтарных бус в коллекции, но также специалистам музея ничего не известно о традиции ношения янтарных бус. Фактически при распространенности аналогичных бус в России, Восточной и Западной Европе (линдхорский свадебный костюм, бусы польских курпей) нынешняя Гомельская область и Ветка не обладают ни традицией ни знанием о её распространении.

Связать Архангельскую губернию Российской империи и староверов несложно: Пинежский округ, где бусы присутствуют в праздничном костюме – место, где было традиционно больше староверов, чем последователей Синодальной православной церкви. Однако это не регионы расселения одного согласия – север славится тем, что уже в XIX веке православные миссионеры отмечают общительство множества согласий и толков. К тому же сложно в настоящее время получить данные от представителей Государственного музейного объединения «Художественная культура Русского Севера»: по тем данным, которые удалось обнаружить – бусами занимался один сотрудник, ныне покойный.

Таким образом, нельзя сделать точного вывода об особой популярности бус именно у староверов ветковского согласия. Кроме того, если импорт янтарных бус был велик, то в настоящее время невозможно установить точной причины их массовой утраты. В Усть-Каменогорске в полевых записях есть указание, что русские неохотно сдают бусы в музей, так как они помогают «от зоба». Возможно, это причина характерная для всей страны и хоть бусы очевидно были очень дешевые – из-записей в Восточном Казахстане: «- Мань, тебе конфетку взять или восковуху? - Лучше, маманька, восковуху».

При этом же староверы, проживающие в Бурятии, при передаче бус и костюма в ГБУК «Музей янтаря», утверждали, что ношение множества ниток янтарных бус, свидетельствовало о статусе и богатстве женщины. В Бурятии также приписывают бусам больший, чем в остальных случаях возраст – конец XVIII века. Это косвенно возможно, так как есть данные о более ранних производствах на конец XVIII века, когда как раз янтаря добывали меньше и цена его могла быть выше. Однако, это можно считать только гипотезой, которая пока еще ничем не подтверждена.

Выводы

Очевидно, что исследование граненых янтарных бус потребует достаточно большого времени. Их происхождение – как продукции фирмы «Штантин и Беккер» можно считать почти доказанным, однако значение ценности в женском костюме и исчезновение из гардероба остаются открытыми вопросами.

Возможно, выражение «бабушкины бусы», действительно пришло к нам в применении к изделиям Калининградского янтарного комбината, однако бабушки по возрасту – это внучки и правнучки тех, кто бусы носил в Российской империи и у них могли сохраниться воспоминания о предмете из далекого детства или семейные воспоминания и альбомы.

Янтарные бусы русских – это больше вопросов, чем ответов даже в Калининградской области, где находились все главные янтарные производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И. Резчикова «Янтарная мануфактура» под редакцией Т.Ю. Суворовой – Калининградский областной музей янтаря. – Калининград, 2023. – 456 .
2. Т.Г. Шарабарина «Традиционные серьги и нагрудные украшения русских крестьянок Южного и Юго-Западного Алтая. Каталог фондовой коллекции» (рукопись вступительной статья). – Усть-Каменогорск, 2007 г.– 17 с.;
3. Т.Г. Шарабарина «Традиционные серьги и нагрудные украшения русских крестьянок Южного и Юго-Западного Алтая. Каталог фондовой коллекции» (рукопись каталога). – Усть-Каменогорск, 2007 г.– 62 с.;
4. ГОСКАТАЛОГ. РФ <https://goskatalog.ru>;
5. Интервью директор ГУК «Ветковский музей старообрядчества и белорусских традиций» Котляровым Ю.П.;
6. Сайт ГУК «Ветковский музей старообрядчества и белорусских традиций» <https://ru.vetka-museum.by/>;
7. Ответ на запрос в Муниципальное автономное учреждение культуры «Череповецкое музейное объединение»;
8. Интервью сотрудников «Государственное музейное объединение «Художественная культура Русского Севера».

AMBER BEADS (VOSKOVUKHI)

Krivosos Irina Andreevna

Kaliningrad Regional Amber Museum,
Kaliningrad, Russia, e-mail: krivosos.ira@gmail.com

The paper objective is to consider the tradition to wear on and to use the amber beads among Russians'. Also to compare the beads from different museum's collections of Russian Federation and Kazakhstan, to make a suggestion about the possibility same origin. The originality of paper consists of fact that of complex research of one item – amber beads with particular shape which used to consider as a part of wider subject "amber" in culture, but not as separate artifact. Also originality is about research coverage, aimed to highlight all the types people wore amber beads turn of XIX–XX centuries. The article conclusions are about two things: attribution of item and circumstance of Russian traditions preservation.

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРЕНД ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ – «ЯНТАРНОЕ ШАМПАНСКОЕ»

¹Лемешко Валерия Дмитриевна, студентка направления
«Технология продукции и организация общественного питания»

²Воротников Борис Юрьевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой химии

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹lemeshkovaler@mail.ru; ²vorotnikov@klgtu.ru

Разработан инновационный безалкогольный напиток на основе янтарной кислоты, названный «Янтарное шампанское» («Яша»), который может стать альтернативой традиционным расслабляющим напиткам и веществам, что актуально на фоне растущего интереса к здоровому образу жизни и необходимости снижения негативных последствий, связанных с алкоголизмом, наркозависимостью и применением нейролептиков для улучшения общего состояния организма. В последствии будет предложен потенциальный образец этого напитка с конечными выводами о его результативности.

Функциональное состояние организма является ключевым показателем его здоровья и жизнеспособности. Оно включает в себя физическое, психическое и эмоциональное благополучие человека. Основные системы регуляции функционального состояния организма играют ключевую роль в обеспечении его гомеостаза, адаптации к изменениям окружающей среды и поддержании оптимального уровня функционирования. К таким системам относятся нервная система (ЦНС), эндокринная система и иммунная система, каждая из которых выполняет свои специфические функции и взаимодействует с другими для достижения комплексного управления физиологическими процессами. В современном мире увеличение числа стрессовых факторов, ускорение темпа жизни и рост числа психических расстройств привели к росту популярности различных средств для регуляции этого состояния организма. Среди них особенно выделяются алкоголь, курение, наркотики, нейролептики, а также другие альтернативные средства, например, такие как чай ГАВА, в основе которого лежит ГАМК (гамма-аминомасляная кислота, 4-Аминобутановая кислота) (*Acidum gammaaminobutyricum*) или БАДЫ на основе той же ГАМК. Тем не менее, интеграция алкоголя, наркотических веществ и табакокурения в данные системы регуляции приводит к значительным нарушениям в их функционировании, медленно, но верно начинают их разрушать и подавлять их способности, что, в свою очередь, вызывает серьезные проблемы в современном обществе. А использование нейролептиков, несмотря на их эффективность, часто вызывает серьезные побочные последствия, которые могут значительно снижать качество жизни людей, начиная от экстрапиримидных симптомов (например, тремор), заканчивая метаболическими нарушениями и эмоциональными расстройствами [1]. Хочется отметить, что в последние годы возрос интерес к естественным и менее инвазивным методам регуляции функционального состояния организма. Одним из таких громких разработок стал синтетический спирт - Alcarelle, созданный британским ученым Дэвидом Наттом [2]. Также одним из методов является употребление продуктов, пищевых добавок, в которых содержится та же ГАМК, которая является основным атрибутом изменения состояния. Многие ученые изучали и изучают разные действие гамма-аминомасляной кислоты на организм человека, и все сходятся в том, что данное вещество является основным медиатором, участвующим в процессах центрального торможения [3][13]. ГАМК - основной ингибитор нейротрансмиссий в центральной нервной системе, а также в мозге человека и играет ключевую роль в снижении активности нервных клеток. За счет этого происходит расслабление, снижение тревожности и достижение успокаивающего эффекта [4]. ГАМК может поступать как с продуктами питания преимущественно за счет овощей, фруктов и низкожирных кисломолочных продуктов, но также есть возможность превращения янтарной кислоты в ГАМК в организме на основе своих свойств, за счет чего и будет происходить изменение функционального состояния. Проанализировав данную информацию и многие источники, мы решили подробнее разобраться с потенциалом воздействия янтарной кислоты как на ре-

гуляцию организма, так и на общие показатели состояния для объяснения эффективности ее применения. Обобщить известные механизмы регуляции состояния организма и изучить новые возможные в рамках пищевого направления. И после этого разработать напиток на основе янтарной кислоты - «Янтарное шампанское» («Яша»), который сможет стать потенциальной заменой традиционным расслабляющим веществам и напиткам за счет своего состава и свойств.

Основным составляющим компонентом данной разработки является янтарная кислота, полученная из Балтийского янтаря - местного ресурса, для Калининградской области это является немаловажным достоинством и дает свои преимущества. Янтарная кислота (сукциновая, бутандиовая кислота) (*Acidum succinicum*)- органическое соединение, двухосновная карбоновая кислота, которое обладает уникальным свойством трансформации в организме человека в ГАМК [5][11]. Стоит отметить, что янтарная кислота- нормальный метаболит всех клеток. Она вырабатывается в митохондриях и используется организмом в основном для энергетических целей, в основном это Цикл Кребса (Цикл Трикарбонных Кислот) [6]. Ее воздействие на организм исключает нежелательных побочных реакций, так как она является естественным метаболитом в организме и не накапливается [7]. По изученным данным человеческий организм вырабатывает янтарную кислоту в количестве примерно 200 мг в день и существовать без нее не может. Дополнительное поступление янтарной кислоты (повышение ее концентраций), может поспособствовать участию ЯК не только в энергетических процессах. Например, также в аминобутиратном шунте (цикл Робертса), где она сможет являться прекурсором вышеупомянутой ГАМК [8][12].

ГАМК(GABA)- химическое вещество в центральной нервной системе человека, а также в мозге, в наибольших количествах содержится в черной субстанции, гипоталамусе и лимбической системе. Является основным медиатором, участвующим в процессах центрального торможения. ГАМК ингибирует нейротрансмиссии или же снижает активность нервных клеток, развивая успокаивающий эффект. Было проведено большое количество исследований и было получено, что ГАМК является наиболее активным тормозным нейромедиатором центральной нервной системы, а также мозга человека и млекопитающих. Она регулирует действие множества тормозных и седативных процессов, происходящих в ткани головного мозга, поэтому чрезвычайно важна для релаксации. ГАМК можно назвать «натуральным агентом, успокаивающим мозг». Препятствуя перевозбуждению мозга, ГАМК способствует расслаблению и снижению нервного напряжения. Хочется отметить, что успокаивающий эффект ГАМК дает только лишь в зрелом состоянии мозга. Так как ГАМК-ергические нейроны нервной системы стимулируют клетки, вследствие чего изменяется проницаемость мембраны для хлорид ионов. В незрелых же нервных клетках уровень хлорид ионов выше, чем вне клетки, и стимуляция ГАМК-рецепторов приводит к выходу этих ионов, что вызывает деполяризацию мембраны, то есть происходит понижения потенциала покоя клетки. И только когда глутаматная система мозга полностью созревает, ГАМК берет на себя роль тормозного медиатора. То есть можно предположить, что «янтарное шампанское», содержащее γ -аминомасляную кислоту, для лиц не достигших полностью зрелости будет являться возбудителем нервных клеток, тем самым будет происходить улучшение настроения, мышления и повышение энергии. А для лиц, уже достигших зрелого возраста, наоборот будет замедлять процессы в мозге, за счет чего будет достигаться расслабляющий эффект [9][10].

Как было упомянуто ранее. ЯК превращается в ГАМК в процессе аминобутиратного шунта, при котором сукцинат проходит ряд превращений и получается большое количество глутаминовой кислоты, которая в свою очередь переходит в гамма-аминомасляную кислоту (ГАМК), которая окисляется в головном мозге бескислородным путём. (рис.1)

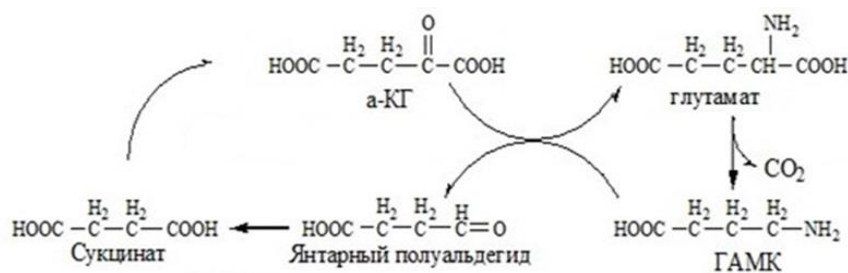


Рис.1. Аминобутиратный шунт (Цикл Робертса)

Данные теоретические наработки легли в основу создания напитка, технологическая карта которого представлена ниже. (рис.2). Для разработки были выбраны именно карбонаты металлов, потому что при взаимодействии их с янтарной кислотой образуются те самые нужные организму сукцинаты и выделяется углекислый газ (CO₂), который дает еще больше схожести с обычными, привычными нам расслабляющими напитками, и помогает тем самым сохранить некую атрибуцию праздника и веселья, отличая «Яшу», например от обычного янтарного сока или сиропа.

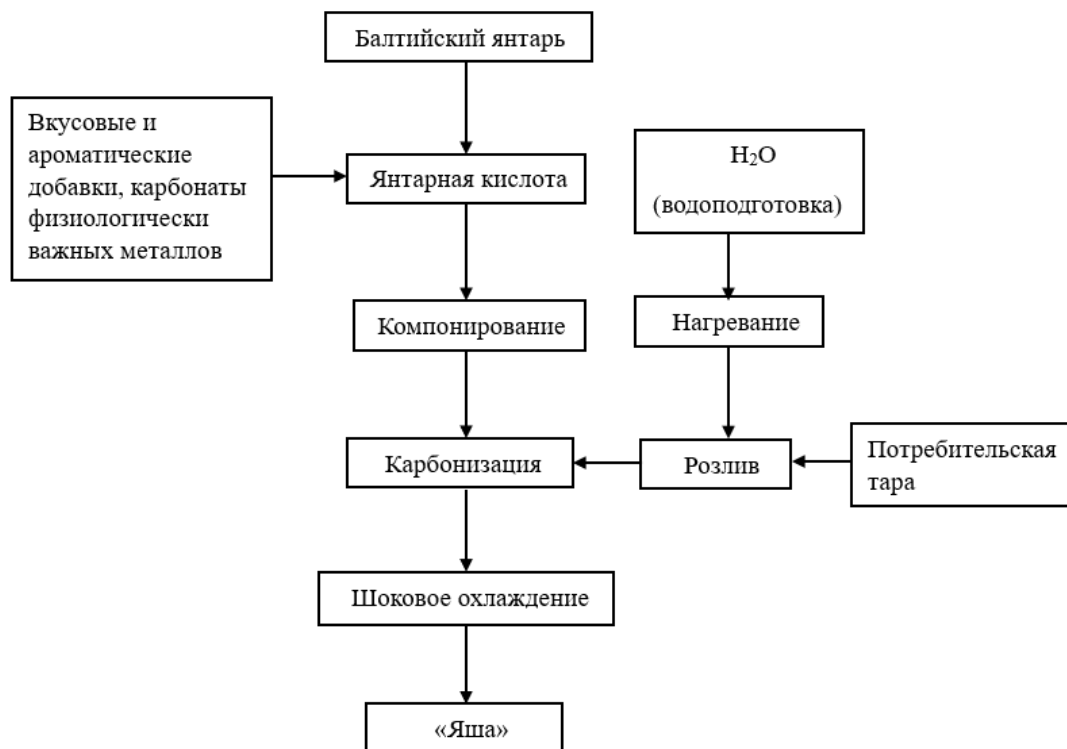


Рис. 2. Технологическая схема получения «ЯШи»

Подводя итоги, можно выделить следующие преимущества разработанного «Янтарного шампанского»: Яша сможет стать безопасной заменой традиционным напиткам/веществам или поможет снизить их потребление за счет своих компонентов и их свойств; послужит дополнительным источником микроэлементов, углеводов и витаминов; будет низкокалорийным; будет конкурентоспособным по стоимости на рынке, что повысит его доступность для потребителей; сможет оказывать положительное влияние на физиологические и психоэмоциональные показатели организма человека; будет возможность его использования в сухом виде (для упрощения транспортировки в отдаленные места и использования в экстремальных условиях). Таким образом, полученные результаты подтверждают целесообразность создания «Янтарного шампанского» и что оно является перспективным средством для регуляции функционального состояния организма человека. Оно может быть использовано как альтернатива традиционным расслабляющим напиткам и веществам, а также как вспомогательное средство в борьбе со стрессом, тревожностью и нарушением сна. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию состава и технологий производства напитка, а также на проведение клинических испытаний для подтверждения его эффективности и безопасности. Считаем, что разработка может стать новым трендом в индустрии напитков, привлекая внимание потребителей своими уникальными свойствами, безопасностью и относительно низкой ценой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тургунов М.А. Препараты группы нейролептиков в практике доказательной медицины // Журнал экономика и социум. 2022. 3-4.
2. Functional Alternatives to Alcohol / David J. Nutt, Robin J. Tyacke, Robin J. 2022.
3. E. Costa. "From GABAA receptor diversity emerges a unified vision of GABA-ergic inhibition" Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol. 1998. 38, 321-350.
4. Gamma-aminobutyric acid (GABA): a fast excitatory transmitter which may regulate the development of hippocampal neurones in early postnatal life / Y. Ben-Ari, V. Tseeb, D. Ragozzino. 1994. 102, 261-273.
5. Янтарная кислота и ее применение в медицине. Часть I. янтарная кислота: метаболит и регулятор метаболизма организма человека / Смирнов А.В., Нестерова О.Б., Голубев Р.В. // Журнал нефрология. Текст научной статьи по специальности «Фундаментальная медицина». 2014. 1-4 с.
6. Цикл лимонной кислоты: катаболизм ацетил-СоА / Мейес П., Марри Р., Греннер Д., Родуэлл В. Биохимия человека. Мир. М., 2009. 72-180.
7. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2021. 17-24.
8. Изучение противоотечного действия фенибута и новых производных ГАМК / Щербакова Т.Н., Озерова П.А. Фармация и фармакология. 2015. 72-74.
9. Семьянов А.В. ГАМК-эргическое торможение в ЦНС: типы ГАМК-рецепторов и механизмы тонического ГАМК-опосредованного тормозного действия // Нейрофизиология. 2002.
10. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions. Front Endocrinol / Ariza A, Deen P. Robben J. Lausanne. 2012. 1-8.
11. Фармакологическая активность янтарной кислоты и ее лекарственные формы / А.Л. Коваленко, Н.А. Белякова, М.Г. Романцов и др. // Врач. 2000
12. Кондрашова М.Н. Выяснение и наметившиеся вопросы на пути исследования регуляции физиологического состояния янтарной кислотой. СССР. Пущино, 1976.
13. Л. Нейромедиаторные системы в психонейроиммуномодуляции: дофамин, серотонин, ГАМК, нейропептиды / Девойно В., Ильюченко Р.Ю. // ЦЭ РИС, Новосибирск. 1993.

INNOVATIVE HEALTHY LIFE TREND – "AMBER CHAMPAGNE"

¹Lemeshko Valeriia Dmitrieva, student

²Vorotnikov Boris Yuryevich, Ph.D. of Technical Sciences

¹Kaliningrad State Technical University,

Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹lemeshkovaler@mail.ru; ²vorotnikov@klgtu.ru

The main idea of this work is to develop an innovative non-alcoholic drink based on succinic acid, called "Amber Champagne" ("Yasha"), which can become an alternative to traditional relaxing drinks and substances. The research is relevant against the backdrop of growing interest in a healthy lifestyle and the need to reduce the negative consequences associated with alcoholism, drug addiction and the use of anti-psychotics to improve the general condition of the body. As a result of the work done, a potential sample of this drink will be presented with final conclusions about its effectiveness.