

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО РАН НА ТЕРРИТОРИИ ДНР

ISSN 2664-7362 (PRINT)
ISSN 2664-7370 (ONLINE)



МАТЕРИАЛЫ
X Международной научной конференции
ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ – 2025:
образование, наука, инновации,
культура и вызовы современности



ТОМ 2

Физические, технические
и компьютерные науки



Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

От имени Донецкого государственного университета, всего академического сообщества Донецкой Народной Республики приветствую наших друзей из различных регионов Российской Федерации и зарубежных стран, принимающих участие в традиционной, теперь уже X Международной научной конференции «Донецкие чтения – 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности».

Минуло десять лет с тех пор, как в нашем университете прошла первая конференция, которая за прошедшие годы приобрела широкую известность, стала авторитетным научным собранием, привлекла внимание большого числа ученых. Расширился спектр рассматриваемых научных направлений и вовлеченность в научные дискуссии известных ученых и специалистов-практиков, возросли актуальность и практическая значимость представляемых научных результатов.

Эпохальное событие – вхождение Донецкой Народной Республики в состав Российской Федерации – дало могучий толчок развитию и углублению наших научных исследований. Благодаря России мы получили достойное финансирование, новейшее оборудование, новые перспективные научные направления и наша общая цель – приложить все усилия к решению задач, которые ставит перед нами Родина.

2022–2031 годы объявлены Президентом России Владимиром Владимировичем Путиным как **Десятилетие науки и технологий**. Полагаю, что наша многопрофильная конференция вносит достойный вклад в решение задач, поставленных Президентом, в том числе и по привлечению талантливой молодежи в науку!

На Конференции будут представлены **1 950 научных докладов в четырнадцати профильных секциях**. Будут работать **семьдесят восемь подсекций и одиннадцать круглых столов**.

Труды конференции составляют **десять томов в шестнадцати книгах** общим объемом **5 980 страниц** и будут размещены в электронной форме в наукометрической базе РИНЦ.

Приглашаю вас к обстоятельному разговору о способах и механизмах скорейшего внедрения прорывных научных разработок, с тем чтобы наши достижения способствовали укреплению суверенитета и безопасности нашей и дружественных стран, росту качества жизни россиян.

Желаю успехов всем участникам конференции, и всем нам – новых научных достижений во благо России!

С наилучшими пожеланиями,
руководитель Представительства Российской академии наук
на территории Донецкой Народной Республики,
ректор Донецкого государственного университета,
доктор физико-математических наук, профессор

Светлана Владимировна Беспалова

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»
Представительство федерального государственного
бюджетного учреждения «Российская академия наук»
на территории Донецкой Народной Республики

**X Международная
научная конференция,
посвященная 60-летию создания
Донецкого научного центра**

Материалы
конференции

Том 2

**ФИЗИЧЕСКИЕ,
ТЕХНИЧЕСКИЕ И
КОМПЬЮТЕРНЫЕ
НАУКИ**

**Донецкие чтения
– 2025:
образование, наука,
инновации, культура
и вызовы
современности**

г. Донецк
5–7 ноября 2025 г.

Донецк
Издательство ДонГУ
2025

ББК ВЗя431+397я431
УДК 53+62+004(043.2)
Д672

Редакционная коллегия:

С.В. Беспалова (гл. ред.), А.В. Белый (зам. гл. ред.),
М.В. Фоменко, С.А. Фоменко, И.А. Третьяков (отв. секр. секции),
В.К. Толстых, А.Г. Петренко, Е.Д. Пометун.

Д672 Донецкие чтения – 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы X Международной научной конференции, посвященной 60-летию создания Донецкого научного центра (Донецк, 5–7 ноября 2025 г.). – *Том 2: Физические, технические и компьютерные науки* / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2025. – 470 с.

Ответственность за содержание материалов, аутентичность цитат, правильность фактов и ссылок несут авторы.

Во второй том материалов X Международной научной конференции «Донецкие чтения – 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» вошли исследования по актуальным проблемам физических, технических и компьютерных наук. Рассматриваются вопросы физической гидроаэродинамики, метрологии, техносферной безопасности, теоретической физики и нанотехнологий, радиофизики, инфокоммуникационных и компьютерных технологий, информационной безопасности.

Освещенные в сборнике проблемы и направления их решения будут полезны научным работникам, преподавателям, студентам, аспирантам и докторантам, проводящим исследования в области физических, технических и компьютерных наук.

ББК ВЗя431++397я431
УДК 53+62+004(043.2)

© Коллектив авторов, 2025

© Донецкий государственный университет, 2025

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Беспалова С.В., д-р физ.-мат. наук, профессор, ректор Донецкого государственного университета (г. Донецк).

Заместители председателя:

Бабурин С.Н., д-р юрид. наук, профессор, президент Ассоциации юридических вузов, научный руководитель Центра интеграционных и цивилизационных исследований Института государства и права РАН, почетный профессор Донецкого государственного университета (г. Москва);

Зинченко Ю.П., д-р психол. наук, профессор, академик РАО, декан факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва);

Кирпичников М.П., д-р биол. наук, профессор, академик РАН, декан биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва);

Федянин А.А., д-р физ.-мат. наук, профессор, член-корр. РАН, проректор – начальник управления научной политики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Члены программного комитета:

Андреев Д.А., д-р ист. наук, доцент, заместитель декана по научной работе исторического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Аноприенко А.Я., канд. техн. наук, профессор, ректор Донецкого национального технического университета (г. Донецк).

Белый А.В., канд. хим. наук, доцент, проректор Донецкого государственного университета (г. Донецк).

Вартанова Е.Л., д-р филол. наук, академик РАО, декан факультета журналистики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Варюхин В.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, член-корр. РАН, научный руководитель ФГБНУ «Физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк).

Воронова О.Е., д-р филол. наук, профессор, профессор кафедры литературы и журналистики, руководитель Центра региональных проектов и межрегиональных связей Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина (г. Рязань).

Глухов А.З., д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник Донецкого ботанического сада, профессор кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета (г. Донецк).

Головчан А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент, и.о. директора ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк).

Данилюк Д.А., канд. физ.-мат. наук, и.о. директора ФГБНУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк).

Зайченко Н.М., д-р техн. наук, профессор, директор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры – филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Макеевка, ДНР).

Игнатенко Г.А., д-р мед. наук, профессор, академик РАН, ректор Донецкого государственного медицинского университета им. М. Горького (г. Донецк).

Исаков В.Б., д-р юрид. наук, профессор, профессор НИУ «Высшая школа экономики» (г. Москва).

Керимов А.Д., д-р юрид. наук, профессор, главный научный сотрудник Института государства и права Российской академии наук (г. Москва).

Кожухов И.Б., д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики НИУ «Московский институт электронной техники» (г. Москва).

Липгарт А.А., д-р филол. наук, профессор, декан филологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Лубков А.В., д-р ист. наук, профессор, академик РАО, ректор Московского педагогического государственного университета (г. Москва).

Мацкявичюс Э.Г., директор Института медиа НИУ «Высшая школа экономики», директор института «Первая Академия медиа» Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова (г. Москва).

Минаев А.И., д-р ист. наук, доцент, профессор Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина (г. Рязань).

Некипелов А.Д., д-р экон. наук, профессор, академик РАН, директор Московской школы экономики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

Нечаев В.Д., д-р полит. наук, доцент, ректор Севастопольского государственного университета (г. Севастополь).

Половян А.В., д-р экон. наук, доцент, директор ГБУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк).

Приходько С.А., канд. биол. наук, ст. науч. сотр., директор ФГБНУ «Донецкий ботанический сад» (г. Донецк).

Прутков Г.В., д-р филол. наук, профессор Института медиа НИУ «Высшая школа экономики» (г. Москва).

Рябичев В.Д., д-р техн. наук, профессор, ректор Луганского государственного университета имени Владимира Даля (г. Луганск).

Соболев В.И., д-р биол. наук, профессор кафедры здоровья и реабилитации Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (г. Ялта).

Тедеев В.Б., канд. техн. наук, профессор, ректор Юго-Осетинского государственного университета имени А.А. Тибилова (г. Цхинвал).

Тулупов В.В., д-р филол. наук, профессор, декан факультета журналистики Воронежского государственного университета (г. Воронеж).

Туранина Н.А., д-р филол. наук, профессор, зав. кафедрой библиотечно-информационной деятельности Белгородского государственного института искусств и культуры (г. Белгород).

Хомутова Е.В., канд. биол. наук, директор ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (г. Донецк).

ФИЗИЧЕСКИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Физическая гидроаэродинамика, метрология, техносферная безопасность

УДК 621.57

СРАВНЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК И ГАЗОВЫХ КОТЛОВ В КОНТЕКСТЕ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Байда Б.Ю., ORCID 0009-0007-4157-3269,

Гатицкий Д.В., ORCID 0009-0004-0020-3075

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, РФ
bayda.93boris@gmail.com

Введение. Декарбонизация промышленной теплоэнергетики является одной из ключевых задач современной энергетической политики. В последние годы растёт интерес к использованию высокотемпературных тепловых насосов (ВТ-ТН) в промышленности для утилизации низкопотенциальной теплоты и снижения углеродного следа [1][2]. Международные проекты и исследования демонстрируют, что современные ВТ-ТН могут достигать коэффициента преобразования $COP \approx 2,5-3,0$ при температурном напоре до ~ 70 К, обеспечивая до 40 % экономии энергии по сравнению с газовыми котлами. Однако их широкое распространение сдерживается отсутствием доступных высокотемпературных компрессоров и надёжных смазочных материалов [3].

Цель работы – сравнить энергетический и углеродный эффект применения промышленного теплового насоса по сравнению с газовым котлом при выработке равного количества теплоты.

Основная часть. Рассмотрим выработку одинакового количества теплоты Q с помощью теплового насоса (ТН) и газового котла. В случае теплового насоса потребляемая электроэнергия напрямую зависит от COP – коэффициента преобразования [4]. Для газового котла – коэффициент полезного действия η_k ($\sim 0,9$). Минимальные значения COP , при которых тепловой насос не уступает котлу по энергии и выбросам, можно оценить из условий равенства потребляемой первичной энергии и выбросов соответственно. Для первичной энергии (учитывая КПД выработки электроэнергии на электростанции $\eta_{ЭС}$) условие равенства расхода топлива запишется как:

$$\frac{Q}{COP \cdot \eta_{ЭС}} = \frac{Q}{\eta_K},$$

откуда минимально необходимый с энергетической точки зрения коэффициент преобразования:

$$COP_{\min}^{ЭН} = \frac{\eta_K}{\eta_{ЭС}}.$$

Аналогично, для парниковых выбросов:

$$COP_{\min}^{CO_2} = \frac{\eta_K \cdot I_{эл}}{I_{газ}}.$$

Приведенные формулы демонстрируют необходимость компенсировать потери при генерации электроэнергии: чем ниже КПД электростанций, тем больший COP требуется тепловому насосу для экономии первичной энергии. Подставляя усреднённые показатели по РФ получим оценки пороговых COP. С точки зрения углерода минимально необходимый COP составляет:

$$COP_{\min}^{CO_2} \approx \frac{0,9 \cdot 450}{202} \approx 2,0,$$

при $COP > 2$ тепловой насос обеспечивает более низкие удельные выбросы CO_2 , чем газовый котёл. Это объясняется тем, что даже относительно углеродоёмкая электроэнергия (450 г CO_2 /кВт·ч) при использовании в тепловом насосе с $COP=3$ даёт фактически ~150 г CO_2 /кВт·ч затраченной теплоты, что примерно на 25 % ниже, чем у газа. С энергетической точки зрения при среднем КПД электростанций порядка 40–45 % минимальный COP для экономии первичного топлива составляет ~2,0–2,3. Таким образом, современные ВТ-ТН, достигающие $COP \approx 3$ и выше при умеренных температурных напорах, способны одновременно снижать как потребление первичной энергии, так и углеродные выбросы по сравнению с газовыми котлами.

Однако экономическая конкурентоспособность теплового насоса зависит от соотношения цен на энергоносители. Требуемый COP для равенства затрат на энергоресурсы определяется выражением:

$$COP_{\min}^{экон} = \frac{\eta_K \cdot C_{эл}}{C_{газ}},$$

где $C_{эл}$ и $C_{газ}$ – стоимость электроэнергии и топлива (USD/кВт·ч).

В Европе и других регионах наблюдается большой разброс этого показателя. В Финляндии отношение цен электроэнергии к газу < 1 , поэтому даже при $COP \sim 1,5$ эксплуатация теплового насоса дешевле газового котла. В Германии, напротив, из-за дорогой электроэнергии нужен $COP > 3,7$, чтобы счета за энергию были не выше, чем при газовом отоплении. Для Японии 2022 г. с учётом надбавки за возобновляемую энергию оценивалось требуемое значение $COP \approx 2,6$.

В России стоимость электроэнергии для промышленности на порядок выше стоимости газа, поэтому $\frac{C_{эл}}{C_{газ}} \approx 10,5$. Соответственно, по

формуле (3) тепловой насос должен иметь COP порядка 9–10 (с учётом η_k) для равенства энергозатрат, что недостижимо для современных технологий. Таким образом, при текущих тарифах тепловые насосы в РФ экономически неконкурентоспособны без субсидий или особых условий.

Для регионов с относительно высоким углеродным следом электроэнергии и дешёвым природным газом первоочередной эффект от внедрения промышленных тепловых насосов – экологический, а не экономический. Даже при среднем $I_{эл} \approx 450$ г/кВт·ч, большинство ВТ-ТН способны обеспечить снижение выбросов CO₂ (при COP ≥ 2) по сравнению с газовыми котлами. Это делает тепловые насосы привлекательными с точки зрения декарбонизации, особенно на предприятиях, стремящихся сократить углеродный след своей продукции. Напротив, прямая экономия расходов на топливо маловероятна без специальных мер: при текущих тарифах эксплуатационные затраты на электроэнергию для ВТ-ТН в 5–10 раз превышают расходы на эквивалентный объём газа.

Заключение. Исходя из проведённого анализа, наиболее целесообразные сценарии для применения промышленных тепловых насосов в России и Донбассе – это процессы с умеренными требуемыми температурами. В первую очередь к ним относятся объекты пищевой и перерабатывающей промышленности и различные технологические линии с избытками тепла. Именно в этих случаях можно обеспечить небольшой температурный напор и COP ≥ 3 , что приведёт к ощутимым энерго- и экологическим преимуществам.

Список литературы

1. Демин, М. В. Исследование энергопотребления бытового холодильника при изменяющихся условиях температуры окружающей среды / М. В. Демин, Р. В. Брюшков, Р. А. Шuvaкин // Инженерия сегодня. Проблемы, тенденции, перспективы: Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, приуроченной к 160-летию Михаила Ивановича Туган-Барановского, Донецк, 11–12 февраля 2025 года. – Донецк: Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, 2025. – С. 49-52. – EDN AMBKFA.
2. Байда, Б. Ю. Повышение эффективности сушильных установок с тепловыми насосами: термодинамический анализ и оптимизация эксергетических потерь / Б. Ю. Байда, В. В. Карнаух, Д. В. Гатицкий // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 8-ми частях. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. – С. 347-351. – EDN UDENTZ.
3. Блинов, В. Р. Выбор масел для компрессорных холодильных машин, работающих на альтернативных хладагентах / В. Р. Блинов, К. Д. Федосеенков, Р. С. Лагерев // Научно-техническое творчество по процессам и оборудованию пищевых производств: Сборник тезисов докладов II Всероссийской (с международным участием) научно-практической интернет-конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, посвященной 300-летней годовщине Российской академии наук, Донецк, 17–18 октября 2024 года. – Донецк: ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», 2024. – С. 70-71. – EDN FBXORG.

4. Нетычук, А. В. Эксергетический анализ среднетемпературного парокompрессионного теплового насоса, работающего на R744 / А. В. Нетычук, Б. Ю. Байда // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Тридцать первой международной научно-технической студентов и аспирантов, Москва, 13–15 марта 2025 года. – Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2025. – С. 766. – EDN JLZLLT.

УДК 66.661

ВЫБОР УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПОТОКА ДЛЯ СИСТЕМ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ ПЫЛЕВОЗДУШНУЮ СМЕСЬ

Батухтин А.Г., д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-3798-3675,

Батухтин С.Г., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-8876-7764,

Кобылкин М.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-8020-9394

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, РФ

batuhtin1@mail.ru

Введение. Технология плазменной подготовки и воспламенения пылеугольных смесей открывает возможности для использования низкокачественного угля, снижает потребление мазута и способствует повышению эффективности и надежности энергетического оборудования, уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1, 2]. Это обуславливает актуальность и перспективность дальнейших исследований и внедрения данной технологии. Применение плазменных методов розжига на теплоэлектроцентралях способно значительно повысить производительность, экологическую безопасность и сократить топливные расходы в энергетической отрасли России, а также имеет широкий потенциал в сфере обогащения полезных ископаемых и переработки отходов. Вместе с тем, внедрение плазменных технологий в российской энергетике и промышленности сдерживается недостаточной изученностью плазменно-топливных систем (ПТС), включая аэродинамические аспекты. Эта проблема является одним из ключевых препятствий для масштабирования плазменных установок, и её решение будет иметь большое научное и практическое значение для отрасли в целом.

Цель работы – на основе экспериментального изучения аэродинамических характеристик предложить лучший вариант устройства подготовки пылеугольного потока для плазменно-топливной системы.

Основная часть. При проведении исследований по оценке факторов, влияющих на аэродинамику запыленного потока, на протяжении всего трубопровода ПТС наблюдаются проблемы, связанные с гравитационной сепарацией частиц пыли, искажением эпюр скорости в каналах, что

усложняет процесс декомпозиции влияния изучаемых параметров [3, 4]. Для устранения выявленных проблем применяются устройства подготовки потока (УПП), предназначенные для выравнивания профиля газовых или жидкостных потоков путем нивелирования завихрений и отклонений эпюр скоростей перед измерительными датчиками.

Для анализа характеристик запыленного потока был разработан испытательный стенд Т-образной формы, схема которого представлена на рис. 1. Длина трубопровода составляла 2350 мм, диаметр 100 мм. Отвод (а) от основного канала предназначен для подачи пыли, в точке (b) устанавливается УПП.

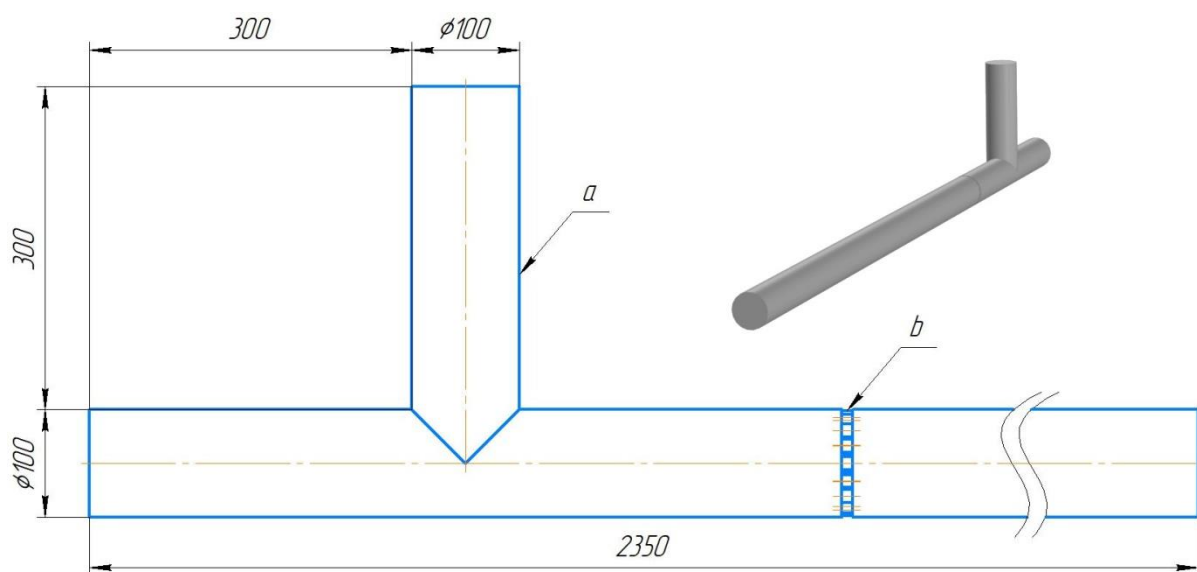


Рис. 1. Общий вид стенда с установленным УПП

В результате проведения стендовых экспериментальных исследований было зафиксировано, что без использования УПП (струевыпрямителя) эпюра скоростей запыленного потока ожидаемо деформируется за счет сил трения о внутренние поверхности трубопровода, а также за счет выпадения пылевых частиц под действием силы тяжести в нижнюю часть трубопровода. Сопоставление эпюр скоростей представлено на рис. 2.

Для компенсации искажений рассмотрены различные устройства: трубчатые струевыпрямители «AMCA», «Etoile», применение которых нецелесообразно в условиях запыленного потока; УПП «Gallagher», «K-Lab NOVA», «NEL (Spearman)», «Sprenkle» и «Zanker».

В ходе исследования предпочтение было отдано использованию УПП «NEL (Spearman)», в связи с наибольшей простотой и надежностью конструкции, а также высокой эффективностью стабилизации на малых расстояниях от источника возмущений, повышенной способностью обеспечения равномерного поля скоростей с наименьшей степенью гидравлического сопротивления.

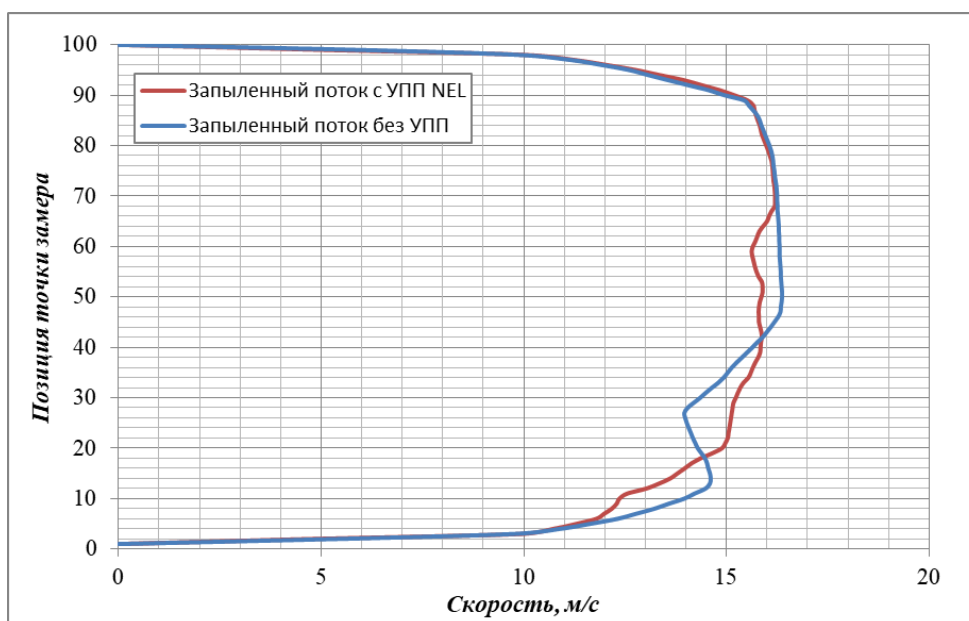


Рис. 2. Графическое изображение эмпор скоростей запыленного потока с УПП и без него

Закключение. В ходе лабораторных испытаний установлено искажение распределения скоростей пылевоздушного потока по сечению канала, что препятствует изучению аэродинамики процессов в ПТС. Предложено использование устройства подготовки запыленного потока для стабилизации профиля скорости частиц с целью дальнейшего исследования параметров плазменно-топливной системы в зависимости от концентрации угольной пыли.

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились в рамках государственного задания (номер госрегистрации 10230222000-2-2.7.3; тема № 123102000012-2).

Список литературы

1. Karpenko, E. I. Plasma methods for efficiency of solid fuel utilization improvement / E. I. Karpenko, A. B. Ustimenko // Recent Contributions to Physics. – 2020. – №4 (75). – P. 72-85. – <https://doi.org/10.26577/RCPH.2020.v75.i4.08>
2. Messerle, V. E. Plasma-chemical waste processing: numerical analysis and experiment. Part 1: Medical-biological waste and fuel biomass / V. E. Messerle, A. B. Ustimenko, M. K. Bodykbaeva // Thermophysics and Aeromechanics. – 2023. – № 30. – P. 183-192. - <https://doi.org/10.1134/S0869864323010201>
3. Батухтин, А.Г. Особенности аэродинамических параметров воздушных потоков в вентиляционных трубопроводах подземных горных выработок / А. Г. Батухтин, М. Г. Барановская, С. Г. Батухтин, И. Ю. Батухтина // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 402–413. – DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-402-413.
4. Чернецкий, М.Ю. Сравнительный анализ влияния моделей турбулентности на описание процессов горения угольной пыли при наличии закрутки потока / М. Ю. Чернецкий, В. А. Кузнецов, А. А. Дектерев, Н. А. Абаимов, А. Ф. Рыжков // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т.23, №4. – С. 615-626. <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/27876>.

РОЛЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ТКО В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ

Башевая Т.С., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0002-4210-8813,

Бодениязов Р.А.

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» –
филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Макеевка, ДНР, РФ
t.s.bashevaya@donnasa.ru

Введение. Накопление твердых коммунальных отходов (ТКО) и загрязнение ими окружающей среды – это не техническая, а системная и социо-экономическая проблема, которая упирается в самые основы нашей цивилизации. Мы до сих пор живем в парадигме «добыть → произвести → выбросить». Общество производит отходов больше, чем когда-либо в истории, и этот рост опережает развитие инфраструктуры для их переработки [1]. Эту проблему нельзя «решить» раз и навсегда, так как это непрерывный процесс управления отходами, требующий изменения экономики, внедрения новых технологий.

Согласно работам Воробьева А.В. «Управление отходами это – создание системы, позволяющей провести учет образования, утилизации, переработки или захоронения каждой тонны отходов, учитывая ее специфику; рассчитать и реализовать потребность в конкретных технологиях» [2]. Следовательно самое главное звено, без которого нет возможности реализовать эффективное управление отходами – это создание системы учёта образования отходов, которая адекватно отражает реальное количество образующихся на объектах или территориях ТКО.

Основная часть. Анализ мировой практики в вопросах количественной оценки образующихся твердых коммунальных отходов показал, что применяемые подходы можно условно разделить на две большие группы: прямые измерения (весовой метод) и статистическое моделирование (проектный метод). Для оценки эффективности каждой группы подходов при определении количества образующихся ТКО изучили опыт ведущих стран на разных континентах.

Германия:  ЛИДЕР ПЕРЕРАБОТКИ (~68 %). Взвешивание на объектах обработки – обязательно. Широко используются «умные» контейнеры с RFID и взвешиванием для биллинга домохозяйств (система RAUT). Операторы получают деньги за реально образующиеся отходы, а население мотивировано снижать их объём. Это прямая финансовая поддержка системы переработки.

Япония:  ВЫСОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ (особый путь). Акцент на взвешивании мусоровозов на мусоросжигательных заводах. Учёт ведётся

очень скрупулёзно, но главная цель – контроль за потоками, направляемыми на термическую переработку, а не на персональный биллинг. Высокоточный учёт позволяет оптимизировать логистику и работу мусоросжигательных заводов. Их цель – не максимизация рециклинга, а минимизация захоронения, и весовой метод им в этом критически важен.

США, Франция, Австралия:  СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ ПЕРЕРАБОТКИ. Весовой метод является стандартом для учёта на полигонах и мусоросжигательных заводах. Это макро-учёт. Однако системы персонального РАУТ (с взвешиванием контейнеров или платными мешками) внедрены фрагментарно, на уровне отдельных штатов, городов или муниципалитетов. Система обеспечивает хорошие данные для регулятора, но не всегда доходит до конечного потребителя. Поэтому стимул к сокращению отходов и сортировке у населения слабее, чем в Германии, что отражается на средней доле переработки.

Китай: РАСТУЩАЯ ПЕРЕРАБОТКА. Внедряет весовой учёт на уровне объектов в крупных городах. Однако система ещё не унифицирована и не охватывает всю страну. По мере внедрения точного учёта растёт и управляемость потоками, и доля переработки: активно строятся объекты по переработке и захоронению.

Индия:  НИЗКАЯ ПЕРЕРАБОТКА (~15 %). Систематический весовой учёт на объектах развит слабо. Основной учёт – оценочный, по нормативам. Отсутствие точных данных делает систему непрозрачной, затрудняет привлечение инвестиций в переработку. Низкий уровень переработки – прямое следствие сложившейся ситуации.

Россия:  НИЗКАЯ ПЕРЕРАБОТКА (~5-7 %) [3]. В России количество отходов рассчитывается по нормативам, утвержденным для каждого региона «Постановлениями о подтверждении нормативов ТКО». Нормативы могут устанавливаться уполномоченным органом дифференцированно в отношении муниципальных образований, категорий потребителей; видов отходов. Они определяются в количественных показателях объема и (или) массы в годовом выражении на одну расчетную единицу: кубометров и (или) кг на 1 кв. м общей площади зданий, нежилых помещений, земельных участков и территорий, которыми владеют потребители. Это приводит к системной проблеме: расчётный норматив может не совпадать с реальным объёмом отходов, что создаёт финансовые дисбалансы (либо недоплату оператору, либо переплату населения). При этом прослеживается слабая связь между расчётной массой отходов и реальной ситуацией с учетом морфологического состава отходов, а это, в свою очередь, затрудняет планирование мощностей по переработке, так как непонятно, сколько именно в потоке отходов ценных фракций. Согласно реформе ТКО, объекты по обращению с отходами обязаны быть оснащены весами. Фактически: весы устанавливаются, но их

данные часто носят формальный характер и не являются первичными для расчёта нормативов и тарифов, которые остаются расчётными.

Таблица

Сравнение подходов количественной оценки ТКО

Параметр	Страны с весовым методом	Российская Федерация
Основа для оплаты	Фактическая масса/объём выбрасываемых ТКО.	Расчётный норматив на человека или м ² , <i>независимо</i> от способа сбора.
Стимул для населения	Прямой финансовый стимул уменьшать объём отходов и сортировать.	Отсутствует или крайне слаб (скидки за отдельный сбор лишь в некоторых регионах).
Данные для управления	Точные, оведущественные данные о потоках отходов.	Расчётные, усреднённые данные, часто расходящиеся с реальностью.
Глубина детализации	Очень высокая. Учитываются отдельные фракции (бумага, пластик, органика), источники образования (жилые, производственные).	Низкая. Основная единица — усреднённая масса или объём всех ТКО на человека или кв. метр для разных типов застройки.
Прозрачность и верификация	Данные часто публикуются, методики прозрачны, есть системы независимой верификации.	Реальные данные о движении отходов часто фрагментированы и непрозрачны. Существует разрыв между расчётным нормативом и реальным объёмом отходов, поступающих на объекты.
Участие населения	Активное (особенно в Японии и ЕС через сортировку).	Пассивное (потребитель оплачивает услугу по расчётному нормативу).

Заключение. При сопоставлении использования весового метода для определения количества ТКО с показателями переработки, наблюдается не просто корреляция, а практически прямая зависимость. Без точного учёта отходы – это некий абстрактный «объём», стоимость утилизации которого распределяется на всех как коммунальный налог. Для повышения эффективности управления ТКО необходима переориентация на прямые измерения с интеграцией этих данных в систему тарифообразования, так как весовой метод – это краеугольный камень прозрачной и эффективной системы учёта ТКО.

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились в рамках государственного задания (номер госрегистрации 123121900002-5).

Список литературы

1. Шилкина, С. В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России / С. В. Шилкина // Отходы и ресурсы. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 5. – DOI 10.15862/05ECOR120. – EDN ZZGXBE.
2. Воробьев, А.Е. Целенаправленное управление преобразованием свалочного материала / А.Е. Воробьев, А.В. Джаниянц // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 8. – С. 109-110. – ISSN 0236-1493.
3. Башевая, Т. С. Анализ подходов к решению проблемы твердых коммунальных отходов / Т. С. Башевая // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – № 5(157). – С. 62-67. – EDN KBCCNP.

ПЕРЕРАБОТКА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ОТ ТРАНСПОРТА РАБОТАЮЩЕГО НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

Белецкий Я.О., Сердюк А.И., д-р хим. наук, проф.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры –
филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Макеевка, ДНР, РФ
ya.o.beletskiy@donnasa.ru, a.i.serdyuk@donnasa.ru

Введение. Водородный транспорт набирает популярность по всему миру как конкурент электромобилям в сфере тяжелого транспорта (грузовики, автобусы, самосвалы, портовая и сельхоз техника). В связи с увеличением количества такого транспорта необходимо рассматривать переработку компонентов водородных авто.

Цель – проанализировать элемент питания водородного авто, рассмотреть методы переработки этих элементов питания литий-ионных аккумуляторов.

Основная часть. Основная популярность водородного транспорта возникает там, где аккумуляторные электромобили (BEV) сталкиваются с непреодолимыми трудностями, а именно время зарядки/заправки транспорта. Современные электромобили заряжаются 5-10 часов в зависимости от источника зарядки и емкости батарей, время заправки водородного автомобиля не отличается от заправки автомобиля работающего на бензине/газу. Таким образом, чтобы уменьшить загрязнения от выхлопных грузового автотранспорта необходимо переходить на водородный транспорт для этих категорий [1].

Экологичность водородного топлива:

- нулевые выбросы на месте эксплуатации. Из выхлопной трубы идет только водяной пар. Это делает его идеальным для улучшения качества воздуха в густонаселенных городах;

- потенциал для полной декарбонизации. Если водород производится с помощью возобновляемой энергии (солнце, ветер) через электролиз («зеленый» водород), то весь цикл становится абсолютно чистым, без выбросов CO₂;

- долгосрочное хранение энергии. Водород может служить аккумулятором для излишков энергии от солнечных и ветровых электростанций. Произвели много энергии днем – запустили электролизер, получили водород. Ночью или зимой, когда энергии мало, водород используют для транспорта или выработки электричества [2].

Но одной из проблем использования водородного транспорта являются отходы литий-ионных аккумуляторов, которые являются

«топливным баком» для электроэнергии, которая вырабатывается путем обратного электролиза формула 1.



В водородных автомобилях используется литий-ионный аккумулятор, аналогичный тем, что стоят в гибридных автомобилях или подключаемых гибридах, но меньшей емкости, чем в чисто электрических. Его роль это буферный (тяговый) аккумулятор. Он не является основным источником энергии (это топливный элемент). Его задачи это сглаживание пиковых нагрузок (при разгоне), накопление энергии от рекуперативного торможения, а также, питание бортовой электроники. Необходимость переработки, несмотря на меньший размер, актуальна как никогда, эти аккумуляторы содержат те же ценные (кобальт, никель, литий, медь) и опасные материалы, что и большие аккумуляторы. Их переработка экономически выгодна и позволяет вернуть в производство дефицитные металлы. Схема переработки представлена на рис.

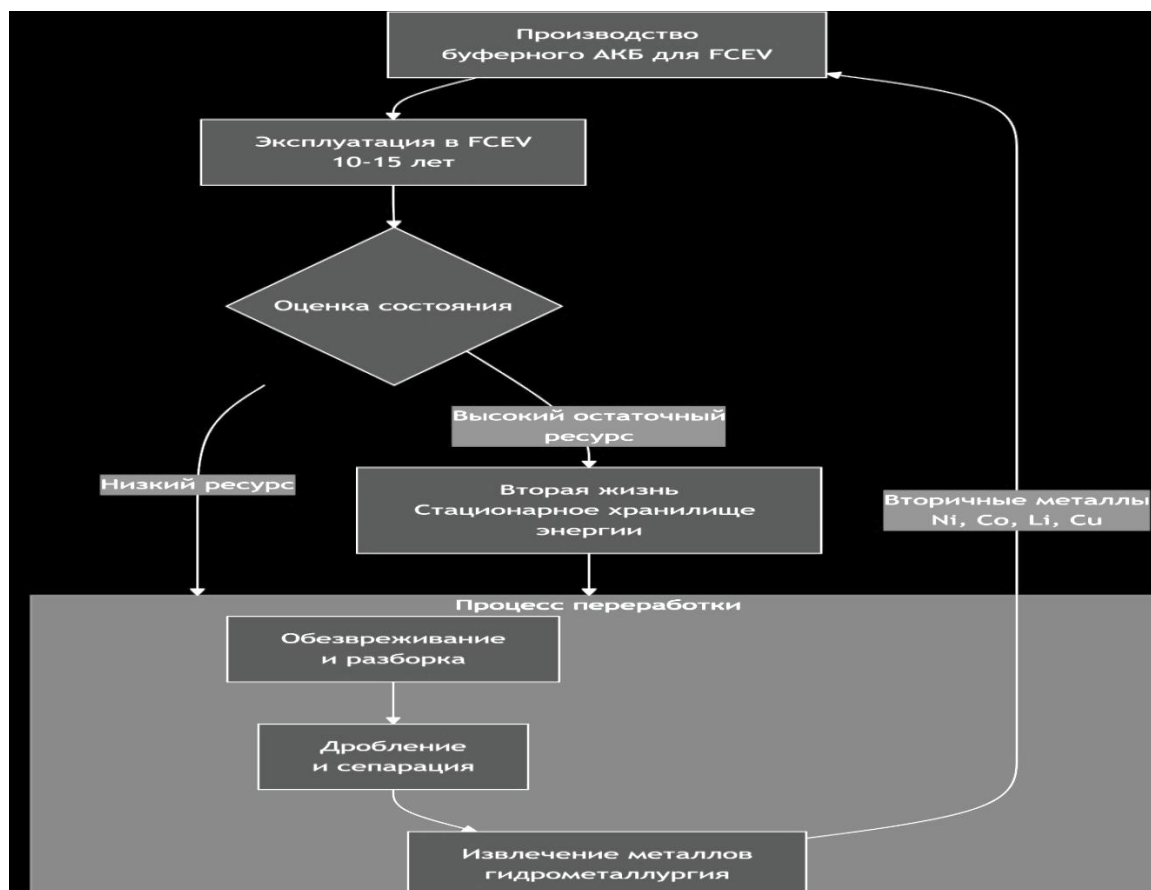


Рис. Схема переработки литий-ионных аккумуляторов

Переработка происходит в несколько этапов:

- сбор и транспортировка. Аккумуляторы безопасно доставляют на специализированные заводы;

- обезвреживание (разрядка). Аккумуляторы полностью разряжают для исключения риска короткого замыкания и возгорания;
- разборка (вручную или автоматически). Извлекаются основные компоненты: кабели, электроника, корпус.

Далее в зависимости от необходимости в получении качественных компонентов существуют 3 основных метода переработки – механический, пирометаллургический и гидрометаллургический.

- механический это дробление и сепарация. Аккумуляторные блоки измельчаются в шредере, а затем с помощью сит, магнитов и воздушных потоков разделяются на фракции: «Черная масса» самая ценная часть. Содержит соединения лития, кобальта, никеля, марганца. Алюминиевая фольга (от токосъемников), медная фольга и пластиковый корпус.

- пирометаллургический (высокотемпературная плавка) извлекает в основном кобальт и никель. Литий при этом переходит в шлак и часто теряется;

- гидрометаллургия (химическое выщелачивание). Более современный и точный метод. Позволяет извлекать все металлы, включая литий, с высокой чистотой. Это более перспективный и экологичный путь переработки литий-ионных аккумуляторов [3].

Заключение. Переработка литий-ионных аккумуляторов от водородных автомобилей – неотъемлемая часть концепции их экологичности. Это технически отработанный процесс, который становится экономически и экологически целесообразным благодаря ценности извлекаемых материалов.

Список литературы

1. Макуева, Д. А. Водородный транспорт: реализация инновационных технологий / Д. А. Макуева, Р. И. Разакова // Бутаковские чтения: Сборник статей III Всероссийской с международным участием молодежной конференции, Томск, 12–14 декабря 2023 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 527-529. – EDN HIAQLG – Текст: непосредственный.
2. Комиссина, И. Н. Актуальное состояние и перспективы развития водородного транспорта в Китае / И. Н. Комиссина // Проблемы национальной стратегии. – 2022. – № 6(75). – С. 216-251. – DOI 10.52311/2079-3359_2022_6_216. – EDN WFEWNT – Текст: непосредственный.
3. Белецкий, Я. О. Литий-ионные аккумуляторы методы их утилизации и переработки / Я. О. Белецкий // Потаповские чтения – 2022: Сборник материалов VII ежегодной Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Александра Дмитриевича Потапова, Москва, 18 мая 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. – С. 82-86. – EDN GWAXKD.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МЕЛКОРАЗМЕРНОГО ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Василенко Н.А., канд. физ.- мат. наук, доц., ORCID 0000-0001-5705-1018
Северодонецкий технологический институт ФГБОУ ВО «Луганский государственный
университет им. Владимира Даля», г. Северодонецк, ЛНР, РФ
Natalia-Vasilenko.73@yandex.com

Введение. Одной из тенденций современного производства является использование высокопроизводительного износостойкого волочильного инструмента с повышенными прочностными характеристиками. Актуальным вопросом в этом направлении является повышение адгезионных свойств и твердости волочильного инструмента. Одним из современных способов повышения механических свойств поверхности является нанесение на фильеры защитных модифицированных покрытий. Общеизвестно, что нитридные модифицированные покрытия обладают рядом ценных свойств, перспективных в приборном машиностроении. Однако, более широкое внедрение этих нитридов, сдерживается их невысокой надежностью в процессе эксплуатации деталей, поэтому изучение структуры, твердости и адгезии нитридных покрытий, полученных методом ионной имплантации (ИИ) является актуальным.

Цель. В данной работе были модифицированные покрытия нитрида циркония. Для этого в качестве подложек была использована сталь P18. Производилась имплантация ионов азота на стальные подложки при комнатной температуре и рабочем давлении $5,32 \cdot 10^{-2}$ Па. Использовали мишень циркония. Подложки были взвешены до и после имплантации на аналитических весах модели ВЛР-200г.

Основная часть. Для получения качественных твердых покрытий, обладающих высокой адгезией важно подобрать правильно режим напыления. В литературных данных [1,2] указано, что износостойкость покрытий максимальная при дозе внедряемых ионов $D=10^{17}$ ион/см². Так как доза внедряемых ионов непосредственно зависит от времени, то имплантация проводилась при режимах: $U_p = 400$ В, $I_p = 0,5$ А, $U_m = 2$ кВ, $I_m = 45$ мА, $U_{\text{подл}}=25$ кВ, $I_{\text{подл}} = 35$ мА. Модификация поверхности инструментальной стали P18 ионами циркония и азота производилась нами в интервале времени от 10 до 90 мин. Доза ионов, внедренных в подложку $6,7 \cdot 10^{16} - 5,5 \cdot 10^{17}$ ион/см².

Из рисунков микроструктуры поверхности видно, что при малых временах имплантации происходит дробление зерна (рис. 1) – атомы азота и циркония внедряются в подложку, образуя различные фазы. При

больших временах имплантации (40–90 мин.) наблюдается рост фазы ZrN на поверхности стали P18 и укрупнение зерна (рис. 2).

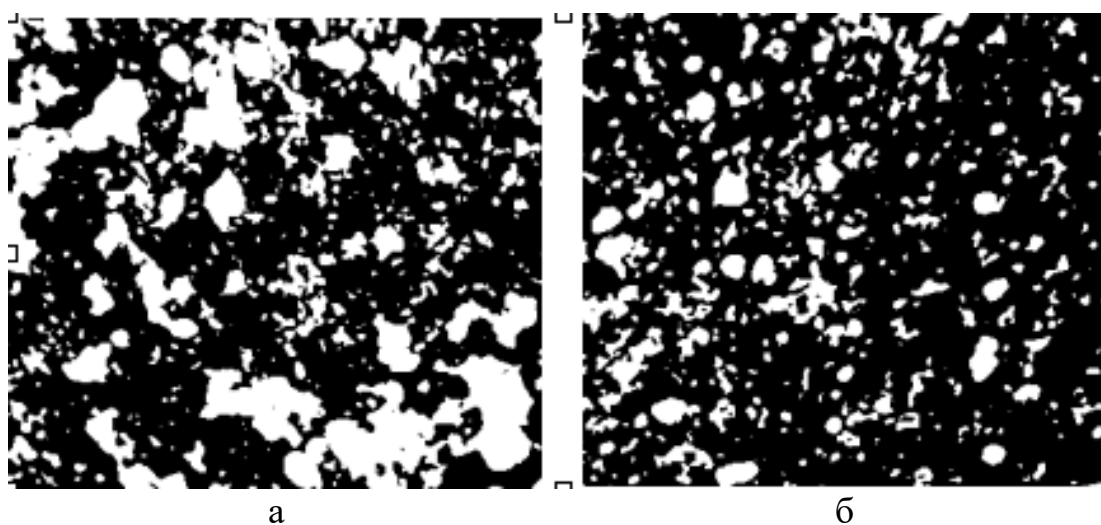


Рис. 1. Структура стали P18: а – до имплантации, б – после 40 мин имплантации x 1320

Временная зависимость роста слоя ZrN на подложках инструментальной стали P18 имеет линейный характер (рис. 3). Это свидетельствует о том, что уже на начальных временах имплантации образуется стабильное соединение ZrN, которое растет вглубь подложки с увеличением времени имплантации. Максимальная толщина слоя составляет 0,76 мкм.

Зависимость микротвердости от времени при использовании в качестве подложек инструментальных сталей имеет практически линейный характер после 40 мин имплантации в подложку ионов циркония. После 40 мин модификации в данной подложке образуется стабильная фаза ZrN (рис. 2), которая имеет одинаковую твердость.

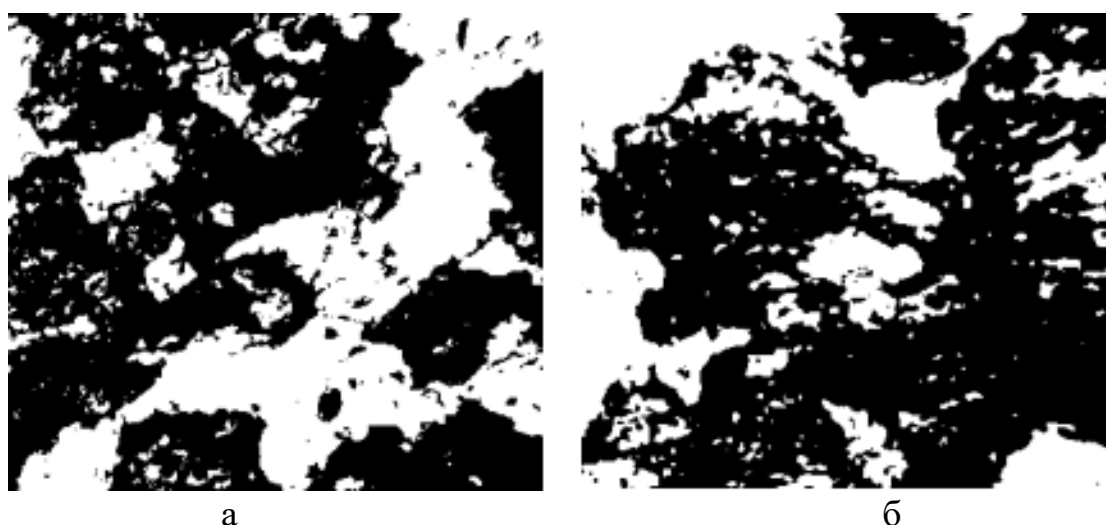


Рис. 2. Структура стали P18: а – до имплантации, б – после 90 мин имплантации x 1320

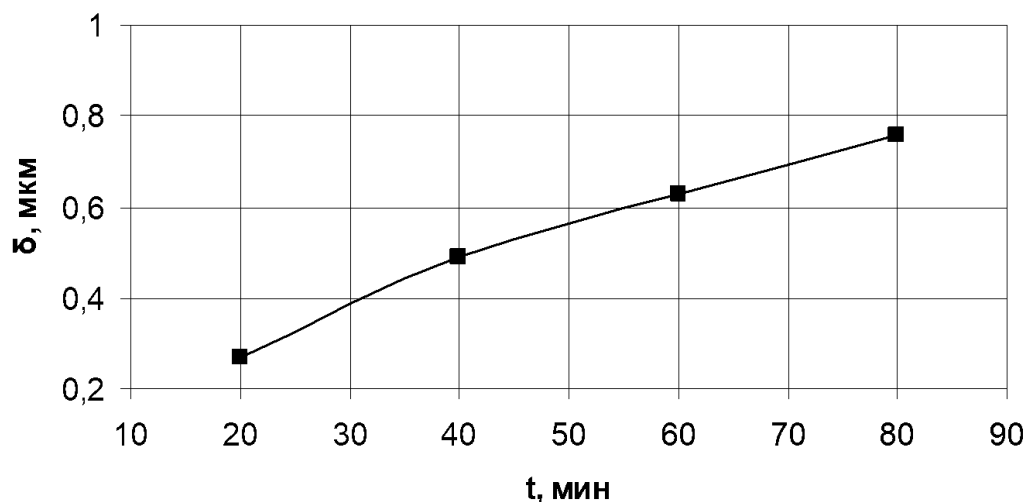


Рис. 3. График зависимости толщины модифицированного покрытия на подложки стали P18 от времени имплантации циркония

В общем случае твердость системы «композит-подложка» в 1,56 раза превышает твердость подложки, что свидетельствует об образовании более твердого защитного покрытия.

Адгезионные свойства поверхностного покрытия ZrN на подложке инструментальной стали P18 достаточно высокие. Величина адгезии составляет 10,913 ГПа. Характер кривой неоднородный: с 10 до 40 мин имплантации величина адгезии линейно возрастает, а с 40 до 90 мин – остается неизменной. Мы считаем, что подложка инструментальной стали, содержащая 18 % вольфрама, достаточно плотная, поэтому при имплантации атомы азота и циркония проникают на определенную глубину, обеспечивая хорошие адгезионные свойства на средних временах имплантации.

Заключение. Таким образом, при имплантации нитрида циркония в поверхность инструментальных сталей, получается модифицированный слой толщиной до 1 мкм, обладающей высокой твердостью и адгезией. Возможность легкой смены рабочего газа и мишеней обеспечивает получение многослойных структур (карбидов, нитридов и т.д.).

Список литературы

1. Ионная имплантация в полупроводники и другие материалы: сборник статей / Перевод с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук проф. В. С. Вавилова. – Москва: Мир, 1980. – 332 с.
2. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / Под ред. Дж. Паута, К. Ту, Дж. Мейера; перевод с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук В. Ф. Киселева и канд. физ.-мат. наук В. В. Поспелова. – Москва: Мир, 1982. – 576 с.

РЕШЕНИЕ РАЗНООБРАЗНЫХ ЗАДАЧ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Васильев И.П., канд. техн. наук, доц.,
Мишин Я.С., ORCID 0000-1234-5678-9101

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»,
г. Луганск, РФ
vasilevkr@gmail.com

Предложено использование одного дизельного двигателя для решения различных исследовательских задач: испытания различных топлив, систем нейтрализации с различными катализаторами. Обычно это требует использование различных испытательных стендов, что приводит к удорожанию исследований. Поэтому предлагается использовать один двигатель, оснащенный различной исследовательской аппаратурой.

Универсальный испытательный стенд на базе одного двигателя позволяет проводить разнообразные эксперименты без необходимости использования других двигателей.

При испытаниях двигателей возникает необходимость решения многообразных технических задач, а именно, испытания различных топлив: биотоплив, скипидара, систем нейтрализации отработавших газов, сравнение эффективности различных катализаторов, определение влияния стационарного и кипящего слоя катализатора на эффективность очистки отработавших газов и т.д. [1, 2].

Предложенный стенд с двигателем позволяет решать все эти вопросы. Текст статьи посвящен использованию универсального испытательного стенда на базе одного дизельного двигателя для решения разнообразных исследовательских задач в двигателестроении. Авторы предлагают экономичный и гибкий подход, который исключает необходимость в нескольких специализированных стендах. Использование одного двигателя с настраиваемой измерительной аппаратурой снижает затраты на исследования. Позволяет тестировать разные топлива, системы нейтрализации выхлопных газов, катализаторы без замены двигателя. Стенд поддерживает:

Испытания альтернативных топлив (биодизель, скипидар).

Анализ эффективности каталитических систем (включая кипящий слой).

Измерение параметров работы двигателя с разными системами нейтрализации NO_x (например, с использованием аммиака).

В статье приведены схемы стенда (рис. 1, 2) с подробным описанием элементов (генератор, нагреватель ОГ, каталитический, система подачи аммиака и др.).

Упомянуто визуальное наблюдение за кипящим слоем катализатора через прозрачный реактор.

Возможность тестирования других типов катализаторов.

Оценка экологических и технических характеристик.

На рис. 1 представлен предложенный испытательный стенд.



Рис. 1. Испытательный стенд с дизелем 2Ч8,5/11

На рис. 2 представлена общая схема установки для исследований.

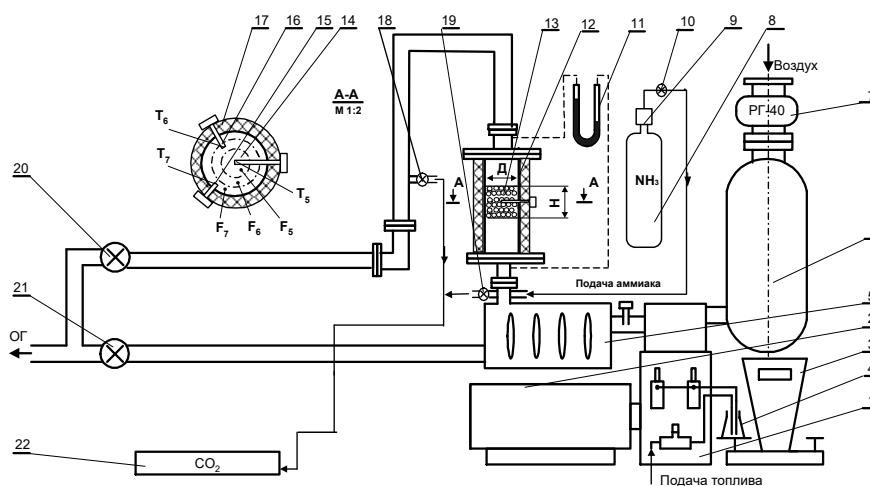


Рис. 2. Общая схема установки для исследований

1-дизель; 2-электродвигатель (генератор); 3-весы; 4-мерная колба; 5-нагреватель ОГ; 6-воздушный ресивер; 7-емкость с аммиакосодержащей жидкостью; 8- компрессор; 9-расходомер; 10-газовый счетчик; 11-баллон с аммиаком; 12 -расходомер аммиака; 13-водяной манометр; 14-каталитический реактор; 15, 16, 17-термопары; 18-теплоизоляция; 19, 20-газовые краны; 21-хроматограф "Цвет-530"; 22-дымомер ИДС-ЗС; 23-ГИАМ-15; 24-ГИАМ-14

В настоящее время одним из рациональных способов исследования двигателей является использование их как генератора газа и в зависимости от поставленных исследовательских целей, обеспечение стенда соответствующей измерительной аппаратурой.

Используя двигатель, как генератор газа и снабдив выхлопную систему нагревателем газа, то это позволяет, не изменяя режима работы двигателя (выбросы вредных веществ), определять эффективность различных каталитических систем.

Также эта установка позволяет оценить характеристики при работе в кипящем слое. Для этого изготавливается прозрачный реактор, который позволяет визуально наблюдать перемещение гранул катализа в зависимости от скорости газа в реакторе.

Существует классическая схема нейтрализации оксидов азота при подаче аммиака, как восстановителя.

Используя двигатель, как генератор газа и снабдив выхлопную систему нагревателем газа, то это позволяет, не изменяя режима работы двигателя (выбросов вредных веществ), определять эффективность различных каталитических систем.

Также эта установка позволяет оценить характеристики при работе в кипящем слое. Для этого изготавливался прозрачный реактор, который позволял визуально наблюдать перемещение гранул катализа в зависимости от скорости газа в реакторе.

Предложенная установка демонстрирует гибкость и экономическую эффективность для исследований в области двигателестроения и экологии.

Предложенная установка демонстрирует гибкость и экономическую эффективность для исследований в области двигателестроения и экологии.

Список литературы

1. Якубовский Юзеф. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Юзеф Якубовский // Пер. с пол. – М.: Транспорт, 1979. – С. 183.
2. Звонов В. А. Исследование каталитической нейтрализации отработавших газов дизеля / В. А. Звонов, З. Т. Звонова, П. П. Фесенко, И. П. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков, 1978. – № 28. – С. 121-127.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРИНГА ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Губарев Ф.А., д-р техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-7499-6109,

Давыдова Л.Ю., ORCID 0009-0003-7026-9670

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, РФ

fagubarev@sevsu.ru, gubarevfa@mail.ru

Введение. Процессы высокотемпературного горения и взрыва находят применения в различных сферах деятельности человека. Высокотемпературное горение применяется на практике как для синтеза материалов (СВС), так и для быстрого высвобождения энергии с целью нагрева или совершения механической работы [1-3]. Скорость и характер протекания являются ключевыми характеристиками процессов, от которых зависит качество продуктов синтеза и/или эффективность процесса. Не менее важным является характер инициирования горения, в ходе которого материалу сообщается энергия от внешнего источника, например, лазера или нагретого тела.

В настоящее время скоростная визуализация процессов применяется для получения визуальной информации при решении многих научно-исследовательских задач. Она дает возможность детального исследования динамики процессов во времени с целью выявления закономерностей, которые невозможно установить при простом визуальном наблюдении. Как правило, в качестве средств скоростной визуализации используются скоростные камеры как иностранного, так и российского производства, при этом методология исследований и схемы экспериментов разрабатываются в зависимости от особенностей сред и динамики процессов.

Сложностью визуализации горения является не только высокая скорость процессов, но и высокая яркость, которая в большинстве случаев приводит к засвечиванию изображений. Кроме того, прямая видеорегистрация дает информацию только о сжигающемся пламени, его форме, скорости распространения. При этом поверхность горящего материала остается невидимой. Преодолеть данную сложность позволяет лазерная система визуализации с усилением яркости – лазерный монитор. Впервые такая система для исследования горящих материалов применялась в работе [4]. В работах [5-8] рассмотрены варианты лазерных мониторов для энергетических применений на основе скоростных камер Photron, Phantom, HiSpec. На сегодня на российском рынке наиболее доступными являются камеры российского производства Evercam.

Цель данной работы – разработка универсальной системы лазерной визуализации для исследования лазерного и контактного инициирования

горения высокоэнергетических материалов (ВЭМ) на основе усилителя яркости на парах бромида меди и скоростных камер Evercam 1000-16-C.

Основная часть. Схематично схема лабораторной лазерной системы визуализации приведена на рис. 1.

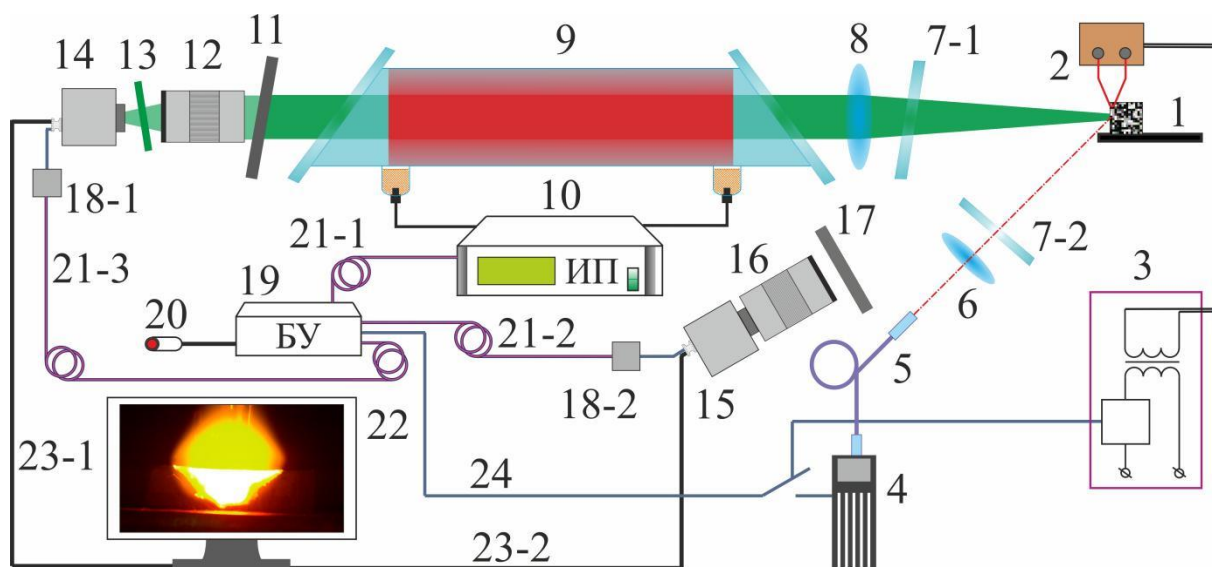


Рис. 1. Схема лабораторной установки. 1 – предметный столик с размещенным образцом; 2 – нагреваемый проводник; 3 – источник питания для нагрева проводника; 4 – диодный лазер; 5 – оптоволоконный вывод лазерного излучения; 6 – линза; 7-1, 7-2 – защитные стекла; 8 – линза для формирования изображение лазерного монитора; 9 – усилитель яркости; 10 – блок питания усилителя яркости; 11, 17 – нейтральные светофильтры; 12, 16 – объективы; 13 – фильтр 510 ± 5 нм; 14 – камера лазерного монитора; 15 – скоростная камера общего вида; 18-1, 18-2 – оптические преобразователи синхроимпульсов; 19 – цифровой блок синхронизации; 20 – кнопка начала исследования; 21-1, 21-2, 21-3 – оптоволокно; 22 – ПК; 23-1, 23-2 – кабели для передачи данных.

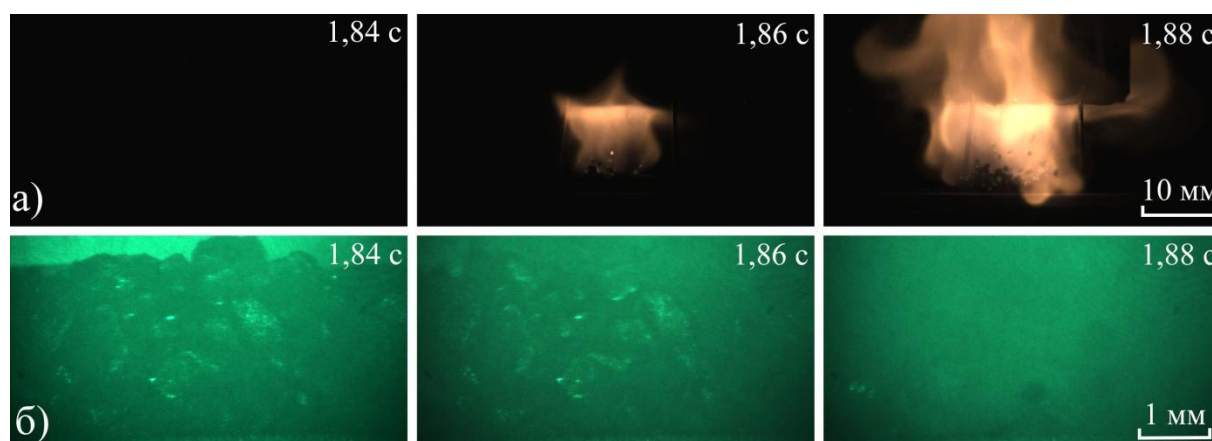


Рис. 2. Изображения процесса воспламенения пороха при наблюдении с использованием прямой видеозаписи (а) и лазерного монитора (б)

Установка позволяет осуществлять инициирование лазерным излучением или накаливаемым проводником. В обоих случаях скоростная

запись изображений синхронизована с началом воздействия. Начало эксперимента задается оператором по нажатию кнопки. Импульсы излучения усилителя яркости и экспозиция камер синхронизованы. Использовался усилитель яркости на парах бромида меди, аналогичный [8]. На рис. 2 приведены примеры синхронизированных изображений при традиционной скоростной съемке и с использованием лазерного монитора. Скорость съемки составляла 2000 кадров/с. Цифровой анализ изображений в дальнейшем позволит определить скорость и характер движения частиц при инициировании и распространении горения.

Заключение. В работе рассмотрена система скоростной визуализации процесса горения на основе лазерного монитора на парах бромида меди и скоростных камер Evercam 1000-16-C. Продемонстрирована возможность визуализации возгорания ВЭМ (пороха), подобного применяемому при проведении взрывных работ на предприятиях угольной отрасли. Данную систему планируется использовать для исследования инициирования и горения различных ВЭМ.

Список литературы

1. Zarko V. E., Gromov A. A. *Energetic Nanomaterials: Synthesis, Characterization, and Application*. Amsterdam: Elsevier, 2016. – 374 p. – ISBN: 978-0-12802-710-3.
2. Горение нанопорошков металлов / А. А. Громов, Т. А. Хабас, А. П. Ильин, Е. М. Попенко, А. Г. Коротких, В. А. Архипов, А. А. Дитц, Ю. И. Строкова, Л. О. Толбанова. – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с. – ISBN: 978-5-94154-143-0.
3. Sundaram D. S., Yang V., Zarko V. E. Combustion of nanoaluminum particles (review) // *Combustion, Explosion, Shock Waves*. – 2015. – V. 51. – № 2. – P. 173–196. DOI: 10.1134/S0010508215020045
4. Евтушенко Г. С. Скоростная визуализация микрообъектов посредством активных сред лазеров на парах металлов в условиях засветки / Г. С. Евтушенко, Ф. А. Губарев, В. Б. Суханов и др. // *Известия Томского политехнического университета*. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 141-146. EDN: KYRLLV
5. Li L., Ilyin A.P., Gubarev F.A., Mostovshchikov A.V., Klenovskii M.S. Study of self-propagating high-temperature synthesis of aluminium nitride using a laser monitor // *Ceramics International*. – 2018. – Т. 44. – № 16. – С. 19800-19808. EDN: HONQON, DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.07.237
6. Li L., Mostovshchikov A.V., Ilyin A.P., Antipov P.A., Gubarev F.A., Shiyanov D.V. In situ nanopowder combustion visualization using laser systems with brightness amplification // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2021. – V. 38. – P. 1695–1702. DOI:10.1016/j.proci.2020.08.048
7. Губарев Ф.А. Визуализация горения нанопорошков металлов с применением импульсного и непрерывного лазеров подсветки / Ф.А. Губарев // *Ползуновский вестник*. – 2022. – Т. 2. – № 4, – С. 151–158. EDN: QKMHCE, DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.019
8. Gubarev F.A., Mostovshchikov A.V., Li L. High-speed optical imaging technique for combusting metal nanopowders // *Optics and Laser Technology*. – 2023. – V. 159. – Art. No 108981. DOI:10.1016/j.optlastec.2022.108981

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОДЗЕМНОГО СТОКА В РЕКУ БЕЛАЯ (ЛНР) КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕЧНОГО БАССЕЙНА

Долгих В.П., канд. техн. наук, ORCID 0009-0004-0539-0113
ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет»,
г. Алчевск, ЛНР, РФ
vidoscience@mail.ru

Введение. Для определения параметров и расчетных значений речного стока, обусловленного метеорологическими факторами и морфометрическими особенностями водосборов, широкое распространение получил водно-балансовый метод [1]. Определение водного баланса бассейна реки предполагает количественную оценку его составляющих, к числу которых относится подземный сток [2].

Исследование подземного стока крайне необходимо для решения проблем водоснабжения в бассейне реки Белая (ЛНР). Интенсивная добыча полезных ископаемых, приводящая к нарушению водоносных горизонтов, усугубляет дефицит воды для жителей и предприятий региона [3], главным из которых выступает «АМК» ООО «ЮГМК».

Цель работы: определение величины подземного питания реки Белой с использованием гидрохимического метода, основанного на сопоставлении химического состава подземных и поверхностных вод.

Основная часть. Оценка подземного стока осуществляется посредством решения уравнения [4], предложенного А. Т. Ивановой специально для определения подземного компонента речного стока в условиях стабильной межени и характеризующегося преобладающим питанием реки за счет подземных вод:

$$Q_{\text{подз}} = \frac{Q_{\text{пов}}(c_p - c_{p(\min)})}{(c_{p(\max)} - c_{p(\min)})}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{подз}}$ – объем воды, который поступает из подземных источников, м³/с; $Q_{\text{пов}}$ – объем воды, который поступает из поверхностных источников, м³/с; c_p – доля компонента в речной воде, г/м³; $c_{p(\min)}$ – минимальная доля компонента в пик половодья, г/м³; $c_{p(\max)}$ – максимальная доля компонента в период межени, г/м³.

Для оценки объема подземного стока использовались концентрации ионов кальция (Ca²⁺). Как указывается в работе [5], ионный сток, представляющий собой массу ионов и переносимых рекой с территории за определенный период, является основным компонентом растворенных веществ в воде. Ионный состав реки является результатом взаимодействия природных процессов и антропогенного влияния. Кальций попадает в речную систему в основном благодаря растворению горных пород, что

делает его концентрацию напрямую зависимой от количества воды, поступающей из подземных горизонтов. Другие ионы, такие как сульфаты (SO_4^{2-}), хлориды (Cl^-), фосфаты (PO_4^{3-}), натрий (Na^+) и калий (K^+), также присутствуют в речной воде, но их поступление связано в большей степени с атмосферными осадками и хозяйственной деятельностью, что делает их менее подходящими для оценки подземного стока.

Как следует таблицы, полученной на основании обработки результатов полевых исследований сотрудниками Научного центра мониторинга окружающей среды (НЦМОС) и Молодежной научно-исследовательской лаборатории геоэкологии и прикладной химии (МНИЛ ГПХ) ФГБОУ ВО «ДонГТУ» в 2025 году с 17.04.2024 по 30.10.2024 год на уровнемерном посту возле поссовета пгт. Бугаевка, который является последним перед Исаковским водохранилищем и показывает содержание химических компонентов в воде из всех притоков, можно сделать вывод о значительном влиянии подземной составляющей стока в питании реки Белая.

Таблица

Расчет подземного стока $Q_{\text{подз}}$

Ион	Дата замера	Объем поверхностного стока $Q_{\text{пов}}$, м ³ /с	Концентрация компонента в речной воде c_r , г/м ³	Подземный сток $Q_{\text{подз}}$, м ³ /с
2022 г. [5]				
Ca^{2+}	01.03.2022	2,02	52,10 (минимальная концентрация в пик весеннего половодья)	
	04.05.2022	1,96	108,22	1,44 (74 %)
	01.07.2022	0,33	124,25	0,31 (94 %)
	28.07.2022	0,53	128,26 (максимальная концентрация в период низкой межени)	
2024 г.				
Ca^{2+}	17.04.2024	2,49	30,06 (минимальная концентрация)	
	25.04.2024	2,07	38,06	0,18 (8,5 %)
	15.05.2024	1,59	68,14	0,64 (40,5 %)
	05.06.2024	0,98	40,06	0,1 (10,6 %)
	04.07.2024	0,57	60,12	0,18 (31,9 %)
	18.09.2024	0,26	124,2 (максимальная концентрация)	
	25.09.2024	0,15	70,14	0,07 (42,6 %)
	23.10.2024	0,39	90,18	0,25 (63,8 %)
	30.10.2024	0,24	86,17	0,14 (59,6 %)

В начальный период наблюдений величина подземного стока ($Q_{\text{подз}}$) варьировалась в диапазоне 10–40 % от общего объема стока. Однако в июле 2024 года, вследствие остановки водоотливных комплексов и прекращения сбросов шахтных вод, которые ранее выступали стабилизирующим фактором водности реки Белая в маловодный период, наблюдается тенденция к увеличению доли подземного стока. Анализ проб воды, проведенный с учетом концентрации ионов кальция (Ca^{2+}), позволяет констатировать достижение $Q_{\text{подз}}$ уровня 64 % от общего объема стока и его дальнейшее превышение в условиях дефицита атмосферных осадков и несбалансированного расхода воды всеми участниками водопотребления.

Заключение. Увеличение доли подземных вод в формировании речного стока р. Белая сопряжены с повышенным риском роста минерализации. Данная тенденция влечет за собой дополнительную нагрузку на водоочистные комплексы, а также дефицит водных ресурсов для сельскохозяйственного орошения и промышленных нужд.

Информация о финансовой поддержке: Исследования выполнены за счет средств федерального бюджета (код темы: FRRU-2024-0004 в ЕГИСУ НИОКТР).

Список литературы

1. Свод правил по проектированию и строительству. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2023. – 103 с.
2. Руководство по гидрологической практике. Том I. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. – Всемирная Метеорологическая Организация, 2008. – 314 с.
3. Крамаренко, А. А. О формировании стока малых рек в условиях углеработок и о выборе рек-аналогов / А. А. Крамаренко, А. К. Коптева, И. Л. Лысенко // Экологический вестник Донбасса. – 2022. – № 7. – С. 37–50.
4. Морозов, П. Н. Подземный сток и методы его определения: конспект лекций / П. Н. Морозов. – Л.: ЛГМИ, 1975. – 60 с.
5. Смирнова, И. В. Расчёт подземного стока в реку Белая гидрохимическими методами / И. В. Смирнова, Ю. С. Вознюк // Экологический вестник Донбасса. – 2023. – № 9. – С. 41–46.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАКРЫТИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ «МОКРЫМ» СПОСОБОМ

Доценко О.Г., канд. техн. наук, доц. AuthorID 1134122,

Корецкая Е.Г., AuthorID 1185625

ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет»,

г. Алчевск, ЛНР, РФ

dotcenkoo@mail.ru, e-mail: elenakorangel@mail.ru

Актуальность. Несмотря на активное обсуждение в научной литературе [1-6] негативных последствий «мокрой» консервации шахт, комплексный анализ их причинно-следственных связей и совокупного влияния на водные ресурсы и климат региона недостаточно изучен.

Цель работы – анализ причинно-следственных цепочек, связывающих закрытие шахт «мокрым» способом с деградацией сопредельных территорий и развитием процессов аридизации.

Основные положения. Прекращение дорогостоящего водоотлива (24 млн. руб/ год на одну шахту [7]) и затопление горных выработок запускает каскад взаимосвязанных негативных процессов. На основе системного подхода построена обобщенная причинно-следственная модель (рис.), интегрирующая разрозненные последствия в единую схему и демонстрирующая их синергетический эффект.

Гидрогеомеханические нарушения. Затопление вызывает размокание пород, активизируя сдвигание земной поверхности. Это создает риски для зданий, сооружений и магистральных трубопроводов (газ, аммиак), повышает вероятность техногенных землетрясений. Результатом затопления шахт может стать подтопление и заболачивание равнинных территорий. *Изменение гидрологического режима и деградация водной среды.* Мигрирующие по выработкам шахтные воды, выщелачивают токсичные компоненты из пород, вызывая вторичную минерализацию и интенсивное загрязнение. Дополнительный источник загрязнения – инфильтрация осадков через породные отвалы. Поступление этих вод в верхние водоносные горизонты обостряет проблему качества воды. *Затопление шахт изменяет схему питания рек.* Подъем уровня грунтовых вод приводит к «перехвату» части поверхностного стока и обмелению рек и водохранилищ.

Деградация экосистем и влияние на микроклимат. Попадание загрязненных вод в обмелевшие водоемы, вызывает деградацию водных и прибрежных экосистем. Их использование в сельском хозяйстве приводит к засолению почв. Сокращение площади водной поверхности уменьшает испарение влаги, что формирует над регионом сухую воздушную массу, снижает облачность и количество осадков, препятствуя формированию устойчивого снежного покрова. Заболачивание территорий усугубляет

дисбаланс, так как испарение с заболоченных почв менее интенсивно. Совокупность этих процессов разрушает естественный механизм формирования влажного климата.

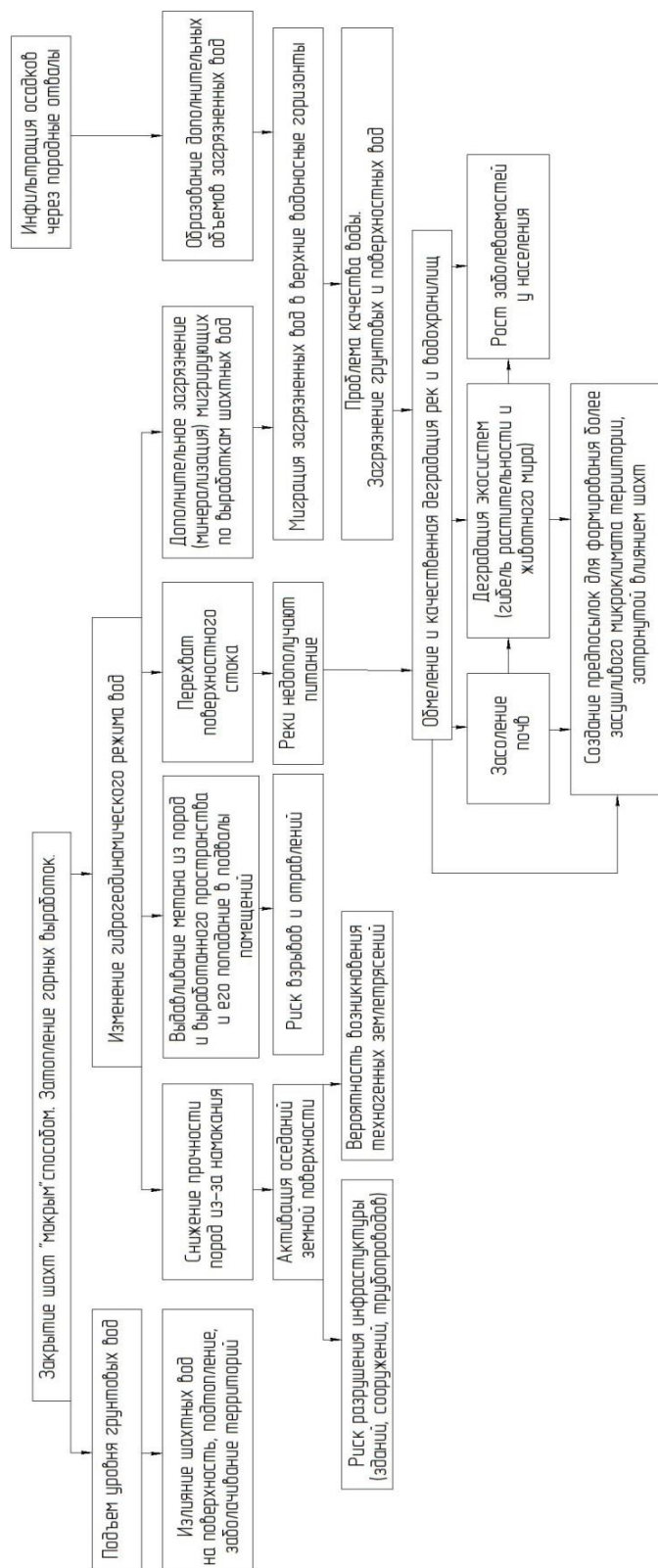


Рис. Обобщенная причинно-следственная модель экологических последствий закрытия шахт «мокрым» способом

Выводы. Процессы закрытия шахт» мокрым» способом носят каскадный характер, приводя не только к загрязнению гидро- и литосферы, но и через деградацию экосистем влияют на локальный климат, усиливая аридность. Выявленные процессы имеют региональную специфику Донбасса, обусловленную высокой обводненностью пород, глубоким залеганием пластов и напряженным водным балансом. В отличие, например, от Кузбасса, где последствия сводятся к локальному подтоплению и загрязнению вод, в Донбассе они запускают цепную реакцию, затрагивающую основы водного и климатического режима.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета (код темы: FRRU-2024-0004 в ЕГИСУ НИОКТР).

Список литературы

1. Дрозд, Г. Я. Шахтные воды как фактор риска техногенной катастрофы для Донбасса / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2019. – №13 (56). – С. 57-71. – EDN RIIILE.
2. К вопросу изучения составляющих баланса грунтовых вод при затоплении шахт в Донбассе / П. Г. Артеменко, А. Б. Ягмур, Н. А. Дроздова, О. И. Краскова // Труды РАНИМИ. – 2024. – №1 (39). – С. 28-36. – DOI 10.24412/1996-885X-2024-139-002. – EDN AVHBBF.
3. Бондаренко, Е. С. Гидрологические проблемы закрытия угольных шахт / Е. С. Бондаренко, В. Г. Ефимов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сборник материалов XIV международной научной конференции аспирантов и студентов. Посвящается Всемирному Дню окружающей среды, 75-летию Победы в Великой Отечественной Войне (Донецк, 14-16 апреля 2020 г.) – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. – С. 82-84. – EDN YMWTMQ.
4. Имайкин, А. К. Гидрогеологические последствия подземной добычи угля на Коспашском месторождении каменного угля / А. К. Имайкин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №2. – С. 419- 426. – EDN OXCPZZ
5. Абдурасулов, И. Изменение водного режима в зоне отработки угольных месторождений / И. Абдурасулов, Т. С. Умаров, А. И. Абдурасулов // Перспективы науки, образования и бизнеса в цифровой экономике: сборник статей Международной научно-практической конференции (Москва, 26 дек. 2017 г.) – Москва: ООО «Импульс», 2017. – С. 759-767. – EDN YQTXPA.
6. О некоторых проблемах закрывающихся шахт / Ю. А. Петренко, В. Д. Иващенко, А. Л. Касьяненко, Б. Б. Зельдин // Проблемы горного давления. – 2022. – № 1-2 (42-43). – С. 127-136. – EDN NNFAQQ.
7. Герасько О. А. Проект затопления горных выработок с технико-экономическим обоснованием целесообразности (нецелесообразности) выдачи движимого и недвижимого имущества или его списания ВОК и ТКП шахты «Фашевская» ГУП ЛНР «ГУРШ» / О. А. Герасько, Е. Е. Голодных. – 2022. Кн. 1. – 53 с.

УПРАВЛЕНИЕ КОНФОРМАЦИОННОЙ ДИНАМИКОЙ БИОПОЛИМЕРОВ

Илюхин А.А.¹, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Тимошенко Д.В.², канд. физ.-мат. наук, доц.

¹ФГБНУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, РФ

²ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, Ростовская обл., РФ

Предметом исследований в настоящей работе служит вопрос о применимости методов теории управления к объекту живой природы на примере молекулы ДНК [1, 2].

Получение заданной пространственной конфигурации (или, в терминах молекулярной динамики, конформации) молекулы ДНК имеет исключительное значение в таких областях как геновая инженерия и клеточная медицина. Это связано с тем, что одним из объективных и общепризнанных свойств молекулы ДНК, отвечающих за передачу наследственной информации, является последовательность и периодичность в молекуле ее базовых элементов – нуклеотидных оснований, – а также структурный состав этих элементов.

Рассматриваются как вопросы управляемости формой молекулы за счет изменения параметров молекулы, допускающих внешнее управление ее конфигурацией, так и вопросы наблюдаемости и идентификации параметров молекулы, исходя из параметров видимой конфигурации в естественной среде. В докладе приводится обзор результатов в части адаптации к объектам исследования существующих и разработке новых математических моделей деформируемых упругих объектов с учетом их внутренней структуры [3–5].

В основу предлагаемого подхода положена концепция перехода с помощью известных методов молекулярной динамики от многоэлементной дискретной среды к континууму, содержащему моментные напряжения.

Цель работы состоит в выработке общих подходов к задаче управления пространственными конфигурациями молекул биополимеров [7].

Необходимость выбора в качестве базовой модели континуума, содержащего моментные напряжения, диктуется особенностями основного объекта исследования – молекул нуклеиновых кислот и биополимеров – обладающих несколькими степенями свободы вращательных движений.

Также в качестве примера рассмотрен случай, для которого осуществлена редукция от трёхмерной задачи несимметричной теории упругости к одномерной посредством расщепления трёхмерной задачи на совокупность двумерной и одномерной задач [3–5]. Указаны кинематические параметры, которые необходимо привлечь, чтобы вместе с системой дифференциальных уравнений Кирхгофа получить замкнутую

систему уравнений одномерной моментной теории стержней. Остальные геометрические величины найдены из определяющих их соотношений.

Базовую систему уравнений деформации эквивалентного молекуле упругого стержня, следуя работе [6], запишем в виде

$$\frac{d}{ds}(\mathbf{M} + \boldsymbol{\lambda}) = (\mathbf{M} + \boldsymbol{\lambda}) \times \boldsymbol{\omega} + \mathbf{P}(\mathbf{e} \times \boldsymbol{\gamma}), \quad \frac{d}{ds} \boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{\omega}, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{\omega}(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ – вектор Дарбу оси стержня, $\mathbf{P}$ – равнодействующая концевых сил, $\mathbf{M}(M_1, M_2, M_3)$ – вектор-момент внутренних сил, $\boldsymbol{\gamma}(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ – единичный вектор вдоль концевой силы, $\mathbf{e}(e_1, e_2, e_3)$ – единичный вектор касательной к оси стержня, вектор $\boldsymbol{\lambda}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ характеризует форму оси стержня к первоначальному состоянию. Дифференцирование по дуговой координате s производится в главных осях изгиба и кручения.

Система дифференциальных уравнений (1) содержит девять неизвестных величин: M_i, γ_i, ω_i ($i = 1, 2, 3$) поэтому является незамкнутой. Для того чтобы получить недостающие три уравнения, привлекают к рассмотрению уравнения теории упругости. В классической теории стержней Кирхгофа эти замыкающие уравнения имеют вид

$$M_i + \lambda_i = \sum_{j=1}^3 B_{ij}(\omega_j - \omega_j^0), \quad (2)$$

где ω_i^0 – компоненты в главных осях изгиба и кручения вектора Дарбу $\boldsymbol{\omega}^0$ для недеформированного состояния, B_{ij} – компоненты матрицы жёсткостей. В дальнейшем рассматриваются изотропные стержни ($B_{ij} = 0, i \neq j$).

Система уравнений (1) совместно с замыкающими соотношениями (2) допускает два общих интеграла:

$$M_1 \gamma_1 + M_2 \gamma_2 + M_3 \gamma_3 = K, \quad \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_3^2 = 1, \quad (3)$$

третий интеграл (интеграл энергии), в случае равенства нулю недиагональных компонентов матрицы жёсткостей, имеет вид:

$$B_{11}\omega_1^2 + B_{22}\omega_2^2 + B_{33}\omega_3^2 - 2P\gamma_1 = 2H. \quad (4)$$

Во многих случаях процедура интегрирования системы (1) сводится к поиску четвертого интеграла, которого в соответствие с теорией последнего множителя Якоби достаточно для получения основных переменных в виде функции дуговой координаты [6].

Суть механической модели молекулы ДНК состоит в том, что молекуле ставится в соответствие упругий стержень, ось которого совпадает с гипотетической осью молекулы, а боковая поверхность – с гипотетической боковой поверхностью молекулы, а также обладающий близкими к молекуле механическими характеристиками. Поведение такого стержня под действием внешних сил будет эквивалентно поведению молекулы ДНК, взаимодействующей с внешней средой.

Дополнительно отметим, что такое представление возможно благодаря уникальным по молекулярным меркам масштабам молекулы ДНК: от нескольких тысяч нанометров, до нескольких сантиметров.

Система (1) с уравнениями связи в форме (2) описывает деформации изотропного стержня постоянного поперечного сечения. С помощью такой модели удобно анализировать общую геометрию молекулы, не касаясь вопросов внутренних взаимодействий. Как показали исследования, для задач качественного анализа геометрии во многих случаях этого оказывается достаточно [3–5]. Для задач идентификации параметров [6] модель вида (1) – (2) может оказываться грубой, поскольку не учитывает внутренние взаимодействия. В этом случае в зависимости от выбора гипотез о свойствах сплошной среды, соотношения (2) корректируются либо получаются с помощью редукции трехмерной задачи теории упругости. Для системы (1) с уравнениями связи (2), либо их модификацией, ставятся две задачи: задача выявления связи «параметры – конформация» и задача выявления связи «конформация – параметры» (задача идентификации). Решение первой задачи можно проиллюстрировать на примере точных решений системы (1) для различной формы соотношений (2). Решение второй задачи может опираться на методы теории наблюдения динамических систем [6].

Рассмотренные механико-математические модели позволяют реализовать предложенные в [6] методы управления, наблюдения и идентификации.

Предлагаемый подход согласуется с современными тенденциями в области молекулярного моделирования в биофизике и физико-химической биологии и представляется перспективным в решении задач управления генетическими и биохимическими процессами с участием биополимеров [7].

Список литературы

1. Benham C. J. Elastic model of supercoiling // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – Vol. 74. – 1977. – P. 2397–401.
2. Frank-Kamenetskii, M. D., Lukashin, A. V., Anshelevich, V. V. 1985 Torsional and bending rigidity of the double helix from data on small DNA rings // *J. Biomol. Struct. Dynam.* 2. – 1985. – P. 1005–1012.
3. Илюхин А. А. К моментной теории упругих стержней / А. А. Илюхин, Н. Н. Щепин // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки.* – 2001. – Спецвыпуск. – С. 92–94.
4. Илюхин А. А. Новый метод определения условий замкнутости молекул ДНК / А. А. Илюхин, Д. В. Тимошенко // *Обозрение прикладной и промышленной математики.* – Москва. – 2006. – Т. 13. – Вып. 2. – С. 322–324.
5. Илюхин А. А. Микрополярная теория упругих стержней / А. А. Илюхин, Д. В. Тимошенко // *Известия Саратовского университета.* – Саратов. – 2008. – Т. 8. Сер. Математика. Механика. Информатика. – Вып. 4. – С. 27–3
6. Ковалев А. М. К определению параметров оси стержня, деформированного концевыми нагрузками / А. М. Ковалев, А. А. Илюхин // *Механика твердого тела.* – 1980. – Вып. 12. – С. 100–108.
7. Шайтан К. В. Как биополимер (белок) сворачивается в уникальную 3D- структуру? / К. В. Шайтан // *Вестник Московского университета.* – Серия 16. Биология. – 2023. – Т. 78. – С. 9–12.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ

Кара А.В., ORCID 0009-0003-1576-8370,
Садовая И.В., канд. хим. наук, ORCID 0000-0001-6976-3290,
Алехов Ю.А., ORCID 0009-0007-5859-4939,
Аленин В.Г., ORCID 0009-0003-6256-1268,
Волошанович И.Н., ORCID 0009-0009-6165-9398
ФГБНУ «НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ
annushka_kara@mail.ru

Введение. Металлокерамические фильтры находят широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря уникальному комплексу свойств: высокой механической прочности, термической и коррозионной стойкости в агрессивных жидких и газовых средах. Они выдерживают более высокие температуры и давления по сравнению с другими типами фильтров, а также являются многоразовыми благодаря возможности регенерации [1]. В связи с этим разработка быстрых, надежных методик и установок для определения свойств фильтров представляются весьма актуальными.

Цель. Разработка и изготовление лабораторной установки для определения гидродинамических характеристик: гидродинамического сопротивления, задерживающей и регенерационной способности металлокерамических фильтроэлементов цилиндрической формы, полученных методом СВС в поле центробежных сил.

Основная часть. Для исследования гидродинамических характеристик фильтроэлементов разработана лабораторная установка, представленная на рис.

Установка содержит насосный агрегат QB-60 (1), подающий воду из смесителя (8), через вентиль (2) в гидросистему для испытания фильтроэлемента, включающую манометр МТ-1.6 (3), расходомер жидкости KB-1.5 (4), металлический корпус (5), в который устанавливается испытуемый фильтроэлемент, устройство для введения загрязнителя (7), представляющего собой питатель нажимного действия со шприцом. Магнитная ловушка (9) выполнена на основе постоянного магнита, создающего магнитное поле напряженностью 0,45 Тл. Соединения выполнены гибкими напорными трубопроводами (6).

В качестве объекта исследования выбран синтезированный методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в поле центробежных сил из мелкодисперсных порошков никеля и алюминия

(атомное соотношение 1:1) цилиндрический фильтроэлемент с наружным диаметром 54 мм, высотой 60 мм и толщиной стенки 8 мм.

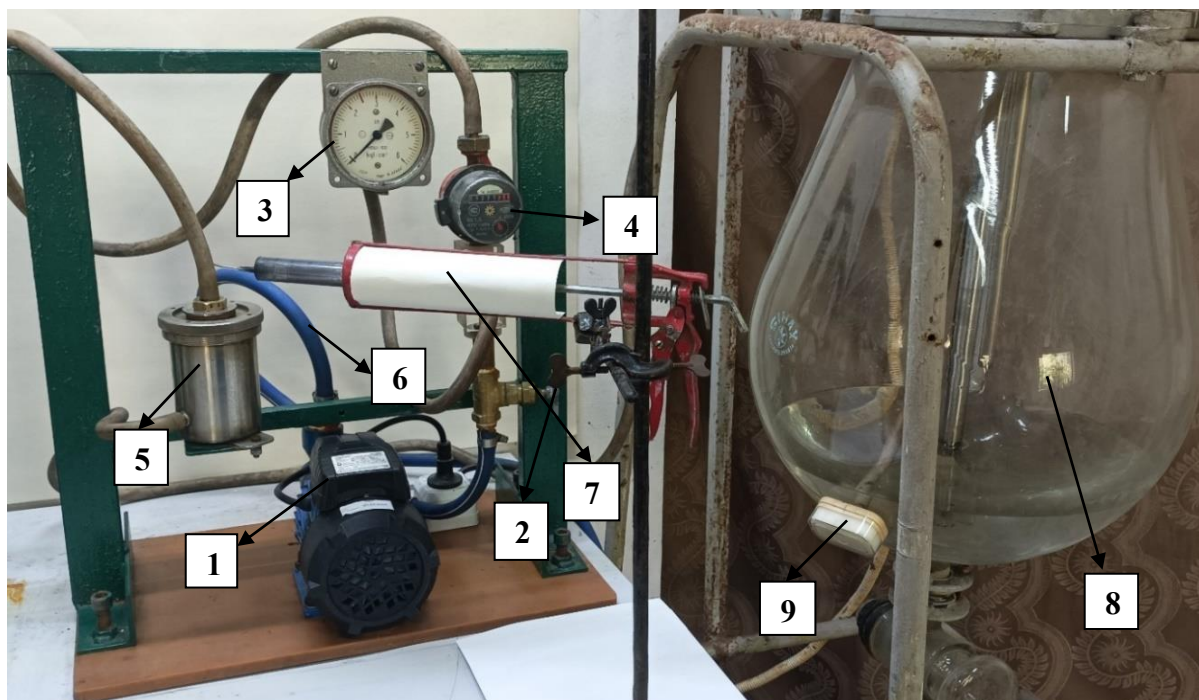


Рис. Фотография установки для измерения гидродинамических характеристик фильтроэлементов: 1 – жидкостный насос QB-60, 2 – вентиль, 3 – манометр МТ-1.6, 4 – расходомер жидкости КВ-1.5, 5 – металлический корпус для установки фильтроэлемента, 6 – трубопровод напорный, 7 – устройство для введения загрязнителя, 8 – смеситель, 9 – магнитная ловушка

Принцип действия установки состоит в следующем:

1. Определение гидродинамического сопротивления фильтроэлемента. При включении насоса (1) жидкость (дистиллированная вода) из смесителя (8) по гибким напорным трубопроводам (6) и расходомеру (4) подается на вход в металлический корпус с фильтроэлементом (5) и далее в смеситель (8). Изменяя вентилем (2) расход жидкости, фиксируем во времени показания расходомера (4) и давления по манометру (3). По полученным результатам согласно [2] вычисляем гидравлическое сопротивление исследуемого фильтроэлемента.

2. Определение задерживающей способности (коэффициента отсева твердой фазы). При включении насоса (1) жидкость (дистиллированная вода) из смесителя (8) по гибким напорным трубопроводам (6) и расходомеру (4) подается на вход в металлический корпус с фильтроэлементом (5) и далее в смеситель (8). Вентилем (2) устанавливают расход жидкости 2 л/мин при давлении 0,1 мПа, фиксируют во времени показания расходомера жидкости (4) и давления по манометру (3). При этом устройством для введения загрязнителя (30 % суспензия мелкодисперсного (средний размер частиц 0,8 мкм) магнетита в воде),

вводят суспензию в точку входа напорного трубопровода в металлический корпус (5) со вставленным фильтроэлементом. Скорость ввода загрязнителя поддерживают таким образом, чтобы концентрация последнего в полости фильтроэлемента составляла 0,3 масс. %. Прошедший через фильтроэлемент магнетит, улавливается магнитной ловушкой (9). После окончания измерения фильтроэлемент и, изъятый из магнитной ловушки загрязнитель, высушивают при температуре 120⁰С до постоянного веса, взвешивают и в соответствии с [2] вычисляют коэффициент отсева твердой фазы.

3. Определение регенерационной способности проводят путем промывки загрязненных при определении задерживающей способности фильтроэлементов, используя установку в реверсном режиме по изложенной выше методике определения гидродинамического сопротивления, поменяв при этом местами вход и выход трубопровода в металлический корпус (5) со вставленным фильтроэлементом. Проходящая в результате промывки жидкость уносит из тела фильтроэлемента загрязнитель, улавливаемый магнитной ловушкой (9). В процессе промывки контролируют показания манометра (3) и расходомера жидкости (4). Промывку заканчивают при достижении постоянных значений манометра (3). Эффективность регенерации оценивают путем сравнения гидродинамического сопротивления чистого и промытого после загрязнения фильтроэлемента.

Заключение. Разработана и изготовлена лабораторная установка для определения гидродинамических характеристик: гидродинамического сопротивления, задерживающей и регенерационной способности металло-керамических фильтроэлементов цилиндрической формы, полученных методом СВС в поле центробежных сил.

Список литературы

1. Очистка газовых и жидких сред металлокерамическими СВС-фильтрами / А. А. Гейнман, В. Д. Гончаров, А. Л. Новоселов, Н. Ю. Щетинкина // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 2. – С. 146–150. – EDN: JVNFPB.
2. ГОСТ Р 50554-93. Промышленная чистота. Фильтры и фильтрующие элементы. Методы испытаний: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20.04.93 N 110: дата введения 1994-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025912> (дата обращения: 21.04.2025). – Текст: электронный.

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА БАЗЕ ИМПУЛЬСНОГО ТЕРМОАНЕМОМЕТРА И МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32

Ломонос Г.Т., ORCID 0009-0000-9759-0008, *Лебедев В.Н.*,
Пометун Е.Д., канд. техн. наук, ORCID 0009-0008-4205-3297
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
g.lomonos@donnu.ru, v.lebedev@donnu.ru, e.pometun.fnpme@mail.ru

Введение. Точные измерения скорости, температуры и давления воздушных потоков являются неотъемлемой частью аэродинамических исследований в таких областях, как авиация, энергетика и строительная инженерия [1]. Существующие средства измерений, такие как чашечные, ультразвуковые и термоанемометры постоянного тока, обладают рядом ограничений: низкая чувствительность на малых скоростях, значительная температурная зависимость и недостаточная механическая прочность, ограниченный диапазон измерений [2]. Лазерные методы, обладая высокой точностью, требуют сложной юстировки и не всегда применимы в условиях эксплуатации.

Целью данной работы являлась разработка метрологического комплекса, лишённого указанных недостатков, на основе современной элементной базы и импульсного метода измерения.

Основная часть. В основе комплекса лежит микроконтроллер Piranha ESP32-S с двухъядерным процессором (240 МГц), 12-разрядным АЦП и модулем Wi-Fi. Для измерения термобарических параметров среды используется цифровой датчик BME280, обеспечивающий измерение температуры в диапазоне 0–60°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$), относительной влажности ($\pm 3\%$) и атмосферного давления (± 1 гПа).

Предлагаемая система решает данные проблемы за счёт:

- применения цифрового импульсного термоанемометра с микротермопарой с длительностью импульсов – 1 мс и частотой – до 100 Гц.
- обработки данных на микроконтроллере ESP32 методом измерения частоты следования импульсов с помощью аппаратного модуля Pulse Counter (PCNT) ESP32 по фронтам импульсов, обеспечивающий минимальную погрешность ($\pm 0,01\%$) [2].

Чувствительным элементом импульсного термоанемометра является микротермопара типа К с диаметром проводников 0,18 мм и площадью чувствительной области $\sim 0,1$ мм² [3]. Выходным сигналом устройства является последовательность прямоугольных импульсов длительностью 1 мс. Частота следования импульсов (f) линейно связана со скоростью воздушного потока (v) и варьируется от 5 до 100 Гц. Для регистрации частоты с минимальной погрешностью используется аппаратный модуль

Pulse Counter (PCNT) микроконтроллера ESP32, что позволяет достичь погрешности дискретизации $\pm 0,01\%$ [4].

Градуировка комплекса и определение расчетных зависимостей проводились на аэродинамическом стенде АДС 200/250 с системой автоматического регулирования скорости и температуры потока. Диапазон регулирования параметров установки ограничен мощностью нагревателя

Разработанный измерительный комплекс обладает рядом ключевых преимуществ, определяющих его конкурентоспособность. Благодаря применению импульсного метода его чувствительность ($\text{Гц}/(\text{м}/\text{с})$), на порядок превышает аналогичный показатель классических термоанемометров. Это обеспечивает эффективную работу в широком динамическом диапазоне: комплекс демонстрирует стабильную точность как на очень малых (менее $1 \text{ м}/\text{с}$), так и на высоких (свыше $30 \text{ м}/\text{с}$) скоростях потока.

Заключение. Разработанный измерительный комплекс на базе импульсного термоанемометра и микроконтроллера ESP32 показал себя как перспективное средство для высокоточных аэродинамических измерений. Его ключевые преимущества – широчайший диапазон измерений, высокая чувствительность, помехоустойчивость и надежность – позволяют рекомендовать его для применения в научных исследованиях, промышленной аэродинамике, системах вентиляции и метеорологического мониторинга, а также в качестве бортового измерителя для БПЛА [4].

Список литературы

1. Пометун, Е. Д. Совершенствование элементов автоматизированной системы исследования параметров нестационарных газовых потоков / Е. Д. Пометун, В. Н. Лебедев // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального университета, Донецк, 27–28 октября 2022 года / Под общей редакцией С. В. Беспаловой. Том 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. – С. 29-30. – EDN SSXIYZ
2. Pulse Counter (PCNT) [Electronic resource] / Интернет-ресурс. – Режим доступа: [www/URL: https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/stable/esp32/api-reference/peripherals/pcnt.html](http://www.url:https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/stable/esp32/api-reference/peripherals/pcnt.html) – Загл. с экрана.
3. Кузнецов, Д. Н. Исследование импульсного термоанемометра с термопарой в качестве термочувствительного элемента / Д. Н. Кузнецов, В. Н. Лебедев, В. В. Перебийнос // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2012. – № 23(201). – С. 170-176. – EDN SXINNT.
4. Ломонос, Г. Т. Метеорологический комплекс на базе микроконтроллера ESP32, датчика BME280 и импульсного термоанемометра / Г. Т. Ломонос, В. Н. Лебедев, Е. Д. Пометун // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2025): Сборник материалов XVI Международной научно-технической конференции в рамках XI Международного научного форума Донецкой Народной Республики, Донецк, 28 мая 2025 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. – С. 133-137. – EDN LBNKSS.

АНАЛИЗ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В УСТРОЙСТВЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

Матвеев А.Ф., ORCID 0009-0002-5722-3224,

Рудник Р.С., ORCID 0009-0008-7552-629X

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»,

г. Ульяновск, РФ

te@ulstu.ru

Введение. Пограничный слой в газодинамике представляет собой тонкую область, прилегающую к поверхности тела, обтекаемого потоком [1]. В пределах этого слоя происходят существенные изменения газодинамических параметров – скорости, давления и температуры – от значений на стенке до характеристик внешнего потока. Его возникновение связано с вязкостью среды, а роль является определяющей в процессах переноса массы, импульса и энергии. Значимость пограничного слоя проявляется в широком спектре технических систем и устройств, где протекают процессы течения сплошных сред, включая газы и жидкости [2–4]. Одним из ключевых явлений, определяющих эффективность таких устройств, является газодинамическая температурная стратификация. Она характеризуется разделением потока на слои с различной температурой, обусловленным скоростными параметрами, градиентами давления и структурой течения. Особый интерес представляют устройства, основанные на принципе температурной стратификации, например труба Леонтьева [5]. Она предназначена для формирования и поддержания стратифицированного температурного распределения в газовом потоке. Настоящее исследование направлено на анализ особенностей пограничного слоя в условиях газодинамической температурной стратификации и оценку его влияния на работу соответствующих технических систем.

Целью работы является исследование формирования и развития пограничного слоя при газодинамической температурной стратификации, а также анализ его влияния на перенос тепла, массы и импульса в технических системах, использующих данный принцип, в частности в трубе Леонтьева.

Основная часть.

Для анализа пограничного слоя применяются уравнения Навье-Стокса, которые в приближенной форме для плоского пограничного слоя описывают законы сохранения массы, импульса и энергии. Толщина пограничного слоя (δ) для ламинарного течения вдоль плоской пластины может быть оценена по приближению Блазиуса:

$$\delta \approx 5 \sqrt{\frac{\nu x}{u}} \quad (1)$$

где ν – кинематическая вязкость газа, x – продольная координата (расстояние от передней кромки пластины/канала), U – скорость внешнего потока. Эта зависимость отражает рост толщины пограничного слоя пропорционально квадратному корню из расстояния, что особенно важно при анализе теплообмена на начальных участках канала.

В условиях турбулентного пограничного слоя, характерного для высоких чисел Рейнольдса ($Re_x = \frac{Ux}{\nu}$), толщина слоя аппроксимируется выражением:

$$\delta \approx 0,37x \cdot Re_x^{-1/5} \quad (2)$$

Эта формула отражает более быстрый рост толщины слоя в турбулентных условиях, что усиливает перемешивание и влияет на процессы температурной стратификации.

На рисунке представлены профили скорости и температуры в ламинарном и турбулентном пограничных слоях. Видно, что в ламинарном режиме толщина слоя меньше, а параметры изменяются плавно. В турбулентном случае слой значительно толще, наблюдается интенсивное перемешивание, приводящее к более равномерному распределению скорости и температуры. Эти особенности напрямую влияют на процессы тепломассопереноса и эффективность газодинамической температурной стратификации.

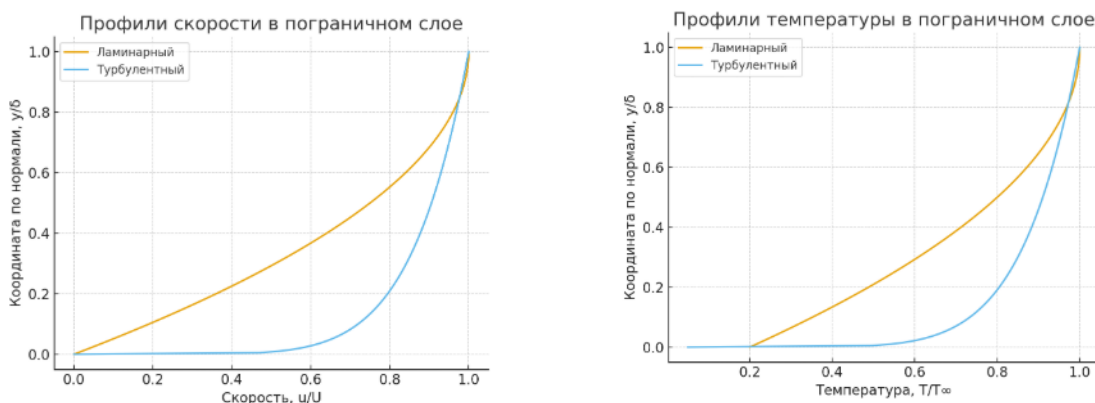


Рис. График с распределением скорости и температуры в ламинарном и турбулентном пограничном слое

Труба Леонтьева представляет собой устройство, в котором температурная стратификация достигается за счёт специально организованного течения газа. Пограничный слой формируется на внутренней поверхности трубы, где градиенты скорости и температуры определяют эффективность разделения потока на зоны с различной температурой. Ключевым фактором, влияющим на поведение пограничного слоя, является градиент давления, который может привести к его отрыву. Уравнение энергии для пограничного слоя с учётом сжимаемости газа имеет вид:

$$\rho \cdot c_p \cdot u \frac{dT}{dx} + \rho \cdot c_p \cdot v \frac{dT}{dy} = \frac{d}{dy} \left(k \cdot \frac{dT}{dy} \right) + \mu \cdot \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \quad (3)$$

где ρ – плотность газа, c_p – удельная теплоёмкость при постоянном давлении, u и v – компоненты скорости в направлениях x (направлен вдоль потока) и y (поперёк потока), T – температура, k – коэффициент теплопроводности, μ – динамическая вязкость. Это уравнение описывает конвективный перенос тепла, теплопроводность и диссипацию энергии из-за вязкости, что особенно значимо в стратифицированных потоках.

Пограничный слой существенно влияет на интенсивность теплообмена между стенкой и потоком, а также на распределение температуры в поперечном сечении потока. В трубе Леонтьева, где поток разделяется на горячие и холодные зоны, пограничный слой может как усиливать, так и ослаблять стратификацию в зависимости от режима течения. В ламинарном режиме слой обеспечивает плавное изменение температуры, способствуя стабильной стратификации. В турбулентном режиме интенсивное перемешивание в пограничном слое может выравнивать температурный профиль более интенсивно, повышая эффективность стратификации.

Заключение. Понимание закономерностей формирования и развития пограничного слоя в условиях газодинамической температурной стратификации имеет ключевое значение для оптимизации работы устройств, таких как труба Леонтьева. Управление его структурой и толщиной позволяет повысить эффективность теплообмена и улучшить разделение температурных зон потока. Проведённый анализ показал, что характеристики пограничного слоя – толщина, режим течения и интенсивность перемешивания – напрямую определяют процессы тепломассопереноса и формирование температурного профиля. Таким образом, учёт особенностей пограничного слоя является необходимым условием при проектировании и совершенствовании газодинамических систем, основанных на принципе температурной стратификации.

Список литературы

1. Ковальногов, Н. Н. Прикладная механика жидкости и газа / Н. Н. Ковальногов. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 219 с. ISBN 978-5-9795-0629-6.
2. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – Москва: Издательство Дрофа, 2003. – 784 с. ISBN 5-7107-6327-6.
3. Седов, Л. И. Механика сплошной среды. Т. I, II. / Л. И. Седов. – Москва: Наука, 1976. – 536 с., 574 с. ISBN 978-5-0000-0000-0.
4. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – Москва: Наука, 1974. – 711 с. ISBN 2100013758979.
5. Леонтьев А. И. Способ температурной стратификации газа и устройство для его осуществления (Труба Леонтьева). Патент на изобретение РФ № 2106581. Кл. МПК6: F25B9/02.10.03.1998.
6. Kovalnogov V. N. Reducing Energy Costs for Gas Preheating through Gas-Dynamic Stratification in the Leontiev Tube / V. N. Kovalnogov, R. S. Rudnik, A. F. Matveev // Problemele Energeticii Regionale – 2025. – Vol. 2 (66). – doi: 10.52254/1857-0070.2025/2-66/11

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ: ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ И АНТРОПОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЗЗ

Несова А.В., ORCID 0009-0007-9285-4044

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
arina.nesova@mail.ru

Введение. Леса играют ключевую роль в поддержании глобального биоразнообразия, стабилизации климата и обеспечении экосистемных услуг. Интенсификация антропогенного воздействия, в частности сплошных рубок, приводит к фрагментации местообитаний, деградации почв и потере биологического разнообразия [6]. Существующие методы экологического мониторинга зачастую не позволяют оперативно и точно оценивать структурное разнообразие лесных массивов и масштабы их нарушений, что затрудняет принятие своевременных управленческих решений в области охраны природы и устойчивого лесопользования [3-4].

Цель работы в разработке и апробации высокоточного метода для экологического мониторинга лесных экосистем, позволяющего не только детектировать факты антропогенных нарушений (сплошные рубки), но и оценивать ключевой показатель их состояния – биоразнообразие на уровне преобладающих древесных пород.

Основная часть. Исследования проводились на территории Велико-анадольского лесного заказника – уникального искусственного леса, созданного в степной зоне, что делает его ценным объектом для изучения антропогенной трансформации экосистем. Использовались данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутников Sentinel-2 и Landsat-8.

Методология включала в себя в подготовки данных к обработке, в расчёте вегетационных индексов (NDVI, EVI), средних значений спектральных каналов которые являются косвенными показателями жизнеспособности и продуктивности растительности. Для выделения структурных единиц ландшафта с помощью алгоритма SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) изображения сегментировались на суперпиксели – однородные участки, соответствующие элементам лесной структуры (куртины, фрагменты насаждений) [5,7]. Для каждого участка определялись признаки, характеризующие его экологическое состояние. В работе учитывались следующие признаки, это: спектральные признаки, отражающие фотосинтетическую активность и тип растительности; текстурные признаки, отвечающие за (энергию, контраст, энтропию); геометрические параметры: форма и площадь выделенных участков [1-2].

Далее на основании вычисленных признаков с помощью алгоритма Random Forest проводилась классификация суперпикселей на следующие экологически значимые классы: «здоровый лес (хвойный/лиственный)», «сплошная рубка», «фоновые территории». Это позволяет перейти от простого детектирования рубок к комплексной оценке структуры лесного покрова.

Заключение. Результаты работы предложенного метода показали высокий процент точности (93 %) что позволило идентифицировать участки сплошных рубок, что позволяет количественно оценить масштабы нарушений и динамику деградации лесных экосистем. Низкий процент ложных срабатываний (Precision > 92 %) минимизирует переоценку ущерба.

Предложенный подход позволил не просто выделить лесные массивы, но и дифференцировать их на хвойные (сосна) и лиственные (дуб, бук) насаждения с точностью 89-91 %. Это дает возможность в будущем стать одним из составляющих компонентов для составления карты лесных сообществ. Это будет являться фундаментальной задачей в оценке и сохранении биоразнообразия.

Также рассмотрены и предложены перспективы дальнейших исследований для улучшения разработанного метода, это: внедрение интерактивных инструментов для точного картографирования границ (рисование полигонов); использование многовременных снимков для анализа динамики лесного покрова; расширение системы классов для включения дополнительных типов растительности и нарушений; оптимизация параметров модели Random Forest для дальнейшего повышения точности.

Информация о финансовой поддержке: Работа выполнена в рамках деятельности молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ государственной регистрации НИОКТР 124051400023-4).

Список литературы

1. Achanta R., Shaji A., Smith K., Lucchi A., Fua P., Süsstrunk S. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012. Vol. 34, no. 11. P. 2274-2282. – DOI:10.1109/TPAMI.2012.120
2. Breiman, L. Statistical Modeling: The Two Cultures (with Comments and a Rejoinder by the Author). Stat. Sci. 2001, 16, 199–231. – DOI: 10.1214/ss/1009213726
3. Барталев С. А. Спутниковый мониторинг лесов России: современное состояние и перспективы / С. А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – № 5. – С. 9–34. – DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-9-34.
4. Егоров В. А. Автоматизированная сегментация космических изображений для оценки сплошных рубок леса / В. А. Егоров, Е. А. Лупян, С. А. Барталев // Лесоведение. – 2019. – № 3. – С. 243–253. – DOI: 10.1134/S0024114819030039.

5. Tucker C.J. Remote sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat // Remote Sensing of Environment. – 1981. – Vol. 11. – P. 267–277. – DOI: 10.1016/0034-4257(81)90027-X.
6. Hansen M.C., Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of Forest Cover Change // Science. – 2013. – Vol. 342, no. 6160. – P. 850–853. – DOI: 10.1126/science.1244693
7. Колесенков А. Н. Оценка состояния объектов лесного хозяйства на основе реализации НВИ-подхода средствами математического моделирования / А. Н. Колесенков, А. В. Несова // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-28. – 2015. – С. 138-141. – EDN: YUCDCW

УДК 504+620.97(075.8)

ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫЧИ В КОНТЕКСТЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Плотников Д.А., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0007-3024-509,
Стрела Б.С., ORCID 0009-0009-7545-1731

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры – филиал ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет», г. Макеевка, ДНР, РФ
d.a.plotnikov@donnasa.ru, strela.b.s-izosm-9a@donnasa.ru

Введение. Человеческая цивилизация всегда развивалась в тесной зависимости от горнодобывающей деятельности. Ещё в античные времена залежи меди и железа определяли мощь государств, а в XIX–XX веках угольные бассейны становились центрами индустриализации целых стран. Однако вместе с этим человечество неизменно сталкивалось с одной и той же проблемой – накоплением огромных объёмов отходов, которые, в отличие от добытого ресурса, не становились богатством, а превращались в тяжёлое наследие.

Сегодня масштабы этой проблемы впечатляют. По данным Международного энергетического агентства, ежегодный объём отходов горнодобывающей промышленности в мире превышает 14-15 млрд тонн. Лишь малая их часть вовлекается во вторичное использование: в среднем по миру около 10-15 %. В результате формируются гигантские отвалы, хвостохранилища, золоотвалы, занимающие сотни тысяч гектаров земель [1]. Эти объекты становятся источниками пылевых выбросов, инфильтрации тяжёлых металлов в почвы и воды, создавая значительную нагрузку на окружающую природную среду.

Если на мировом уровне данная проблема решается через концепцию «circular economy» – замкнутого цикла, где отходы одного производства становятся ресурсом для другого, – то в регионах, где горнодобыча носит

исторический и стратегический характер, как, например, в Донбассе, накопленный объём отходов стал фактором, определяющим экологическую и социальную устойчивость. По оценкам специалистов, только в Донецкой и Луганской областях насчитывается более 1000 терриконов и золоотвалов, содержащих свыше 6 млрд тонн отходов. Это не просто цифры – это ландшафт, который изменил саму географию региона.

Цель исследования. Определить возможности и оптимальные направления вторичного использования отходов горнодобывающей отрасли, с учётом мирового опыта и особенностей Донбасского региона, для снижения экологической нагрузки и повышения ресурсной эффективности.

Основная часть. Если рассмотреть мировую практику, то первое, что бросается в глаза – различие в подходах. В Канаде и Австралии, где добыча руд ведётся в условиях развитой инфраструктуры, отходы рассматриваются как «побочный ресурс», до 30 % хвостов перерабатываются: часть используется для обратной закладки выработанных шахт, а часть – как сырьё для цементной промышленности. В Китае же подход иной: масштабы добычи угля и металлов столь велики, что переработка отходов стала неотъемлемой частью национальной программы. Например, в провинции Шаньси более 40 % золы угольных ТЭС используется в производстве строительных материалов, а в отдельных районах доля переработки достигает 70 %. В Европе переработка отходов горнодобычи составляет около 28 % от объёмов, но при этом ежегодно остаётся невостребованными около 600 млн тонн [1]. Даже там, где технологические возможности позволяют, экономическая целесообразность часто становится барьером. Мировой опыт использования отходов горнодобывающей промышленности приведен в таблице.

Таблица

Мировой опыт использования отходов горнодобывающей промышленности

Страна	Доля переработки, %	Основные направления вторичного использования
Китай	40 – 70	Строительные материалы, геополимеры, извлечение редких металлов
Канада	около 30	Производство строительных материалов, обратная закладка шахт
ЕС	до 28	Дорожное строительство, цемент, рекультивация
США	20 – 25	Дорожное покрытие, цементная промышленность, рекультивация
Россия	около 15	Строительные материалы, обратная засыпка выработанных карьеров, энергетика

Переходя к Донбассу, мы видим иное соотношение, доля вовлечения шахтных пород в хозяйственный оборот не превышает 10–2 %. В строительстве дорог используются некоторые отвальные породы. Тем не менее направления использования существуют и представляются

достаточно очевидными. Во-первых, это строительная индустрия. Породы, содержащие кварц, алюмосиликаты, пригодны для производства кирпича, цементного клинкера, керамзита [2]. Во-вторых, энергетика. Угольные отвалы содержат до 15–20 % горючих веществ. Их переработка позволяет получать топливные брикеты или использовать в качестве добавок при сжигании низкокалорийных углей. В Польше, например, такая практика позволяет ежегодно возвращать в топливный баланс до 2 млн тонн эквивалента угля. Третье направление – извлечение ценных элементов. Здесь речь идёт о вторичной металлургии: из золы угольных ТЭС можно получать алюминий, титан, германий, редкоземельные элементы.

Немало важным является и аспект техносферной безопасности. Терриконы – это не только сырьё, но и источник опасности: их самовозгорания выделяют в атмосферу оксиды серы, азота, тяжёлые металлы. Решение в данном случае видится не только в переработке, но и в технологиях стабилизации отходов. Одним из перспективных направлений является геополимеризация, когда из золы и хвостов создаются прочные инертные материалы, устойчивые к выщелачиванию. Это позволяет одновременно утилизировать токсичные компоненты и создавать строительные материалы с заданными свойствами [3].

Таким образом, если смотреть сквозь призму мирового опыта и локальных реалий Донбасса, мы видим неразрывную связь между экономикой и экологией: отходы либо становятся источником новой ценности, либо превращаются в источник угрозы.

Заключение. Внедрение современных технологий для очистки загрязнённых земель приносит ощутимую экономическую выгоду, в частности, за счёт снижения затрат на утилизацию и рекультивацию загрязнённых земель. Использование, например, синтетических сорбентов, эффективно впитывающих нефть и не поглощающих воду, значительно ускоряет сбор нефтепродуктов при разливах и сокращает время простоя автозаправочных станций. Это, в свою очередь, положительно влияет на бесперебойность поставок топлива, в условиях сложившейся тяжелой обстановки, и экономику региона в целом. Дальнейшее развитие технологий биоремедиации и создание универсальных сорбентов, адаптированных к различным климатическим и техногенным условиям, является перспективным направлением.

Список литературы

1. Высоцкий, С. П. Использование отходов самоспасателей на химически связанном кислороде для снижения карбонатной жесткости шахтной воды / С. П. Высоцкий, Д. А. Плотников, В. В. Мамаев – текст: непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – №7 (239). – С. 172–181. – DOI 10.18799/24131830/2021/07/3281.
2. Башева, Т. С. Оценка экологической безопасности при обращении с отходами строительства и демонтажа зданий / Т. С. Башева – текст: непосредственный //

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2019. – №1 (25). – С. 63-72. – DOI: 10.21869/23-11-1518-2019-25-1-63-72.

3. Артеменко, А. С. Элементы разработки экологически безопасной городской системы переработки твердых бытовых отходов на примере города Краснодар / А. С. Артеменко, А. Д. Ситникова // Научно-практические исследования. – 2020. – № 4-4 (27). – С. 21-27. – EDN: ODCLFK.

УДК 536.244

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ОТ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Пометун Е.Д., канд. техн. наук, ORCID 0009-0008-4205-3297

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

e.pometun.fnpme@mail.ru

Введение. Актуальность исследований в области моделирования распространения тепловых выбросов в атмосфере обусловлена значительным влиянием промышленных выбросов на локальные климатические условия и качество воздуха. Несмотря на незначительный вклад антропогенных выбросов в общий тепловой баланс атмосферы, их локальное воздействие может быть существенным. Особый интерес представляет анализ тонкой структуры турбулентности, которая определяет особенности тепломассопереноса в приземном слое атмосферы. Проведение таких исследований в натурных условиях затруднено влиянием многочисленных внешних факторов, что обуславливает необходимость лабораторного моделирования в контролируемых условиях.

Целью работы являлось экспериментальное исследование динамики турбулентной струи в контролируемых лабораторных условиях для верификации существующих теоретических моделей.

Основная часть Экспериментальные исследования проводились на специализированном стенде, разработанном на кафедре физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И. Л. Повха. Установка позволяет моделировать вертикальную затопленную струю с положительной плавучестью. В качестве основного метода измерений использовался прецизионный метод зондирования с применением 8 мкм ниточного датчика термоанемометра постоянной температуры. Измерительный комплекс характеризовался следующими параметрами:

- скорость перемещения измерительного преобразователя: 0,002 м/с,
- частота опроса датчика: 100 Гц,
- дискретность уровней зондирования: 0,05 м,
- контроль начальных условий на срезе трубы: скорость 2,7 м/с.

Измерения проводились на различных уровнях по оси струи, что позволило получить детальную картину развития поля скорости во всех характерных зонах течения.

В результате проведенных экспериментов получены детальные профили скорости в вертикальной изотермической струе. Анализ результатов подтвердил классические закономерности развития струи и выявил следующие особенности:

1. Начальный участок течения характеризуется преобладанием инерционных сил над силами плавучести. На этом участке наблюдается сохранение постоянного количества движения массы воздуха, что соответствует теоретическим представлениям для затопленных струй.

2. Переходная зона демонстрирует сложное взаимодействие трех ключевых факторов: инерционных сил, вязкости и постепенно нарастающего влияния выталкивающей силы. Экспериментально подтверждено изменение баланса действующих сил от сечения к сечению.

3. Зона развитой турбулентности характеризуется установлением автомодельного режима течения, где динамика струи определяется преимущественно силами плавучести.

Количественный анализ показал соответствие экспериментальных данных классическим теоретическим зависимостям.

Заключение. Полученные результаты имеют важное значение для развития методов физического моделирования атмосферных процессов. Экспериментально подтвержденная трехзонная схема развития струи может служить основой для совершенствования математических моделей распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Особую ценность представляет верификация методики обработки сигналов термоанометра, что открывает возможности для исследования тонкой структуры турбулентности.

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением неизо-термических струй, анализом пульсационных характеристик турбулентности и разработкой усовершенствованных моделей тепломассопереноса.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).

Список литературы

1. Теория турбулентности струй / Г. Н. Абрамович [и др.]; под общ. ред. Г. Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
2. Турбулентное смешение газовых струй / Г. Н. Абрамович [и др.]; под ред. Г. Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1974. – 272 с.
3. Пометун, Е. Д. Термоанометрический метод измерения пульсаций скорости турбулентных потоков / Е. Д. Пометун // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 4. – С. 15-19. – EDN NBPFBG.

4. Пометун, Е. Д. Разработка автоматизированной системы научных исследований для аэродинамического эксперимента / Е. Д. Пометун, Р. А. Хрипунов, А. В. Васильева // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 1. – С. 4-8. – EDN BAUJKR.
5. Пометун, Е. Д. Исследование выбросов от точечных источников с помощью термоанемометра / Е. Д. Пометун // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 30-36. – DOI 10.5281/zenodo.15585965. – EDN SVIYBO.

УДК 53.01

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ В ГОРОДАХ

Рожков А.И., Никифоров Д.К., канд. физ.-мат. наук, доц.

Калужский филиал ФГАОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
г. Калуга, РФ
Nauka-Rozhkov@yandex.ru

Истощение ископаемых ресурсов в условиях роста численности городского населения является одним из главных вызовов, стоящих перед человечеством в 21 веке. В начале 80-х годов на Международной энергетической конференции под эгидой ООН специалисты пришли к выводу, что самый большой потенциал экономии энергии имеют здания. В мае 1988 года родилась концепция «Пассивный дом» как здания, имеющего незначительные требования к теплоснабжению и, поэтому, не нуждающегося в активном отоплении. Такой дом должен быть пассивно тёплым и максимально использовать внутренние источники тепла.

Ветрогенераторы делятся на два основных типа: горизонтально-осевые и вертикально-осевые.

В ветряных турбинах с вертикальной осью лопасти обычно прикреплены к верхней и нижней части вертикального ротора. Ось вращения перпендикулярна земле и направлению ветра. Уникальной особенностью этого типа ветряной турбины является ее способность работать в условиях слабого ветра, и лучшая способность справляться с турбулентностью. Поэтому они лучше подходят для использования в городских условиях и городах, где поток ветра менее предсказуем. Вертикально-осевые турбины являются предпочтительным выбором для установки на зданиях и крышах, а также для наземных установок, когда установка более высоких конструкций горизонтальных турбин затруднена.

Ветряные турбины с горизонтальной осью являются традиционной конструкцией ветрогенераторов и являются наиболее используемыми.

Лопасты горизонтально-осевого ветрогенератора могут быть расположены либо с подветренной стороны, либо с наветренной. Наветренные ветряки развивают большую мощность и работают более плавно по сравнению с подветренными. Однако главным недостатком наветренной ВЭУ является сложность, связанная с ее системой управления рысканием в удержании лопастей турбины к ветру. Подветренным же турбинам не нужна никакая механическая система ориентации для лопастей. Их основным недостатком является «тень башни». Когда лопасть проходит позади башни, она попадает в зону турбулентности, что вызывает циклические изменения аэродинамической нагрузки [2].

Горизонтально-осевые ветрогенераторы хуже подходят для использования в городских районах или для применения на крышах жилых зданий из-за частого и резкого изменения направлений ветра в таких районах, что затрудняет быстро выравниваться ветряк по ветру.

Выше приземного слоя (100 м) до высоты 500-1000 м выделяют переходный слой атмосферы. Профиль скорости ветра здесь подчиняется степенному закону, предложенному ещё в 1916 году немецким метеорологом Георгом Хеллманном:

$$v = v_1 \left(\frac{h}{h_1} \right)^\alpha,$$

где v_1 – известная скорость ветра на высоте h_1 ; α – экспонента Хеллманна, величина которая определяется типом местности. Для целей точных расчётов показатель степени α определяется экспериментально, для оценочных расчётов его значение можно выбрать по данным следующей таблицы.

Таблица

Экспонента Хеллманна α для разных видов ландшафта [1]

Характеристика ландшафта	α
Открытый ландшафт с поверхностью типа взлётно-посадочных полос в аэропортах, скошенной травой и т. п.	0,12
Открытые сельскохозяйственные земли с одиночными зданиями	0,24
Сельскохозяйственные земли с отдельными зданиями и оградами	0,27–0,30
Сельскохозяйственные земли с группами зданий	0,33
Деревни, малые города, пригороды, сельскохозяйственные земли с отдельными зданиями и высокими оградами, лесом и резко пересечённой местностью	0,37
Большие города с высокими зданиями, центры крупных городов	0,40
Очень большие города с высокими зданиями и небоскрёбами	0,44

Исходя из данных таблицы, скорость ветра с высотой будет сильнее всего увеличиваться в городах. Это означает, что над самыми высокими небоскрёбами города ветра будут дуть ощутительно сильнее, чего может хватить для эффективной работы ветровых турбин, установленных на крышах.

Встречая на своём пути препятствие, ветер с наветренной стороны притормаживается, давление воздуха возрастает. В зависимости от

размеров препятствия ветер начнёт либо обтекать препятствие с боков, либо обтекать его в нижних слоях и переваливаться через него в верхних, либо при большой поперечной протяжённости препятствия переваливается через него сверху. Переваливаясь через препятствие, давление воздуха понижается, на вершине оно минимально и ветер здесь в соответствии с законом Бернулли ускоряется. Непосредственно за препятствием образуется ветровая тень, где скорость ветра уменьшается. Следовательно, на крыше довольно протяжённого здания скорость ветра также возрастёт.

На крышах многих зданий по всему миру устанавливают ветрогенераторы. Но в 2008 году в Бахрейне было завершено строительство Всемирного торгового центра (БВТЦ) – первого в мире здания, дизайн которого в большой степени определялся требованиями ветроэнергетики. БВТЦ представляет собой 240-метровый комплекс в 50 этажей, состоящий из двух башен, связанных друг с другом тремя надземными мостами. На каждом мосту был установлен ветрогенератор мощностью 225 кВт с трёхлопастным ветряным колесом диаметром 29,1 м. Все ветрогенераторы жёстко ориентированы на север, в сторону преобладающего ветра со стороны Персидского залива. Башни в виде парусов спроектированы таким образом, чтобы ускорять движение ветра, проходящего между ними. Ветрогенераторы на БВТЦ должны обеспечивать 11–15 % энергопотребления башен, или примерно 1,1–1,3 ГВт*ч в год.

Одно из самых высоких жилых зданий Лондона Strata SE1 было построено в 2010 году по проекту Hamiltions architects. Три ветрогенератора мощностью по 19 кВт с пятилопастным ветроколесом диаметром 9 м на крыше башни должны обеспечить 8 % потребностей в электроэнергии, вырабатывая 50 МВт*ч в год.

На крыше Медицинского исследовательского фонда (OMRF) в Оклахома-Сити, США, были интегрированы 18 ветрогенераторов типа Савониуса, с вертикальной осью вращения. Габаритная высота ветрогенераторов 5,6 м, диаметр 1,7 м, номинальная мощность каждого 4,5 кВт. Выработка электроэнергии начинается со скорости ветра 3,9 м/с, что значительно ниже среднегодовой скорости ветра в регионе.

Существуют различные возможности интеграции ветряных турбин в здания для удовлетворения энергетических потребностей, если имеются достаточные ветровые ресурсы. В заключение, интеграция маломасштабных ветряных турбин в устойчивые и энергоэффективные здания представляет перспективное решение для достижения более устойчивого будущего. Эта технология может сократить зависимость от невозобновляемых источников энергии и уменьшить выбросы парниковых газов. Однако интеграция маломасштабных ветряных турбин в сооружения требует внимательного изучения таких факторов, как ветровые ресурсы, ориентация здания и местные правила зонирования. Требуются дальнейшие исследования и разработки для преодоления проблем, связанных с

маломасштабными ветряными турбинами, и содействия их более широкому внедрению.

Список литературы

1. Ветроэнергетические установки: монография / В. К. Власов. – Инфра-Инженерия, 2022. – 316 с.
2. Natural Energy, Lighting, and Ventilation in Sustainable Buildings Chapter 6 Integration of Small-Scale Wind Turbines in Sustainable and Energy Efficient Buildings.
3. Proceedings of 15th International Conference on Renewable and Clean Energy (ICRCE 2025) Urban High-Rise Wind Power: Feasibility Research of Building-Integrated Wind Turbine Using Axial-Flux Permanent-Magnet Generator.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Садовая И.В., канд. хим. наук, ORCID 0000-0001-6976-3290,

Кара А.В., ORCID 0009-0003-1576-8370,

Алехов Ю.А., ORCID 0009-0007-5859-4939,

Аленин В.Г., ORCID 0009-0003-6256-1268,

Волошанович И.Н., ORCID 0009-0009-6165-9398

ФГБНУ «НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ

sadovaya@bk.ru

Введение. На сегодняшний день, металлокерамические фильтры находят широкое применение в различных технологических процессах для очистки воды от твердых частиц. Для оценки эффективности и работоспособности фильтроэлементы подвергают испытаниям на различные показатели, такие как: пористость, механическая и жаропрочность, стойкость в агрессивных средах, гидродинамические и газодинамические характеристики.

Основная часть. Для проведения исследований гидродинамических характеристик фильтроэлементов синтезированы высокопористые (58 – 63 %) образцы цилиндрической формы (высота – 60 мм, большой диаметр – 53 мм и толщина стенки 4, 8 и 12 мм) химического состава 32 масс.% Al и 68 масс.% Ni методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в поле центробежных сил, вектор которых расположен перпендикулярно направлению движения волны процесса СВС.

Гидродинамические характеристики фильтроэлементов определяли на разработанной нами установке, схема которой представлена на рис. 1.

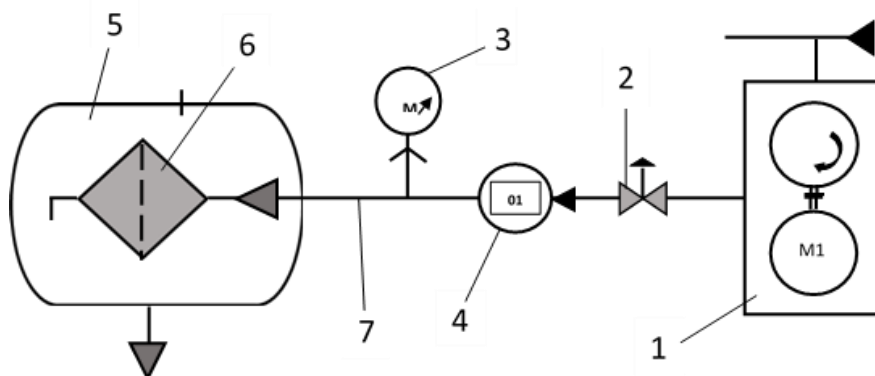


Рис. 1. Схема установки по определению гидродинамических характеристик металлокерамических фильтроэлементов: 1 – насос QB-60; 2 – вентиль; 3 – манометр МТ-1.6; 4 – расходомер жидкости КВ-1.5; 5 – металлический корпус; 6 – фильтроэлемент; 7 – трубопровод напорный

Установка содержит насосный агрегат 1, подающий воду через вентиль 2 в гидросистему для испытания фильтроэлементов, включающую манометр 3, расходомер жидкости 4, металлический корпус 5, в который устанавливается испытуемый фильтроэлемент 6. Соединения выполнены гибкими напорными трубопроводами 7.

Скорость прохождения потока воды через фильтроэлемент определяли согласно [1] следующим образом: с помощью водяного насоса 1 через вентиль 2 под различным давлением подавалась вода на испытуемый фильтроэлемент 6. Давление до фильтра измеряли с помощью манометра 3, давление после фильтра соответствовало атмосферному (101,3 кПа). Избыточное давление (выше 101,3 кПа) воды на входе у фильтра составляло 19,61; 39,23; 58,84; 78,45 и 98,07 кПа. Для каждого из 5 значений перепада давления замеряли расход воды с помощью расходомера жидкости 4 и фиксировали время с помощью секундомера, таким образом, определяя объемную скорость потока воды проходящую через фильтроэлемент. Полученные значения пересчитывали на скорость прохождения потока воды через фильтроэлемент для каждого из 5 значений перепада давления. По экспериментальным данным строили графики зависимости (рис. 2, 3) скорости прохождения потока воды через фильтроэлемент от перепада давления.

Известно [2], что на гидродинамические характеристики фильтроэлементов, оказывают влияние их пористость и толщина стенки, поэтому было интересно исследовать, как данные параметры будут влиять на скорость прохождения потока воды через фильтроэлемент.

Для оценки влияния пористости и толщины стенки на скорость прохождения потока воды через фильтроэлемент, использовали образцы с пористостью 58, 60 и 63 % и толщиной стенки 4, 8 и 12 мм. Как видно из рис. 2 и 3, уменьшение пористости и увеличение толщины стенки фильтра приводит к уменьшению скорости прохождения потока воды через фильтроэлемент.

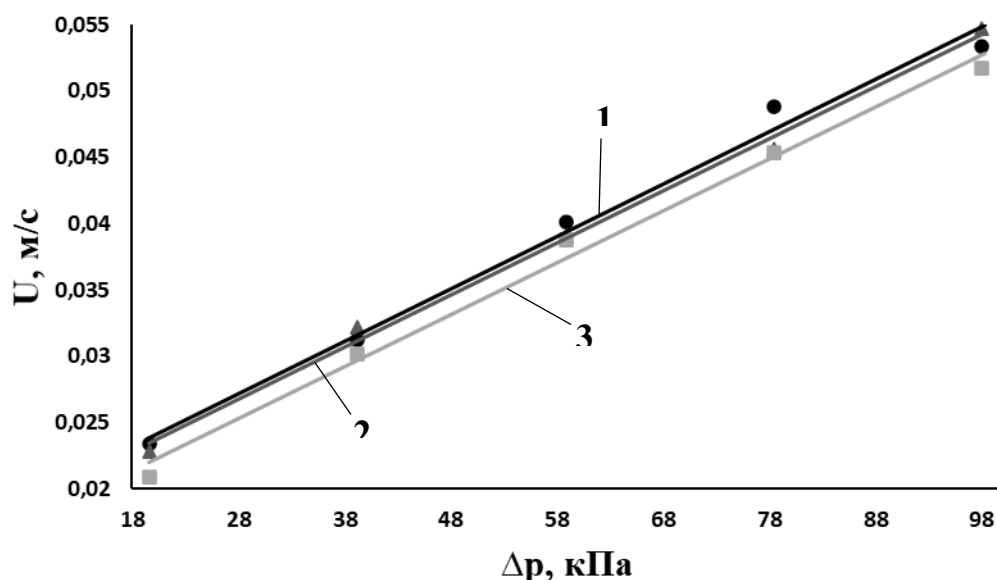


Рис. 2. Зависимость скорости прохождения потока воды через фильтроэлемент с толщиной стенки 12 мм от перепада давления: 1 – пористость 63 %; 2 – пористость 60 %; 3 – пористость 58 %

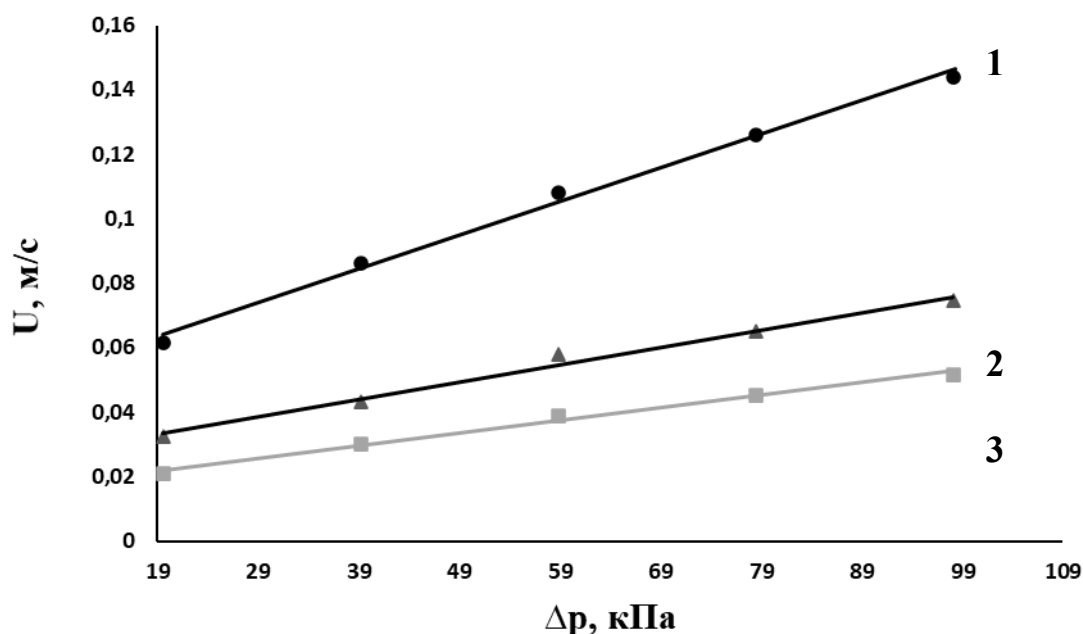


Рис. 3. Зависимость скорости прохождения потока воды через фильтроэлемент с пористостью 58% от перепада давления: 1 – толщина стенки 4 мм; 2 – толщина стенки 8 мм; 3 – толщина стенки 12 мм

Закключение. В ходе проделанной работы методом СВС в поле центробежных сил синтезированы цилиндрические металлокерамические фильтроэлементы химического состава 32 масс. % Al и 68 масс. % Ni, с пористостью (58; 60 и 63 %) и толщиной стенки (4, 8 и 12 мм). На разработанной установке проведены исследования гидродинамических характеристик синтезированных фильтроэлементов. Установлено, что с уменьшением пористости и увеличением толщины стенки фильтроэлемента, скорость прохождения потока воды возрастает.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50554-93. Промышленная чистота. Фильтры и фильтрующие элементы. Методы испытаний: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20.04.93 N 110: дата введения 1994-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025912> (дата обращения: 21.04.2025). – Текст: электронный.
2. Оценка эффективности использования металлокерамических фильтров для очистки технических жидкостей от взвесей / В. В. Евстигнеев, С. В. Кожурин, В. Н. Красов и др. // Ползуновский вестник. – 2005. – N 1. – С. 322-325. – EDN: PCFPQL.

УДК 614.8.084

УПРАВЛЕНИЕ СТИХИЙНЫМИ УГРОЗАМИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ИНЖЕНЕРНЫМ СПОСОБОМ

Саулова Т.А., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-2382-8401,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ
totalsay@yandex.ru

Введение. Поиск способов снегоочистки кровель зданий города – эффективных и безопасных и своевременных – актуальность не теряет до сих пор [1]. В статье описаны направления унификации авторской разработки, предназначенной для идентификации и предупреждения стихийных угроз, связанных с внезапным «сходом» массы снега с кровель зданий и накоплением его на крышах.

Цель проектирования и конструирования устройства и унификации технологии состоит в исключении социально-экономических рисков, связанных чрезвычайными ситуациями в результате падения масс снега и процедурой очистки кровель.

Основная часть. Климатические условия зимы основной части территорий России часто характеризуются выпадением угрожающего количества снега. Процесс уборки снега с крыш, не всегда своевременно реализуемый вследствие сложности процессов мониторинга снегонакоплений, всегда связан с рисками получения травм и ущербов. К сожалению, применяемые технологии очистки – механическим способом – не привели к решению проблемы. Сегодня всё ещё сохраняется актуальность поиска наилучшего способа очистки снега.

Предложен способ предупреждения снегонакоплений на крышах с использованием программируемых устройств и сжатого воздуха. Учёные и инженеры Сибирского государственного университета науки и технологий им. М. Ф. Решетнёва в 2023 г под руководством Сауловой Т. А. изготовили опытный образец в натуральную величину и реализовали проект

«Разработка и проектирование технологии дистанционного управления очисткой кровель зданий от снега». Проект поддержан ООО «Российские железные дороги» и Красноярским краевым фондом поддержки научной и научно-технической деятельности [2, 3]. Работоспособность технологии подтверждена на практике протоколами и актом приёмочных испытаний, которые прошли в течение двух месяцев в зимний период 2023 года на реальной кровле здания вокзала заказчика в Красноярском крае (посёлке Кача) [4].

Образец устройства включает:

- аэродинамическую систему (воздуховоды: отводящие от воздухо-дувки; рёберная и коньковая трасса, отводные от трассы патрубки с соплами, воздуходувка вихревого типа – под кровлей здания в чердачном пространстве;

- систему управления снегоочисткой (шкаф управления и датчик осадков), предусмотрено функционирование устройства в трёх режимах: автоматический (циклическое срабатывание на сигнал датчика снега с отключением и включением); дистанционный (управление тремя автономными операторами на дистанции); ручной (ручное включение/отключение).

На основе полученных натурных данных об эффективности устройства предложены направления унификации его конструкции для скатных кровель различного типа и конфигурации (вальмового, шатрового, мансардного типов). Суть унификации заключается в разбивке коньковой трассы на участки и последовательном переключении в автоматическом режиме системы обдува – с одного на другой участок через коллектор с программируемыми задвижками [5]. Каждый из участков можно разместить вдоль коньковой или любой другой части ребра кровли на стыке двух скатов вне зависимости от конфигурации кровли. Так можно «обслужить» эндовы (разжелобки) и «карманы» кровель, в которых накапливается и отвердевает масса снега, усложняющая очистку. Кроме того, такая технология существенно снижает энергозатраты на работу воздуходувки, мощность которой должна обеспечить обдув только части кровли из одного участка аэродинамической трассы, следовательно, даёт возможность экономии финансовых и энергетических затрат. При соответствующей финансовой поддержке оптимизированное устройство может быть изготовлено и испытано в реальных условиях на базе университета.

Заключение. Разработанная технология исключает следующие угрозы:

- риски травм при работе на высоте, исключая ручную работу по очистке кровель;

- риски внезапного схода снега и сосулек и травм, связанных с ними;

- риски чрезвычайных ситуаций, связанных с обрушением кровель с тяжёлыми последствиями;

– риски напряжённости труда руководителей в условиях неопределённости принятия решений о снегоочистке и риски ответственности;

– экономические риски, связанные с затратами на обучение, оснащение работников инвентарём и средствами индивидуальной защиты, штрафами, компенсацией ущерба при травмах.

Автоматическое предупреждение накоплений снега с помощью сжатого воздуха, очевидно, имеет преимущества перед необходимостью очистки уже накопившихся снежных масс – без использования нагреваемых, вибрирующих,двигающихся элементов. Сжатый воздух не оказывает механического действия на кровельное покрытие, температурное воздействие на окружающую среду отсутствует, предотвращая таяние и образование наледи. Универсальный защитный козырёк обеспечивает защиту трассы и сопел от барических ветровых нагрузок и засорения. Единая система крепления для трассы и козырька к кровле при монтаже обеспечивает её целостность. Козырёк не искажает эстетику и общий вид здания, поскольку материал, из которого он изготовлен, идентичен материалу кровельного покрытия [6]. Использование разработанного способа соответствует современным требованиям урбанистики: безопасность, учёт климатических условий, унификация, сочетание функциональности и эстетичности.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. Об утверждении приоритетных направлений научно-технического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий: Указ Президента РФ от 18.06.2024 № 529 / Российская Федерация. Законы. – Текст: электронный – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755> (дата обращения 23.09.2025).
2. Красноярский край. Государственный доклад О деятельности Государственной инспекции труда в Красноярском крае в 2024 году / Красноярский край. Государственный доклад – Текст электронный. – URL: git24.rostrud.gov.ru (дата обращения 23.09.2025).
3. Tatyna Saulova, Vitaly Bas and Yury Simkin Tatyna Saulova New engineering methods in snow removal by air jets of pitched roofs. № 03004 Опубликовано онлайн: 04 января 2024 г. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447103004> (дата обращения 23.09.2025).
4. Tatyna Saulova, Vitaly Bas, Yury Simkin and Artem Nadegkin Technology for preventing snow accumulation on roofs of buildings operated by a transportation company – solving snow removal problems. № 03004 Опубликовано онлайн: 04 января 2024 г. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447104005> (дата обращения 23.09.2025).
5. Патент на изобретение № RU №2807332C1 Российская Федерация, МПК E04D13/76(2006-01-01). Способ автоматического предупреждения накопления снега на кровлях зданий и устройство для осуществления способа: № 2023115849: заявл. 16.06.2023: опубл. 14.11.2023 / Т. А. Саулова, В.И. Бас. – Текст электронный. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2807332C1> (дата обращения 23.09.2025).
6. Патент на изобретение № RU №28528970C1 Российская Федерация, МПК E04D13/76.(2024.08). Способ автоматического предупреждения накопления снега на кровлях зданий и устройство для осуществления способа: № 2024110813: заявл.

19.04.2024: опубл. 21.10.2024 Бюл. № 30 / Т. А. Саулова, В. И. Бас, Ю. Я. Симкин. – Текст электронный. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2828970C1> (дата обращения 23.09.2025).

7. Патент на изобретение № RU 2833042C1 Российская Федерация, МПК E04D 13/076 (2024.08) Универсальное устройство для установки аэродинамической трубы на кровлях зданий № 2024114614: заявл. 29.05.2024: опубл. 14.01.2025 Бюл. 2 / Т. А. Саулова, В. И. Бас. – Текст электронный. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2833042C1> (дата обращения 23.09.2025).

УДК 622.236.5

БЕЗВЗРЫВНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Соколов К.И.¹, ORCID 0009-0000-0405-6632,

Подрухин А.А.¹, ORCID 0009-0006-8598-4169, Борщ Т.В.¹,

Макмак И.М.², ORCID 0000-0002-3977-6637

¹ФГБНУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, РФ

²ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
ifgpdnr@mail.ru

Введение. Одним из направлений повышения эффективности работ в горной промышленности является максимальное снижение материальных и трудовых затрат при добыче полезных ископаемых. Разработка и внедрение эффективных способов ремонта и восстановления горных выработок приобретает особую актуальность в связи с усложнением условий их содержания на глубоких горизонтах.

Основная часть. Известно, что при увеличении глубины разработки угольных пластов происходит увеличение конвергенции вмещающих горных пород и значения их коэффициента крепости по шкале М.М. Протодяконова – от $f=5$ до $f=20$ для песчаников, от $f=5$ до $f=7$ для песчаных сланцев и от $f=4$ до $f=6$ для глинистых сланцев [1]. Анализ структуры горного массива позволяет отметить часто встречающиеся во вмещающих породах сверхкрепкие включения, что в свою очередь негативно сказывается на технологических процессах проведения горных выработок.

Для устранения последствий обвалов, выбросов и обрушений в горных выработках для разрушения крупных породных глыб используются отбойные молотки либо проводятся взрывные работы. Для выработок, опасных по газу и пыли, был разработан более безопасный и эффективный безвзрывной способ разрушения горных пород.

Известно, что относительные величины сопротивляемости горных пород растяжению на порядок ниже, чем сдвигу и изгибу [2]. Следовательно, уменьшение усилия и энергоемкости разрушения горных

пород могут быть достигнуты в процессе отрыва отдельных кусков от массива. При этом энергоемкость разрушения будет прямо пропорциональна пределу прочности породы на растяжение как наименьшему значению сопротивления породы разрушению по сравнению с другими видами деформаций. Данное обстоятельство позволяет выбрать наиболее оптимальные устройства для разрушения горных пород безвзрывным способом. При этом безвзрывное импульсное разрушение горных пород будет обладать следующими преимуществами:

- возможность разрушения горных пород любой крепости;
- отсутствие ограничений на применение способа в условиях сложного пылегазового режима;
- отсутствие взрывной волны и дополнительных трещин в массиве, возникающих в результате детонаций;
- мобильность и простота обслуживания устройств для разрушения;
- снижение трудоемкости работ, расхода энергии, материалов и инструмента;
- снижение квалификационных требований к обслуживающему персоналу.

Реализация способа безвзрывного импульсного разрушения горных пород осуществляется с помощью устройства (рис.), которое состоит из гидравлического насоса 1 давлением 80 МПа, высоконапорных рукавов 2, силового блока 3, камеры с седлом 4 и штока-ударника 5 с расклинивающим клином, полусферические вкладыши которого шарнирно закреплены на гранбуксе корпуса устройства.

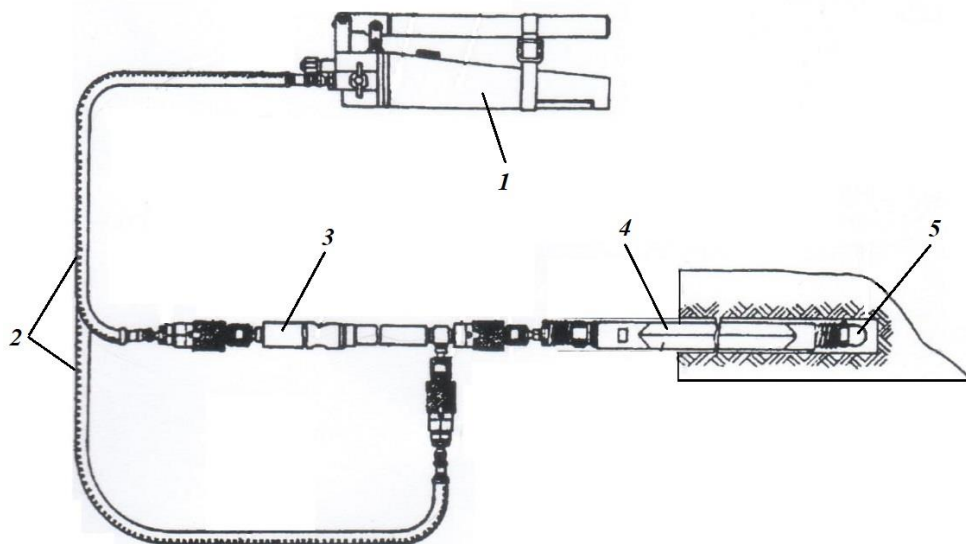


Рис. Устройство для безвзрывного импульсного разрушения горных пород

Устройство работает следующим образом. В предварительно пробуренный шпур устанавливаются шарнирные полусферовые вкладыши с клином на глубину 200÷250 мм. Затем создается высокое гидравлическое

давление в камере устройства, которое трансформируется на площадь штока-ударника после сброса давления с подштоковой полости. Накопленная энергия приводит в движение шток-ударник, с клина которого идет передача энергии на сферические вкладыши, за счет которых происходит разрушение горной породы. Таким образом, чем больше будет затрачено энергии, тем больший объем породы будет отбит от массива.

Энергия сжатой жидкости в камере устройства можно определяется выражением [2]:

$$W_{ж} = \frac{P_p^2 \cdot Q_{ж}}{2E_{ж}} \quad (1)$$

где $W_{ж}$ – энергия, накапливаемая при сжатии, Дж; P_p – давление жидкости, МПа; $Q_{ж}$ – объем камеры устройства, см³; $E_{ж}$ – объемный модуль упругости жидкости (индустриального масла), МПа ($E_{ж} = 1800$ МПа).

Закключение. Разработанный способ безвзрывного импульсного разрушения горных пород позволяет эффективно и безопасно производить измельчение глыб сверхпрочных пород в сложных горно-геологических условиях.

Список литературы

1. Пилипец В. И. Разрушение горных пород взрывом / В. И. Пилипец. – ДонГТУ, Донецк: АОЗТ «Донецчина», 2001. – 310 с.
2. Протасов Ю. И. Механическое разрушение, дробление и измельчение горных пород / Ю. И. Протасов. – М.: МГИ, 1977. – 83 с.

УДК 621.926.9

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕЙ И ГОРНЫХ ПОРОД НА ТВЕРДОФАЗНОЙ УСТАНОВКЕ

Стариков Г.П., д-р техн. наук, проф., ORCID 0009-0007-7568-1989,
Соколов К.И., ORCID 0009-0000-0405-6632,
Подрухин А.А., ORCID 0009-0006-8598-4169,
Гангало А.Н., канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-5683-1346, **Борщ Т.В.**
ФГБНУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, РФ
ifgpdnr@mail.ru

Введение. Предлагаемая твердофазная установка может быть использована для оценки вязкости горных пород и углей на образцах произвольной формы с размером фракции 0,5-5 мм.

Цель работы – исследование влияния сдвиговых деформаций при заданном давлении на формоизменение минерального состава образцов и их физические характеристики.

Основная часть. Известная аппаратура для исследования физических свойств горных пород и минералов в различных интервалах высоких давлений – аппарат Адамса типа «камера-матрица» состоит из обоймы, двух пуансонов и свинцовой оболочки, в которую помещают образец горной породы и герметизируют. Собранный аппарат помещают между плитами прессы. Смещение пуансонов измеряется индикаторами. К существенным недостаткам относится невозможность количественно полностью описать напряженно-деформированное состояние образца при исследованиях с помощью аппарата типа «камера-матрица». Поэтому пользуются усредненными величинами бокового давления (P) и величиной осевого напряжения (τ). Используемая «камера-матрица» не позволяет получать точных значений осевых деформаций и имеет ряд технологических трудностей в работе данного аппарата и сложность обработки данных проведенных измерений.

В процессе проектирования установки для определения физических свойств углей и горных пород была поставлена задача по усовершенствованию процесса определения физических свойств углей и горных пород путем технологических изменений, а именно – исследуемый материал произвольной формы с размером фракции 0,5-5 мм помещается в камеру нижней наковальни, имеющую форму полушара, которая замыкается верхней наковальней. Верхняя наковальня выполнена в виде цилиндрического стержня с тем же радиусом, что и у нижней наковальни. Это выбранное решение позволяет полностью герметизировать рабочую зону камеры. Второе достоинство данной установки заключается в способности вращения нижней наковальни вокруг оси при заданном давлении до 500 МПа и одновременной фиксации угла поворота, давления и перемещения на персональном компьютере, чем обеспечивается достоверность проведенных исследований и сокращается время обработки полученных результатов.

Твердофазная установка с регистрирующей аппаратурой позволяет определять влияние сдвиговых деформаций на прочностные характеристики исследуемых материалов. Вязкость углей и горных пород (η , Па·с) рассчитывается по формуле [1]:

$$\eta = \frac{3N^2R^4}{2X^2Pth^6} \quad (1)$$

где N – мощность (угловая скорость на крутящий момент), Дж·с; R – радиус контейнера (шпинделя), м; X – радиус для которого рассчитывается степень сдвига, м/с²; P – нагрузка, Н; t – время нагрузки, с; h – толщина пленки (образца), м.

Полученные данные по вязкости углей и горных пород позволяют прогнозировать горные удары, выбросы и обрушения при подземной разработке полезных ископаемых.

Принципиальная схема установки для определения физических свойств углей и горных пород представлена на рис.

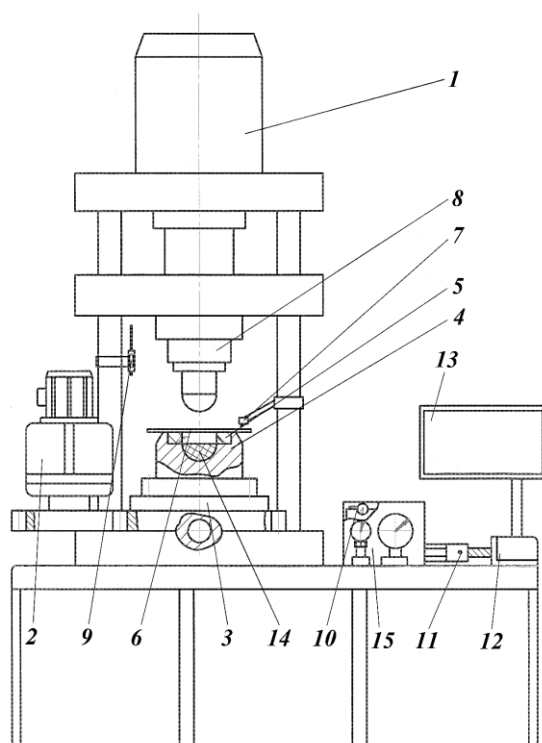


Рис. Принципиальная схема установки для определения физических свойств углей и горных пород

Установка состоит из гидравлического пресса *1* с усилием 1,5 МН. Механизм поворота *2* через зубчатую передачу обеспечивает вращение опорного нижнего блока с шаровой опорой *3*, на котором жестко закреплена нижняя наковальня *4* с уплотнением *5*. На торцевую поверхность нижней наковальни *4* наклеена градуированная пленка *6*, на которой с помощью инфракрасного датчика угла поворота (Н206) *7* фиксируются данные в процессе рабочего цикла. Верхняя наковальня закреплена в подвижной траверсе гидравлического пресса *1*. Для регистрации перемещений верхней наковальни *8* в процессе работы устройства на одной из колонн пресса смонтирован датчик перемещения (DP15) *9*. В пульте управления установлен датчик тока (ZHT103) *10*. Давление в гидросистеме пресса регистрируется манометрами пульта управления и датчиком давления (Wikas-10) *11*. Микропроцессором *12* в преобразованном и удобном для чтения виде через интерфейс UART (RS232) данные с датчиков передаются на персональный компьютер *13* для записи и дальнейшей обработки. Исследуемый образец *14* размещается в лунке полушарового тензора нижней наковальни *4*. Управление установкой производится с пульта *15* оператором в заданном режиме через группу электропускателей. Регистрация результатов выполняется каждую секунду автоматически через контроллер на базе микропроцессора AT Mega 2650 с

помощью подключенных к нему датчиков и последующей записью на персональный компьютер 13.

Установка работает следующим образом. После монтажа и наладки всех узлов, деталей и регистрирующей аппаратуры устройство приводится в рабочее состояние. В нижнюю наковальню загружается исследуемый образец 14 и герметизируется уплотнительным кольцом 5. Затем оператор выбирается режим работы устройства с заданным удельным давлением на исследуемый образец 14 и циклами вращения вокруг оси исследуемого образца 14 при давлении до 500 МПа. Полученные результаты измерений используются для дальнейшей обработки математическими и профильными программами согласно разработанной методике.

Заключение. В соответствии с изложенным, можно сделать следующие выводы: предлагаемая авторами установка позволяет упростить процесс определения физических свойств углей и горных пород и обеспечивает достоверность получаемых результатов.

Список литературы

1. Алексеев А. Д. Физика угля и горных процессов / А. Д. Алексеев. – Киев: Наукова думка, 2010. – 424 с.

УДК 629.3.014

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ТЕХНОЛОГИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ

Сытник Е.С., канд. техн. наук, ORCID 0009-0006-0652-1650,

Пащенко Д.Ю.

Автомобильно-дорожный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
технический университет», г. Горловка, ДНР, РФ
e.s.sytnik@yandex.ru, andr_e@mail.ru

Введение. Функционирование автомобильного транспорта (АТ) Российской Федерации в значительной степени зависит от стабильности топливно-энергетического баланса. В настоящее время нефтегазовая отрасль страны сталкивается с системными требованиями, обусловленными исчерпанием легкодоступных запасов углеводородов и необходимостью перехода к трудноизвлекаемым (ТРИЗ) ресурсам. Данная тенденция не только определяет стратегию развития нефтедобывающего комплекса, но и оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные показатели автотранспортных средств (АТС), их надежность, топливную экономичность, а также развитие системы технического

обслуживания (ТО) и ремонта. Актуальность проблематики обусловлена глобальной тенденцией на декарбонизацию экономики и ужесточение экологических стандартов. Учитывая, что АТ является основным потребителем нефтепродуктов и одним из ключевых источников негативного антропогенного воздействия [1], совершенствование системы его технической эксплуатации становится важнейшим инструментом не только обеспечения экономической эффективности, но и минимизации отрицательного влияния на окружающую среду.

Цель исследования – оценка последствий перехода на трудноизвлекаемые запасы сырой нефти для эксплуатационных, топливно-экономических и экологических показателей автомобильного транспорта и, на этой основе, разработка конкретных направлений адаптации системы его технической эксплуатации.

Основная часть. Современное состояние ресурсной базы характеризуется истощением традиционных месторождений. Согласно данным [2], разведанных объемов нефти в России (31 млрд тонн) при текущем уровне добычи хватит лишь на 26 лет, причем рентабельны к освоению лишь 13 млрд тонн, значительная часть которых относится к ТрИЗ запасам – арктическим и шельфовым месторождениям, остаточным запасам и высоковязким нефтям (например, Баженовская свита). Технологические сложности освоения ТрИЗ, требующие значительных капиталовложений, включают совершенствование методов бурения (в том числе горизонтального на больших глубинах), разработку технологий увеличения нефтеотдачи, создание логистической инфраструктуры в труднодоступных регионах и проведение научно-исследовательских работ.

Проблема освоения ТрИЗ тесно связана с дискуссионными вопросами происхождения нефти [3, 4]. Органическая (биогенная) теория (М. В. Ломоносов, И. М. Губкин и другие исследователи) объясняет образование нефти преобразованием из остатков живых организмов в течение миллионов лет, тогда как неорганическая или абиогенная (Д. И. Менделеев и последователи) – глубинными процессами в мантии Земли. Современные исследования (академик Н. В. Черский и его ученики [4]) указывают на возможность быстрого (в историческом масштабе) синтеза углеводородов из рассеянного органического вещества под воздействием сейсмотектонической активности, что объясняет феномен восполнения запасов на разрабатываемых месторождениях. Несмотря на дискуссионность, эти теории подтверждают важность фундаментальных исследований для энергетической безопасности.

Вместе с тем, уже сегодня трансформация минерально-сырьевой базы оказывает многоплановое воздействие на АТ:

1. Влияние на эксплуатационную надежность и топливную экономичность. Переработка ТрИЗ и тяжелых нефтей приводит к изменению фракционного и химического состава моторных топлив, что может

вызывать повышенный износ топливной аппаратуры двигателей внутреннего сгорания (ДВС), образование нагара в их камерах сгорания, ускоренное старение моторных масел и т.д. Эти и другие последствия требуют адаптации технической эксплуатации АТС, включающей возможное сокращение периодичности ТО, модернизацию диагностического оборудования, усиление контроля состояния систем питания и зажигания. Указанные меры критичны для сохранения ресурса ДВС и соблюдения экологических стандартов в условиях использования топлив из ТрИЗ.

2. Оптимизация структуры автомобильного парка и системы ТО, и ремонта АТС. Рост себестоимости моторного топлива делает экономически нецелесообразной эксплуатацию неэффективного подвижного состава. В связи с этим актуализируются задачи по совершенствованию организации ТО и ремонта для поддержания оптимальных топливно-экономических показателей, внедрению систем мониторинга расхода топлива в режиме реального времени и разработке новых критериев списания АТС с повышенным удельным расходом.

3. Развитие обширной инфраструктуры для альтернативных видов топлив. Ограниченность традиционных нефтяных ресурсов, стимулируя развитие газомоторного топлива и электромобилей, обуславливает необходимость глубокой модернизации системы автосервиса. К числу приоритетных направлений такой модернизации относятся техническое перевооружение автосервисных предприятий (АСП), разработка специализированных регламентов ТО и диагностики, а также формирование кадрового потенциала, компетентного в области ГБО и высоковольтного электрооборудования.

Трансформация сырьевой базы оказывает непосредственное влияние на экологическую безопасность АТ. Ухудшение химического состава топлив может приводить к росту выбросов загрязняющих веществ, таких как оксиды азота (NO_x), твердые частицы, несгоревшие углеводороды (C_mH_n) и других токсикантов [1], что создает дополнительные риски в контексте выполнения экологических стандартов.

В связи с этим, система ТО и ремонта должна быть ориентирована как на поддержание надежности, так и на постоянный контроль и обеспечение экологической безопасности подвижного состава. Для реализации этого подхода целесообразны оснащение АСП современной аппаратурой (газоанализаторами, системами диагностики выбросов), разработка и внедрение регламентов ТО, направленных на снижение токсичности отработавших газов АТС, а также интеграция экологических параметров в систему мониторинга технического состояния АТС в реальном времени.

Заключение. Результаты исследования свидетельствуют о необходимости комплексной адаптации автотранспортного комплекса России, включающей как оперативные меры (диагностику выбросов, корректировку регламентов ТО и оптимизацию автомобильного парка), так и

стратегические инициативы – техническое перевооружение АСП, развитие систем экологического мониторинга и активизацию исследований в области химмотологии для прогнозирования воздействия новых топлив на ресурс двигателей и разработки перспективных стандартов.

Список литературы

1. Сытник, Е. С. Автомобильный транспорт как основной потребитель топлив нефтяного происхождения и источник вредных выбросов в окружающую среду / Е. С. Сытник, А. И. Черный // Актуальные проблемы науки и техники. 2023: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 15–17 марта 2023 года / Ответственный редактор Н. А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2023. – С. 600-602. – EDN: ISEXCL.
2. Степанов, Г. Нефть близка к кончине / Г. Степанов. – Май/23. – 2025. – Текст: электронный // Pressa.ru: [сайт]. – URL: <https://pressa.ru/ru/top10/detail/neft-blizka-k-konchine-26540#/> (дата обращения: 19.06.2025).
3. Карпинец, А. П. Физико-химические закономерности и физические методы исследования технологии производства высокооктановых бензинов из промышленных отходов синтеза ПАВ / А. П. Карпинец, М. В. Барбашова // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2021. – № 1(36). – С. 67-81. – EDN NUECDO.
4. Агафонов А. И. О возобновляемости запасов нефти и газов на основе новых научных концепций нефтегазообразования / А. И. Агафонов, Р. А. Агафонов, А. Г. Пивкин и др. // Бурение и нефть. – 2010. – № 10. – С. 12-14. EDN: MWKAZP.

УДК 629.12

РЕАЛИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Тихонов Н.Ф., ORCID 0000-0001-7827-3082

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, РФ
ds2585@mail.ru

Введение. Инновационные технологии играют ключевую роль в обеспечении техносферной безопасности судовых энергетических установок. Современные вызовы, с которыми сталкивается морская индустрия, требуют от специалистов не только глубокого понимания существующих проблем, но и активного поиска новых решений, способных минимизировать риски и повысить уровень безопасности [1]. В условиях глобализации и ужесточения экологических норм, внедрение передовых технологий становится не просто желательным, а необходимым условием для успешной работы.

Цель – актуальность применения инновационных технологий в судостроении, что позволит понять, какие преимущества они могут предоставить в условиях современного рынка.

Системы менеджмента качества на основе ISO 9001:2015

Реализация инновационных технологий в судовых энергетических установках имеет значительное значение для повышения надежности и безопасности [2]. Одним из перспективных направлений является применение технологий рационального и технологически эффективного использования ресурсов, который встраивается в систему менеджмента качества (СМК), соответствующую ISO 9001:2015.

Стандарт ISO 9001:2015 предлагает структурированный подход к управлению качеством, что особенно актуально для сложных технологических систем. Его применение позволяет организовать процессы по принципу постоянного улучшения и эффективного управления рисками, что является важным аспектом техносферной безопасности. Учитывая комплексный характер деятельности судовых энергетических установок, СМК становится эффективным инструментом для сворачивания и координации всех направлений работы.

Для достижения высокого уровня безопасности и надежности установок необходимо внедрение документации, регламентов и процедур, соответствующих стандартам ISO 9001:2015. Это обеспечивает системный подход в управлении, позволяет минимизировать человеческие ошибки и контролировать качество на всех этапах – от проектирования до эксплуатации. Применение стандартов качества на уровне организаций также способствует интеграции культур безопасности, что является важным элементом на судне, где последствия ошибок могут быть катастрофическими.

При оценке перехода к следующему этапу управления, связанного с экологической составляющей, важно учитывать, что внедрение системы ISO 14001:2015 будет выделять экологические аспекты как приоритетные в управлении. Взаимосвязь между качеством и экологией требует интеграционного подхода, что полностью разнообразит возможности для улучшения техносферной безопасности. Таким образом, создание устойчивых и безопасных судовых энергетических установок будет происходить за счет синергии инновационных технологий, эффективного менеджмента качества и надлежащего экологического управления [2].

Экологическое управление по стандарту ISO 14001:2015

Экологическое управление в рамках ISO 14001:2015 для судовых энергетических установок представляет собой системный подход к минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Данный стандарт охватывает ключевые аспекты, такие как определение экологических аспектов, создание целей и программ, мониторинг результатов и постоянное улучшение. Важно, что внедрение таких практик

требует не только технологической готовности, но и осознания необходимости комплексного подхода, учитывающего как экологические, так и экономические факторы [3].

Основным элементом системы является идентификация и оценка экологических аспектов, что позволяет выявлять потенциальные источники загрязнения. К примеру, анализ стоков, выбросов и отходов, связанных с работой энергетических установок, дает возможность организовать более эффективные меры по их утилизации и переработке. Формирование экологической политики, соответствующей международным стандартам, делает судовые энергетические установки более конкурентоспособными на глобальном рынке, поскольку всё большее количество стран предъявляет требования к соблюдению экологических норм.

Система экологического менеджмента четко структурирует процессы, увеличивая ответственность на всех уровнях. Контроль за соблюдением установленных экологических критериев не только уменьшает риск юридических последствий за несоблюдение законодательства, но и создает положительный имидж компании. Эффективное управление ресурсами в рамках ISO 14001:2015 способствует снижению эксплуатационных расходов, так как включение энергоэффективных решений определяет экономические выгоды. Повышение эффективности использования ресурсов, таких как вода и энергия, в свою очередь, минимизирует негативное воздействие на экосистемы [4]. Привлеченные к действиям по охране окружающей среды, сотрудники становятся активными участниками процесса улучшения экологического состояния судовых энергетических комплексов. Это создает дополнительную мотивацию, что в свою очередь непосредственно сказывается на эффективности работы всей установки [5].

Внедрение ISO 14001:2015 также позволяет обеспечить системный контроль за соблюдением норм, что в конечном итоге приводит к снижению правонарушений в сфере охраны окружающей среды. Организации, реализующие стандарты, более подготовлены к аудиту и контролю со стороны государственных органов, что потенциально снижает риск штрафов и наказаний. Наравне с этим, практика выполнения экологических обязательств может быть использована как маркетинговый инструмент, привлекая внимание потребителей, заинтересованных в устойчивом развитии и ответственных технологиях.

Закключение. Системы менеджмента качества, основанные на международных стандартах ISO 9001:2015, играют важную роль в организации процессов на судовых энергетических установках. Они обеспечивают системный подход к управлению качеством, что позволяет минимизировать ошибки и повышать эффективность работы. Экологическое управление, основанное на стандарте ISO 14001:2015, имеет огромное значение для судовых энергетических установок. Этот стандарт помогает систематически управлять экологическими аспектами

своей деятельности, что позволяет не только соблюдать законодательные требования, но и активно работать над снижением негативного воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Тихонов, Н. Ф. Требования к судовым энергетическим установкам (СЭУ) и их показатели надежности / Н. Ф. Тихонов, Е. Г. Шумихина, Л. С. Секлетина // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 76-1. – С. 72-75. – DOI 10.18411/lj-08-2021-16. – EDN ZAKERB.
2. Надеждина, О. А. Оптимизация работы энергосистемных объектов / О. А. Надеждина, Е. Г. Шумихина // Наука и технологии: вчера, сегодня, завтра: Сборник научных статей. – Краснодар: ИП Кабанов В. Б. (издательство «Новация»), 2024. – С. 257-260. – EDN PJVKCB.
3. Бурков, А. Ф. Повышение энергоэффективности морского транспорта и транспортной инфраструктуры: монография / А. Ф. Бурков, В. Ф. Вережкин, П. М. Радченко; под общей редакцией А. Ф. Буркова. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 132 с. – ISBN 978-5-8114-3852-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/207032> (дата обращения: 06.08.2025).
4. Тихонов, Н. Ф. Высокотемпературные системы охлаждения (ВТО) / Н. Ф. Тихонов // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 100-5. – С. 170-173. – DOI 10.18411/trnio-08-2023-263. – EDN UYJTGН.
5. Васильев, С. А. Анализ судовых энергетических установок (СЭУ) / С. А. Васильев, Н. Ф. Тихонов, О. А. Надеждина // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 73-2. – С. 88-90. – DOI 10.18411/lj-05-2021-67. – EDN VXFКMB.

УДК 629.5.01

К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ

Тихосова А.А., д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-1163-6074,

Терлыч С.В., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-6044-3087,

Строева Л.М., Иванова А.С.

ФГБОУ ВО «Херсонская государственная морская академия», г. Херсон, РФ
slavus_limanskii@mail.ru

Введение. Трактовка понятия «малое» или «маломерное», «малотоннажное» судно в настоящее время не однозначна. В технической и нормативной литературе очень часто в качестве основного критерия используются размерения судна и к «малым» относят суда длиной до 20 м [1] или до 12 м [2]. В других государствах критерии маломерного судна могут отличаться друг от друга и от российских. В международной практике «small craft» – судно с «длиной корпуса» до 24 метров, без ограничения по количеству людей на борту (информация из Википедии:

<https://ru.wikipedia.org>). В «Санитарно-эпидемиологических требованиях к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры» (санитарные нормы) исходят из валовой вместимости и «малыми» считаются суда более 500 регистровых тонн (1415 м³). Так или иначе, все эти суда имеют ограничение по длине, а также по продолжительности нахождения экипажа на судне (автономности).

С точки зрения санитарных требований по обитаемости «малым» можно считать судно с продолжительностью пребывания экипажа на борту не более одних суток.

Постановка задачи. В данной статье рассматриваются вопросы обеспечения акустической обитаемости на малых рыболовных судах в контексте требований действующих санитарных норм и предлагается один из путей решения возникающих при этом проблем.

Актуальность исследования. Высокая энерговооружённость маломерных судов, определяемая как частное от деления суммарной мощности всех машин и механизмов на водоизмещение судна, практически безвариантность расположения нормируемых помещений от источника шума, сложность внедрения виброизоляции помещений из-за небольших размерений малых рыболовных судов, довольно значительной стоимости и высоких требований к её техническому обслуживанию, большая стоимость звукопоглощающих материалов – всё это приводит к тому, что построенные суда зачастую не удовлетворяют требований санитарных норм. В ходе сдаточных испытаний происходит сложная процедура объяснений, обоснований, разработки дополнительных технических мероприятий, эффективность которых на построенном судне значительно ниже, а затраты более чем в 3 раза выше по сравнению с внедрением этих мероприятий во время строительства.

Изложение основного материала. В настоящее время длительность воздействия шума учитывается только для вахтенных механиков как время их пребывания в машинном отделении. Это отражено в существующих санитарных нормах – введены предельные спектры для периодического и безвахтенного обслуживания, а также при постоянной вахте.

Малые суда в течение суток обычно периодически выполняют возложенные на них функции, что связано с изменением режимов работы главного двигателя. Кроме того, годовое время эксплуатации судна разбито на навигационный и внеэксплуатационный периоды, что также влияет на дозу шума, получаемую экипажем.

В настоящее время действующие методики расчёта ожидаемого уровня шума, типовые программы приёмосдаточных испытаний и соответствующие указания в санитарных нормах построены на определении уровня шума при нормальных режимах работы двигателя и сравнении полученных замеров с допускаемыми нормами.

Искомый параметр подсчитывается путём введения поправок к расчётному или замеренному уровню шума для всех режимов работы

двигателя, а также поправки, зависящие от длительности навигационного периода [3].

Тогда формулы для определения уровня шума в нормируемых помещениях малого судна имеют вид:

- для машинного отделения:

$$L_{\text{Э}} = L_{\text{Р}} - \Delta L_{\text{ЭН}}; \quad (1)$$

- для жилых, общественных и служебных помещений и постов:

$$L_{\text{Э}} = 10 \lg \Sigma 10^{0,1(L_{\text{Р}} - \Delta L_{\text{ЭР}})} - \Delta L_{\text{ЭН}}; \quad (2)$$

где: $L_{\text{Р}}$ – расчётный или замерный уровень шума в помещении, который находится обычными методами при расчётных режимах двигателя; $\Delta L_{\text{ЭН}}$ – поправка к уровню шума, зависящая от продолжительности навигации, определяемая по графику, представленном на рис.; $\Delta L_{\text{ЭР}}$ – поправка к уровню шума, зависящая от продолжительности эксплуатации судна при различных режимах работы главного двигателя и определяемая по графику (рис.), если продолжительность задана в процентах, или по таблице – если в часах.

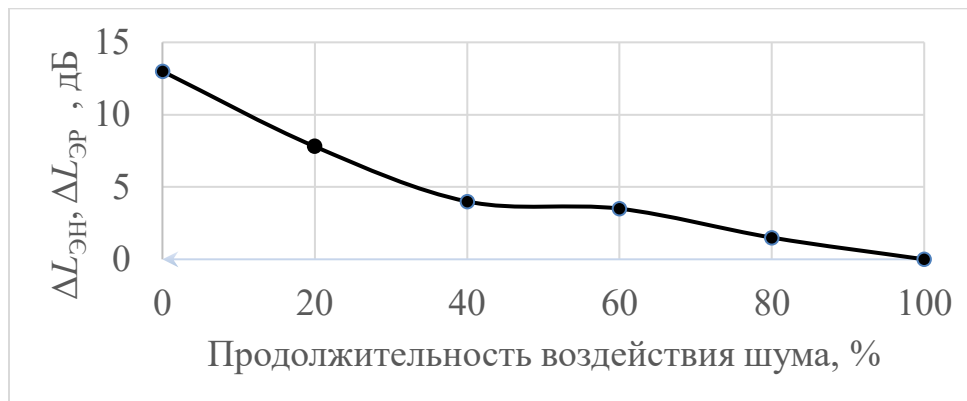


Рис. Кривая для определения поправки к уровню шума в зависимости от продолжительности воздействия на человека

Таблица

Поправка к уровню шума в зависимости от длительности воздействия на человека

Время, ч	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,25	0,1
Поправка, дБ	0	-0,6	-1,2	-2,0	-3,0	-4,2	-6	-9,0	-12	-15	-19

В уравнении (1) отсутствует поправка $\Delta L_{\text{ЭР}}$. Это объясняется тем, что в допустимых нормах учтена продолжительность нахождения вахтенных механиков и/или мотористов в машинном отделении и нормы шума в машинном отделении не зависят от автономности судна.

Резюме. При использовании предлагаемого подхода порядок определения уровня шума в помещениях малого рыболовного судна следующий:

Таким образом, выполняя расчёт ожидаемого уровня шума с учётом его длительности воздействия на экипаж маломерного судна, а затем

определяя этот уровень во время сдаточных испытаний, можно объективно оценить дозы шума, воспринимаемые членами экипажа.

Список литературы

1. Дверник, А. В. Устройство орудий рыболовства / А. В. Дверник, Л. Н. Шеховцев. – М.: Колос, 2007. – 272 с.
2. Правила классификации и постройки малых морских рыболовных судов. Часть I «Классификация». – СПб.: Изд-во РМРС. – 2024. – 14 с.
3. Левашов Д. Е. Нормирование характеристик шумового поля рыбохозяйственных НИС с целью минимизации его влияния на поведение рыб при промыслово-акустической съёмке / Д. Е. Левашов // Труды ВНИРО. – 2016. – Том 159. – С. 157–166.

УДК 532.517.2: 518.12

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Финошин Н.В., канд. физ.-мат. наук, доц., **Попова А.Е., Степанова Е.Э.**
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
finoshin@donnu.ru

Для увеличения интенсивности теплообмена и уменьшения гидродинамического сопротивления при течении жидкости или газа в различных промышленных установках вместо круглых цилиндрических труб часто используются участки трубопроводов с периодически изменяющимся поперечным сечением (ТПИПС). Структура течения в ТПИПС отличается от структуры течения в круглой цилиндрической трубе.

Для исследования течений в трубах с периодически изменяющимся поперечным сечением на кафедре физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И. Л. Повха физики-технического факультета ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет» был разработан и смонтирован аэродинамический стенд АС-5.

В результате исследований течений воздушного потока в ТПИПС было обнаружено, что в сужающейся части трубы (на выходе из конфузторного участка) образуются вихревые структуры. В связи с этим исследованы среднеквадратические продольные пульсации скорости воздушного потока на выходе из конфузторного и диффузорного участков трубопровода с периодически изменяющимся поперечным сечением с помощью термоанемометра.

На рис. 1 приведен один из 4-х участков трубопровода с периодически изменяющимся поперечным сечением. Каждый участок ТПИПС состоит из 4-х конфузторно-диффузорных секций.

Для измерения структуры течения воздушного потока в 3-ей секции ТПИПС был осуществлен дренаж в максимальных, средних и минимальных сечениях ТПИПС (11 сечений).

Для исследования продольных пульсаций скорости в пристеночных областях ТПИПС были выбраны сечения 9 – выход из 3-его диффузора третьей секции ТПИПС и сечение 11 – выход из 4-го конфузора третьей секции трубопровода с периодически изменяющимся поперечным сечением.

Для исследования профилей продольных пульсаций скорости в пристеночной области на выходе из конфузора и диффузора ТПИПС использовался термоанемометр постоянного сопротивления ТА-3м с термисторным преобразователем, который представляет собой шарик диаметром 0,3 мм, изготовленный из кобальтомарганцевого полупроводникового материала, покрытого стеклянной оболочкой. Для измерения продольных пульсаций скорости воздушного потока к термоанемометру ТА-3м подключался вольтметр среднеквадратичных значений напряжения QRV2.

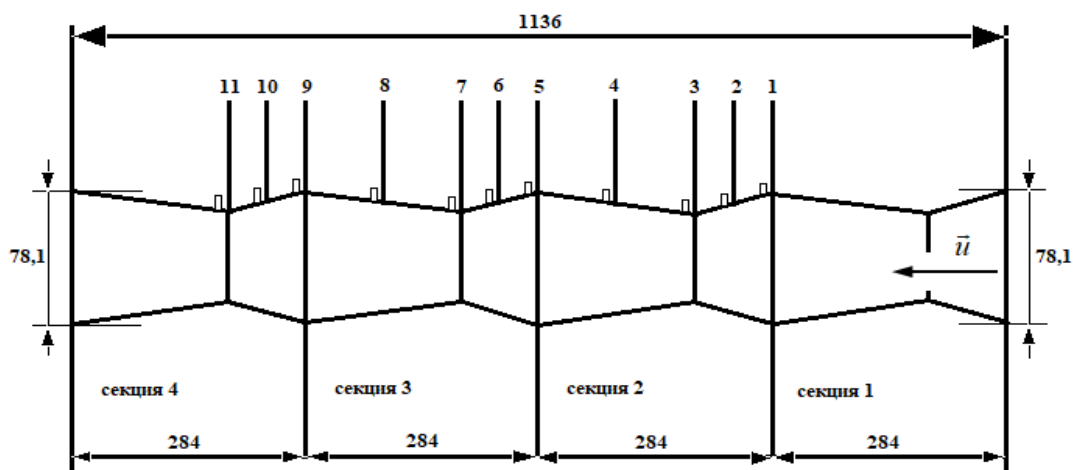


Рис. 1. Схема 4-х секций ТПИПС и измерительных сечений

На рис. 2 приведены графики профилей продольных пульсаций скорости воздушного потока на выходе из конфузора и диффузора. В таблице 1 приведены значения $\sqrt{e'^2}$ от расстояния от стенки для сечения на выходе из диффузора и конфузора.

Полученные результаты подтверждают, что в пристеночной области существует вихревая структура, образованная в результате изменения поперечного сечения ТПИПС, а также показывают, что на выходе из конфузора продольные пульсации скорости воздушного потока в пристеночной области и во всем сечении значительно меньше, чем в диффузоре.

Этот эффект объясняется тем, что в конфузоре средняя скорость воздушного потока увеличивается. При этом в потоке преобладают мелкомасштабные вихри, которые имеют меньшую кинетическую энергию, в отличие от диффузора, где скорость потока замедляется и при

этом преобладают более крупномасштабные вихри, которые имеют большую кинетическую энергию.

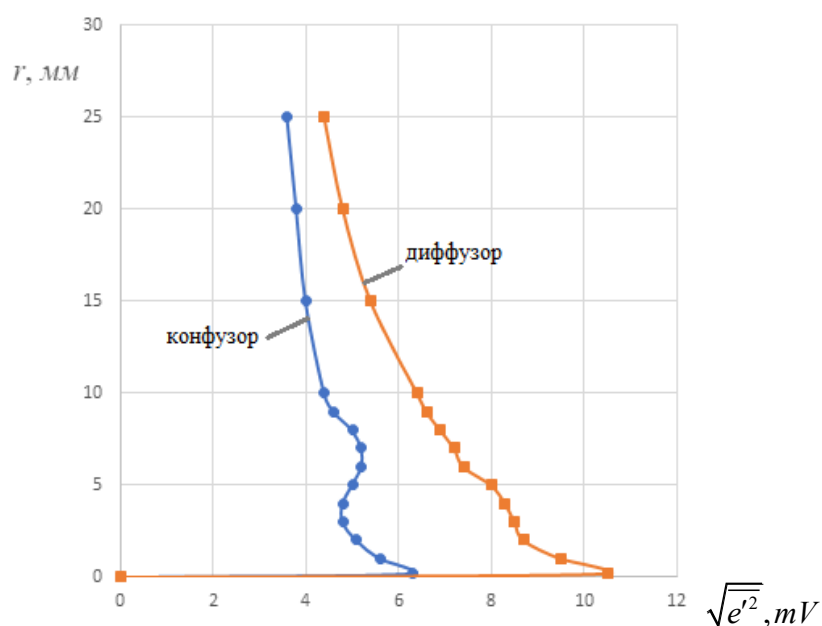


Рис. 2. Графики профилей продольных среднеквадратичных значений пульсаций скорости

Таблица

Диффузор		Конфузор	
$r, \text{мм}$	$\sqrt{e'^2}, \text{мм}$	$r, \text{мм}$	$\sqrt{e'^2}, \text{мм}$
0,2	10,5	0,2	6,2
10	6,7	10	4,6
15	5,5	15	4,4
20	4,6	20	4,2
25	4,2	25	3,8

Список литературы

1. Горлин С. М. Аэромеханические измерения (методы и приборы) / С. М. Горлин, Н. И. Слезингер. – М.: Наука, 1964. – 720 с.
2. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение / Пер. с англ. В. Ф. Алымова и др.; под ред. Г. С. Глушко. – М.: Мир, 1974. – 278 с.
3. Хинце И. О. Турбулентность: Ее механизм и теория / Пер. с англ. О. В. Яковлевского; под ред. Г. Н. Абрамовича. – М.: Физматгиз, 1963. – 680 с.
4. Ярин Л. П. Термоанемометрия газовых потоков / Л. П. Ярин, А. Л. Генкин, В. И. Кукес. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 198 с.

СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КАК ПИРОГЕННЫЙ ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Хазипова В.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0001-5383-1831,
Кипря А.В., канд. хим. наук, доц., ORCID 0000-0002-7649-7530,
Мнускина Ю.В., канд. хим. наук, доц., ORCID 0009-0004-2345-8273
ФГКОУ ВО «Донецкий институт Государственной противопожарной службы
МЧС России», г. Донецк, ДНР
agz@mail.dnmchs.ru

Введение. Леса являются одними из самых богатых по структуре и формам жизни наземных экосистем и способствуют жизнедеятельности других природных образований. Их сохранение является одним из приоритетных направлений устойчивого развития планеты, необходимым условием функционирования биосферы. Усиление ненормированной нагрузки на леса привело к росту количества и увеличению масштабов лесных пожаров, которые являются вторым после вырубki глобальным фактором их уничтожения и угнетения. Воздействие огня как пирогенного фактора на состояние лесных экосистем может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. К положительным эффектам можно отнести стимуляцию роста растений после пожара, быстрое восстановление растительного покрова; улучшение качества почвы. После пожара углерод и другие питательные вещества попадают в почву, что способствует её плодородию. Отрицательные эффекты проявляются в уничтожении растительности, особенно в сухих климатических зонах; загрязнение почвы токсичными веществами, которые выделяются при горении материалов.

В России охране лесов от пожаров всегда уделялось особое внимание. Проблема борьбы с лесными пожарами до сих пор остается нерешенной, Ненадлежащее регулирование рекреационного природопользования и, нарушение при этом правил противопожарной безопасности, часто обуславливают возникновение лесных пожаров. Это определило цель работы и задачи исследования.

Цель исследования – повышение пожарной безопасности лесных массивов Донецкой Народной Республики. Задачами исследования является определение горючего потенциала лесных насаждений и разработка предложений по повышению противопожарной защиты данной территории.

Основная часть. В России проблема защиты лесов оказалась в зоне особого внимания государства с начала XVIII в. В период царствования Петра Великого в лесной политике появился новый ресурсный подход, когда природные объекты стали рассматриваться в качестве ресурсов, используемых в военных и экономических целях.

Для контроля за состоянием лесов в 1802 г. был принят первый Лесной устав, согласно которому все леса передавались в непосредственное управление Лесного департамента. Принятие этого документа было направлено на усиление борьбы с лесными правонарушениями, совершенствование лесоохраны на местах.

С 1842 по 1893 годы в Лесной устав вносились изменения, предусматривавшие повышение ответственности за нарушения лесного законодательства. Среди основных положений Лесного устава следует отметить: регулирование лесопользования. С целью упорядочения мер по защите лесов в 1869 году было подготовлено Положение о лесной страже в казенных лесах. Каждый человек, находившийся в лесу, обязывался повиноваться законным требованиям чинов лесной стражи.

Все вышеуказанные меры были приняты с целью уберечь лесные богатства России от разорения огнём, но их было недостаточно. В 1915 г. пожарами в России было охвачено 12,5 млн га леса, что в итоге привело к колоссальному ущербу.

Лесопокрытая площадь Донбасса составляет 4,8 %, а несколько столетий назад занимала 48 %, т.е. сократилась в 10 раз. Из них 70 % лесных массивов имеют искусственное происхождение. Эти леса в основном не имеют промышленного значения, выполняют исключительно природоохранную функцию. По статистическим данным три четверти лесных массивов занимают лиственные насаждения, среди которых наиболее распространены дуб, ясень, клен, акация, а также дикие яблони, груши и абрикосы, остальная часть – хвойные виды деревьев, в основном сосна. Средний возраст деревьев по оценкам специалистов лесного хозяйства составляет 57 лет. За последние годы заметно возросли темпы воспроизводства лесных массивов. В течение продолжительного времени активно ведется работа по защите леса от вредителей и болезней.

В Торезском лесхозе преобладают твердолиственные насаждения, в том числе: дуб – обычный и высокоствольный, клён, вяз, акация и редкий для Донбасса граб. Кроме того, на территории лесхоза сохранились дубы, возраст которых составляет от 150 до 300 лет. В породном составе древесных насаждений преобладают дуб обыкновенный и ясень высокий.

Отметим, что территория лесхоза ограниченно обеспечена водными ресурсами. Кроме того, в последнее время наблюдается ухудшение водного режима в степной зоне [1]. Усиливается тенденция неравномерного выпадения осадков. Кроме районов протекания крупных рек, почти везде ощущается острая нехватка влаги в летний период. Значимым фактором также является тотальная распаханность территории, что приводит к эрозии и полной деградации почвенного покрова и почвы вообще. Огромная проблема – гибель малых рек. Одной из главных причин этого является массовое сооружение искусственных плотин и водоемов. Более того, поскольку вспашка почвы вызывает эрозию, она вызывает ее

смывание и заиливание водных артерий. Гибель малых рек является крайне тревожным признаком повышения засушливости, что, в свою очередь, повышает риск пожаров.

Ограниченность водных ресурсов создает серьезные проблемы при тушении лесных пожаров. Если поблизости нет крупных водоемов (рек, озер, водохранилищ), пожарным расчетам приходится доставлять воду издалека. Это увеличивает время реагирования и снижает эффективность борьбы с огнем.

Пожарная опасность в лесах в связи с интенсивным освоением новых лесных территорий, большим объемом рубок, массовым туризмом и сельскохозяйственными планами с каждым годом усложняется. В связи с глобальным потеплением и увеличением засушливости климата прогнозируется рост частоты и масштабов лесных пожаров.

На территории Торезского лесхоза происходят различные пожары, отличающиеся по своей динамике, особенностям развития, типам горючих материалов. Травяные пожары характеризуются скоротечностью и быстрым распространением, обычно имеют низкую интенсивность, но часто являются причиной возникновения всех остальных видов пожаров. В зависимости от преобладающего видового состава и времени года – степени засушливости, интенсивность этих пожаров может быть разной.

Для минимизации отрицательного воздействия пожаров на лесные экосистемы необходимо создавать разнообразные ландшафтные зоны, проводить профилактику пожаров, внедрять применение беспилотников и спутниковых систем мониторинга. Спутниковые системы мониторинга позволяют своевременно выявлять очаги возгорания и организовывать борьбу с ними до их распространения. Различные типы растительности обладают разной степенью воспламеняемости и скоростью горения. Например, хвойные леса быстрее горят, тогда как широколиственные породы менее подвержены возгоранию благодаря большей влажности листьев и ствола. профилактику пожаров. Один из важнейших аспектов профилактики пожаров заключается в строгом контроле за использованием открытого огня людьми. Это включает ограничения на разведение костров в лесах, использование пиротехники, курение и другие потенциальные источники возгорания. Необходимо информирование населения о правилах пожарной безопасности, особенно в пожароопасный сезон.

Таким образом, только комплексное использование всех перечисленных методов позволит эффективно защитить территорию лесных насаждений и предотвратить негативные экологические последствия.

Список литературы

1. Ильина, В. Н. Пирогенное воздействие на растительный покров / В. Н. Ильина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2011 – Т. 20, № 2 – С. 4-30.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Хомутянская А.В., ORCID 0009-0004-8314-4946,

Маркин В.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0004-3031-7786

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» –
филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Макеевка, ДНР, РФ
a.v.homutyanskaya@donnasa.ru, v.v.markin@donnasa.ru

Введение. Коксохимические предприятия (КХП) являются потребителями большого количества воды, которая используется на тушение кокса (2,5-3,5 м³ на 1 т кокса), промывку угля (0,4-0,5 м³ на 1 т кокса) и очистку газов (0,4-4 м³ на 1 т кокса). В условиях оборотной системы водоснабжения КХП общее количество сточных вод (СВ), сбрасываемых в природную среду, составляет 0,35-0,38 м³ на 1 т произведенного кокса [1]. Со СВ КХП в природные водоемы поступает большое количество загрязняющих веществ (ЗВ). Согласно НДТ 47-2023 только за 2021 год в России объем сброса загрязненных СВ в поверхностные водоемы от КХП составил 88,2 млн м³. В их составе сброшено: Cl⁻ – 364,3 тыс. т; SO₄²⁻ – 4,71 тыс. т; NO₃⁻ – 4,41 тыс. т; фенолов и гидроксibenзола – 0,40 т [2].

Цель работы – проанализировать свойства производственных СВ КХП и опасность входящих в их состав ЗВ, а также оценить существующие технологии очистки СВ КХП для определения перспективных путей их дальнейшего совершенствования.

Основная часть. СВ КХП содержат в себе большое количество трудноокисляемых органических веществ (ТООВ): фенола и его производных (крезолов, пирокатехина, гидрофенона, резорцина), бензола, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), гетероциклических соединений, смолистых веществ, нефтепродуктов и других, а также неорганических загрязнений: аммиака, роданидов, цианидов, хлоридов, сульфатов, сульфидов и т. д. Концентрации ЗВ в СВ от различных цехов и отделений КХП сильно отличаются. Но в последствии стоки собираются в общий поток, в результате чего происходит усреднение концентраций.

По данным источника [1] концентрации ЗВ в СВ от различных производственных циклов КХП находятся в пределах (мг/дм³): летучих фенолов – 228-3460 (в общем стоке (ОС) – 200); нелетучих фенолов – 42-380 (ОС – 125); аммиака летучего – 150-1900 (ОС – 200); связанного аммиака – 232-2320 (ОС – 980); роданидов – 104-464 (ОС – 400); цианидов – 11-103 (ОС – 28); смолистых веществ – 58-175 (ОС – 110); пиридиновых оснований – 110-400 (ОС – 150). ХПК общего стока – 2030 мгО/дм³.

Многие ТООВ, находящиеся в СВ КХП, обладают сильными токсичными, канцерогенными и мутагенными свойствами и являются опаснейшими загрязнителями окружающей природной среды.

Фенол и его производные при поступлении в природные водоемы нарушают их общее санитарное состояние. Класс опасности фенола – 3, ПДК в водных объектах рыбохозяйственного значения – 0,001 мг/дм³. При его концентрации в природной воде более 0,02 мг/дм³ у рыб зафиксированы патологические физиологические изменения. Попадание фенола в организм человека вызывает развитие язвенной болезни, атрофию мышц, нарушение координации движений и т.п. ЛД₅₀ фенола – 512 мг/кг.

Бензол и ПАУ (нафталин, фенантрен, антрацен, бенз(а)пирен и т.д.) почти нерастворимы в воде и с трудом поддаются разложению. Обладают канцерогенными, мутагенными и токсическими свойствами. Особенно токсичен бенз(а)пирен (1 кл. опасности), обладающий биоаккумуляцией и повышающий частоту раковых заболеваний. ЛД₅₀ бенз(а)пирена – 170 мг/кг, ЛД₅₀ бензола – 5600 мг/кг. ПДК бензола для рыбохозяйственных водоемов – 0,5 мг/дм³, ПДК бенз(а)пирена – 10⁻⁵ мг/дм³.

Пиридиновые основания обладают общетоксическим действием. Пиридин – вещество 3 кл. опасности, его ПДК для рыбохозяйственных водных объектов – 0,01 мг/дм³. При концентрации 10 мг/дм³ пиридин нарушает процессы биологического самоочищения водоемов, в том числе нитрификацию. Попадание пиридина в организм человека проявляется в общих симптомах отравления, а хроническое воздействие может приводить к поражениям нервной системы. ЛД₅₀ пиридина – 100 мг/кг.

Большое количество высокоопасных ЗВ затрудняет и усложняет очистку и повторное использование СВ КХП. Несмотря на это, около 90 % стоков КХП используются повторно в замкнутых оборотных циклах промышленного водоснабжения. Остальные 10 % – сбрасываются в природные водоемы или в централизованные системы водоотведения.

В зависимости от фактического состава и технологических требований к повторному применению оборотные СВ могут использоваться либо без обработки, либо подвергаться предварительной очистке. Во втором случае они в начале проходят процеживание на решетках, задержание грубых примесей в песколовках и выделение оседающих и всплывающих (смол и масел) веществ в отстойниках. После этого стоки подвергаются обработке во флотационных маслоотделителях и направляются в усреднитель. Указанные этапы очистки обеспечивают удаление взвешенных веществ на 90–95 %. После усреднителя часть стоков возвращается на использование, а часть – выводится из системы.

СВ, отводимые в природную среду, далее подвергаются удалению фенолов. Для этого применяются, в основном, эвапорация или экстракция. Эвапорация применима в тех случаях, когда в СВ находятся только летучие фенолы, эффективность удаления которых составляет 85–92 %.

Однако, этот метод малоэффективен для извлечения нелетучих фенолов. Экстракция обладает высокой эффективностью обесфеноливания (до 99 %), включая нелетучие фенолы. Но она имеет также и недостатки, связанные с большими экономическими затратами на приобретение экстрагентов и сложностью.

После экстрагирования СВ проходят более глубокую очистку от ЗВ. Для этого может быть применена адсорбция с активированными углями, золой или коксом. К недостаткам этой технологии относится быстрая потеря сорбционной способности материалов, высокая стоимость сорбентов, а также необходимость их утилизации.

Альтернативой адсорбции является биологическая очистка, которая осуществляется, чаще всего, в несколько этапов. Например, при двухступенчатой обработке на первой ступени окисляются фенолы, а на второй – роданиды. При этом используются биоценозы со специфическими фенол- и роданид-разрушающими бактериями. Начальные концентрации фенолов могут достигать 2 г/дм³, роданидов – 1 г/дм³, эффективность очистки – до 99,5 %.

В завершении СВ обеззараживаются, для чего применяются хлорирование или озонирование. При озонировании помимо обеззараживания также окисляются остаточные концентрации ТООВ и других стойких загрязнителей. Однако, стоимость озонирования СВ примерно в 3 раза выше хлорирования и оно, как и хлорирование, сопряжено с высокой аварийной опасностью объектов и образованием побочных токсичных продуктов.

Заключение. В процессе деятельности КХП образуются токсичные СВ с большим количеством высокоопасных и стойких к разложению ЗВ. Для их удаления приходится использовать сложные методы очистки, имеющие ряд недостатков: высокую сложность, стоимость, аварийную и техногенную опасность. Из рассмотренных методов обработки наиболее простой, безопасной и наименее затратной является биологическая очистка. С целью ее более полного применения целесообразно совершенствование существующих биотехнологий с разработкой более эффективных методов селекции микроорганизмов и микробиоценозов, способных деструктурировать характерные для данных СВ ТООВ.

Список литературы

1. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1981. – 638 с. – Текст: непосредственный.
2. ИТС 47–2023. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Системы обработки (обращения) со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности: утвержден приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 21 декабря 2023 г. № 2759: введен в действие 01.01.2024. – Москва: Бюро НДТ. – 2023. – 107 с. – Текст: непосредственный.

Теоретическая физика и нанотехнологии

УДК 539.2

ЕСТЕСТВЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НЕИДЕАЛЬНОЙ ДВУХПОДРЕШЕТОЧНОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ С ЭНАНТИОМОРФНЫМИ СЛОЯМИ

Безус Ю.А., канд. физ.-мат. наук, 0000-0002-2385-0441,

Федоров С.А., канд. физ.-мат. наук

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
paladyan0108@yandex.ru

В настоящее время имеется значительное число работ посвященных исследованиям оптических свойств идеальных и неидеальных диэлектрических сред [1-4]. Актуальность таких исследований обусловлена как логикой развития науки [1], так и потребностями электротехники, электроники, современным уровнем развития нанотехнологий, а также необходимостью моделирования многофункциональных композитных материалов с заданными свойствами. Особый интерес при этом представляют пространственно-диспергирующие сверхрешетки, гиротропные свойства которых являются основой для создания тонких экспериментальных методик идентификации различным механизмов гиротропии и выявления тонких структурных особенностей рассматриваемых сред [1–2, 4]. Важность таких исследований очевидна, поскольку в настоящее время имеется большое количество сложных органических комплексов и полимеров, которые являются оптически активными в следствие особенностей структуры или оптической активности входящих в их состав молекул [4]. Причем гиротропия часто является единственно возможным способом определения стерео- и кристаллохимических характеристик, а также важной деталью строения соответствующих пространственно-диспергирующих структур.

Полученные в [2–4] аналитические выражения для угла вращения плоскости поляризации электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оптической оси (параллельной слоевым оптическими осям) сверхрешетки позволяют выполнять численное моделирование зависимости оптической активности от частоты света и концентраций инородных (примесных) слоев.

При этом для каждой разупорядоченной по составу подрешетки многослойника все типы инородных слоев отличаются друг от друга по химическому составу. В этой связи представляет интерес рассмотреть оптическую активность таких неидеальных сверхрешеток, в которых примесные слои разных сортов имеют одинаковый химический состав,

однако отличаются своими стереоизомерными (энантиоморфными) формами, которым соответствуют право- и левовращающие среды.

В настоящей работе, на примере двухподрешеточного многослойника с энантиоморфными инородными слоями одного сорта в каждой подрешетке изучаются особенности концентрационной зависимости оптической активности рассматриваемой системы с двумя типами разупорядочения.

Ниже в качестве слоев основного вещества выбраны модельный жидкий кристалл (первая подрешетка с удельным углом вращения – $\rho_1^{(1)} = 2000$ град/мм) и кристаллический α -кварц SiO_2 (вторая подрешетка с удельным углом вращения – $\rho_2^{(1)} = 780$ град/мм); дефектными структурными элементами являются левовращающие (с удельным углом вращения $\rho_{1,2}^{(2)-} = -1053$ град/мм) и правовращающие (с удельным углом вращения $\rho_{1,2}^{(2)+} = +1053$ град/мм) слои кристалла $LiIO_3$.

В дальнейшем рассматривается два случая:

I – разупорядочение только по составу. В этом случае имеется четыре типа оптически активных сверхрешеток. Концентрационная зависимость приведенных углов вращения $\frac{\rho(C_{1C}^{(2)}, C_{2C}^{(2)})}{N(a_1 + a_2)}$ для них описываются следующими формулами (1):

$$\frac{\rho_{\lambda,\mu}(C_{1C}^{(2)}, C_{2C}^{(2)})}{N(a_1 + a_2)} = \frac{a_1}{a_1 + a_2} [\lambda \rho_1^{(1)} + (\rho_1^{(2)} - \mu \rho_1^{(1)})] C_{1C}^{(2)} + \frac{a_2}{a_1 + a_2} [\lambda \rho_2^{(1)} + (\rho_2^{(2)} - \mu \rho_2^{(1)})] C_{2C}^{(2)}. \quad (1)$$

где каждый из индексов λ, μ принимает два значения ($\lambda, \mu = +, -$), соответствующие право- и левовращающимся энантиоморфным слоям.

В формулах 1 N – число элементарных ячеек, рассматриваемой системы; a_1, a_2 – толщины слоев первой и второй подрешеток; $C_{1C}^{(2)}, C_{2C}^{(2)}$ – концентрации инородных слоев в первой и второй подрешетках.

На рис. 1 представлены графические изображения концентрационной зависимости приведенного угла вращения.

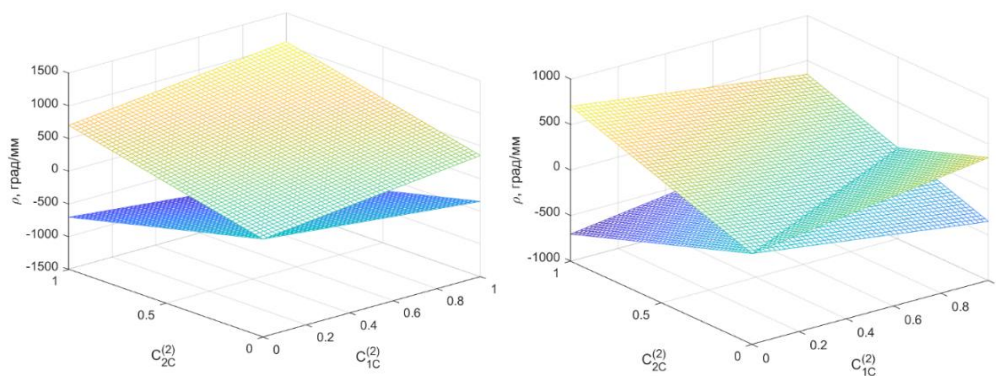


Рис. 1. Концентрационная зависимость приведенного угла вращения, соответствующая формулам 1 для всех 4-х типов энантиоморфных слоев

Из приведенных графиков видно, что при определенных концентрациях все четыре типа кристаллов меняют знак и, следовательно, из левовращающих превращаются в правовращающиеся. Кроме того, при различных стереоизомерных формах инородных слоев разных подрешеток, приведенные углы вращения при определенных концентрациях совпадают.

II – разупорядочение и по составу, и по толщине.

Для этого случая рассматривается сверхрешетка в которой в первой подрешетке имеется разупорядочение и по составу (с правовращающим инородным слоем), и по толщине, а всякое разупорядочение во второй подрешетке отсутствует. Из работ [2-4] следует, что графическое изображение при указанных выше параметрах концентрационной зависимости приведенного угла вращения описывается графиками (рис. 2).

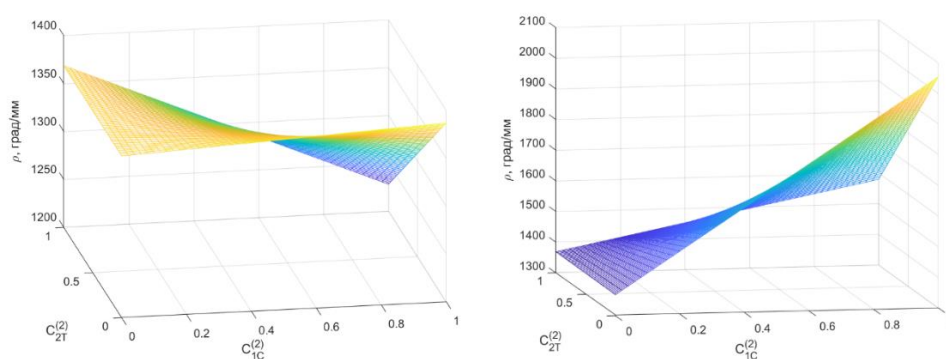


Рис. 2. Концентрационная зависимость приведенного угла вращения неидеального многослойника разупорядоченного по составу и по толщине

В работе изучены особенности оптической активности неидеального двухподрешеточного многослойника с энантиоморфными примесными слоями. С помощью численного моделирования выявлены концентрационные область которым соответствуют разные знаки угла вращения. Проведенные в работе исследования существенно расширяют возможности моделирования оптически активных многослойных композитных материалов.

Список литературы

1. Photonic Crystals. Molding the Flow of Light / J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, R. D. Meade // Second Edition. Princeton: Princeton University Press, 2008. – 317 p.
2. Румянцев В. В. Трансформация поляритонного спектра неидеальных топологически упорядоченных сверхрешеток / В. В. Румянцев, С. А. Федоров // Оптика и спектроскопия. – 2007. – Т. 102. – №1. – С. 75-79.
3. Румянцев В. В., Федоров С. А., Гуменник К. В., Рыбалка А. Е. Журнал прикладной спектроскопии. 2022. – 89.– С. 354.
4. Румянцев В. В. особенности гиротропии неидеальной одномерной ЖК/SiO₂ сверхрешетки с примесями LiIO₃ / В. В. Румянцев, С. А. Федоров и др. // Складні системи і процеси. – 2012. – №1(21). – С. 57-62.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ «СВЕРТКА РЕПЛИКИ» ДЛЯ АНАЛИЗА МОРФОЛОГИИ ПОР В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЯХ

Белозерцев Ю.В.¹, ORCID 0009-0000-3120-1444,

Омороков Д.Б.², канд. физ.-мат. наук, ORCID 0009-0008-2799-7150,

Евсикова Н.Ю.², канд. физ.-мат. наук, доц., ORCID 0000-0001-5288-0140

¹АО «ВНИИ «Вега», г. Воронеж, РФ

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

ybelozercev@vniivega.ru, omorokovdb@vgltu.ru, evsikovany_phlt@vgltu.ru

Введение. Анализ морфологии пор диэлектрика на поверхности кремния обеспечивает вариант методики углеродных реплик – «свертка реплики». Метод реплик используют для изучения морфологии поверхности. С поверхности исследуемого объекта снимается отпечаток (в виде тонкой плёнки углерода), повторяющий рельеф поверхности, и рассматривается в просвечивающем электронном микроскопе. Если предварительно или одновременно с углеродом (обязательно под углом к исследуемой поверхности) напыляют слой металла, оттеняющего выступы и впадины геометрического рельефа, то это реплика с «оттенением». Если отделение реплики осуществлять механически и обеспечить сохранение дискретных фрагментов (элементов), находящихся на исследуемой поверхности, то это реплика с «извлечением».

Цель работы – установление эффективности методики «свертка реплики» для анализа морфологии пор диэлектрика.

Основная часть. В работах [1, 2] описано создание заполненных металлами протравленных ионных треков в оксидированном кремнии. Подложками для формируемых образцов являлись пластины монокристаллического кремния. Перед оксидированием поверхности кремния проводилась его предварительная химическая обработка. Вначале пластины выдерживались в кислотно-перекисном растворе в течение одной минуты, а затем – в перекисно-аммиачной смеси в течение десяти минут. Слой диоксида кремния формировался термическим (пирогенным) окислением Si при температуре 1100°C в течение 10 часов. Толщина слоя SiO₂ в результате составила около 0,7 мкм.

Полученные образцы облучали ионами золота с энергией 350 МэВ и дозой 5×10^8 см⁻². Сформированные в результате такого облучения в слое SiO₂ латентные ионные треки травили плавиковой кислотой (HF) с концентрацией 1,35 % при температуре (20 ± 1) °C (методика селективного химического травления [3]). Вследствие различия скоростей травления облученного и необлученного оксида кремния в слое SiO₂ формируются поры в виде конусов. Диаметр основания поры с увеличением

продолжительности травления постоянно растет, как и диаметр ее вершины. Так продолжается до тех пор, пока слой SiO_2 полностью не растворится в HF [4].

Далее методом подпотенциального химического осаждения было проведено наполнение протравленных ионных треков кластерами меди и никеля. Для этих целей использовали специальную камеру, которая позволяет сканировать ионным пучком шириной 3 см поверхность материала площадью $30 \times 30 \text{ см}^2$.

Техническим результатом этих работ была подготовка к созданию в ближайшем будущем новых типов магниточувствительных наноструктур на основе ионных треков в оксидированном кремнии, внутри которых посредством электрохимической технологии формируют однородные наноконпозиции или многослойные наноструктуры. Такие наноструктуры лежат в основе создания магниторезистивных сенсоров, датчиков перемещений, устройств памяти и др. [5]. Для нормального функционирования подобных структур необходимо, чтобы металл находился исключительно в порах подложки, а на остальной части подложки кластеры металлов должны отсутствовать во избежание возникновения паразитной электрической проводимости и ложного срабатывания сенсоров. Для получения таких структур и исследования процессов, происходящих на подложке при селективном травлении, заполнении нанопор, требуется большое количество исследований с использованием растровой электронной микроскопии (РЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и т.д. Поэтому целесообразно было применить методику свертки реплики для исследования протравленных ионных треков – нанопор.

Реплику отделяют, предварительно подвергая гетероструктуру химическому травлению водным раствором кислот или с помощью желатина. Если нанесение углерода происходит под большим углом ($70-90^\circ$) к плоскости подложки, формируется реплика с рельефом, в отношении которого электронно-микроскопический контраст не позволяет отличить углубление от выступа. Если такую реплику свернуть, тогда углубления и выступы рельефа на электронно-микроскопическом изображении имеют отличимые контрасты и, самое главное, четкую геометрию профиля рельефа. Свертку осуществляют, сворачивая предметную сетку (для электронно-микроскопических исследований) с уже нанесенной репликой. Получаемые в рамках этой методики реплики позволяют одновременно анализировать геометрию и морфологию пор, включений и их латеральное распределение.

На рисунке представлены ПЭМ изображения (протравленные треки в окисленном кремнии без металла) свернутой реплики и схема, иллюстрирующая наблюдаемый контраст. Поскольку пучок электронов направлен под небольшим углом к поверхности реплики, наблюдаемые изображения

характеризуются высоким контрастом для отпечатка открытой поры, который перпендикулярен поверхности реплики. Темнопольное (рис. а) и светlopольное (рис. б) изображения информативно почти не отличаются, но качество темнопольного изображения несколько выше из-за более низкой интенсивности электронного пучка. Все отпечатки пор имеют форму правильных конусов с углом 26° при вершине (см. рис. 1 а, б).

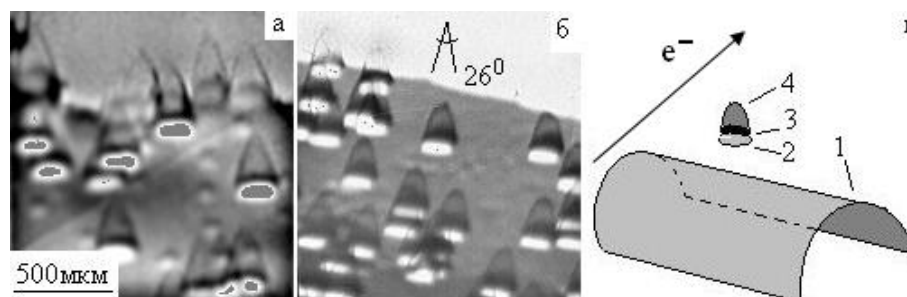


Рис. Темнопольное (а), светlopольное (б) ПЭМ изображения свернутой реплики и схема формирования контраста изображения (в): 1 – изгиб углеродной пленки; 2 – отверстие поры; 3 – увеличение толщины углеродного слоя из-за косоного напыления углерода; 4 – профиль открытой поры

Заклучение. Таким образом, методика «свертка реплики» может быть успешно применена для исследования морфологии пор в слое SiO_2 на подложке Si и позволяет получить важные сведения о геометрической форме пор. Эту методику целесообразно использовать в будущих исследованиях для изучения заполнения пор металлическими кластерами.

Список литературы

1. Сахаров В. Е. Формирование наноструктур на поверхности системы SiO_2/Si с латентными треками для преобразователей сигналов / В. Е. Сахаров, Д. Б. Омороков, Н. Ю. Евсикова // Теория и техника радиосвязи, 2023. – № 4. – С. 55-59. – EDN MTLEES.
2. Омороков Д. Б. Особенности осаждения металла на подложку SiO_2/Si с латентными треками / Д. Б. Омороков, Н. Ю. Евсикова // Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. VIII Междунар. научн. конф. (Донецк, 25–27 октября 2023 г.). – Донецк: ДонГУ, 2023. – Т.2. – С. 142-145 – URL: <https://science.donnu.ru/materialy-viii-mezhdunarodnoj-nauchnoj-konferenczii-doneczkie-chteniya-2023-obrazovanie-nauka-innovaczii-kultura-i-vyzovy-sovremennosti/> (дата обращения: 26.09.2025). – EDN JNEGMR.
3. Реутов В. Н. Ионно-трековая нанотехнология / В. Н. Реутов, С. Н. Дмитриев // Рос. хим. журнал, 2002. – Т. XLVI, № 5. – С. 74–80.
4. Столяров А. А. Создание сенсоров магнитного поля на основе композиционных наноструктур с использованием технологии ионных треков / А. А. Столяров, В. Е. Сахаров, Д. Б. Омороков, Н. Ю. Евсикова // Теория и техника радиосвязи. – 2024. – № 4. – С. 76-81. – EDN PHAEON.
5. Демьянов, С. Е. Наноструктуры систем $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{металл}$ с треками быстрых тяжелых ионов / С. Е. Демьянов, Е. Ю. Канюков, А. В. Петров [и др.] // Известия РАН. Серия физическая, 2008. – Т. 72, № 9. – С. 1262-1264. – EDN: ISCPQK.

НАНОЧАСТИЦЫ ЛИТИЯ. АВ-INITIO РАСЧЕТ

Бутько В.Г., канд. физ.-мат. наук,

Гусев А.А., канд. физ.-мат. наук, доц.,

Хачатурова Т.А., канд. физ.-мат. наук

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, РФ

Vg-bt@mail.ru

Введение. В последние годы прогресс в создании литий-ионных аккумуляторов усилил внимание к наноразмерным структурам Li: наночастицам, нанопроводам [1], нанотрубкам. Целью настоящей работы является исследование структурных и электронных свойств наночастиц лития различных размеров методами теории функционала плотности и сравнение результатов этих расчетов с аналогичными, проведенными для наночастиц железа [2].

Модель и метод расчета. Трехмерные наноструктуры строятся на основе ОЦК решеток, которыми обладают кристаллы как Fe, так и Li. Структуры представляют собой несколько оболочек, состоящих из вышеупомянутых атомов. Все атомы, принадлежащие одной оболочке, находятся на одинаковом расстоянии от центра наночастицы. Структуры из n атомов железа и лития будем обозначать соответственно Fe_n и Li_n . На рис. показаны, наибольшие из рассмотренных, наночастицы Fe_{113} и Li_{113} .

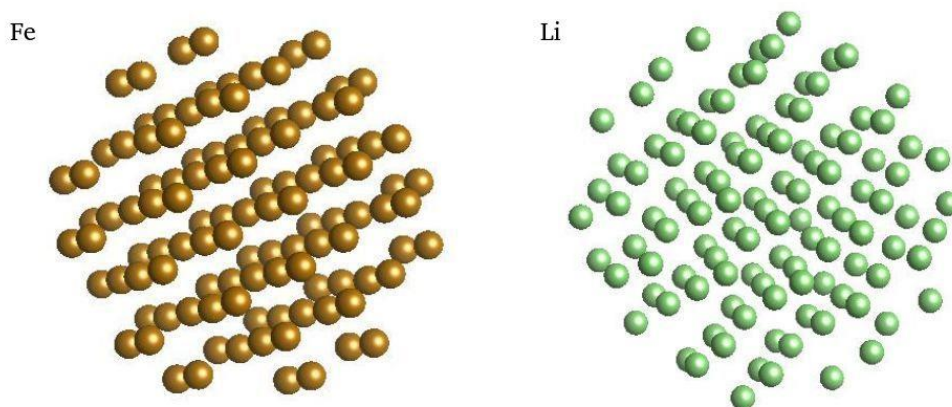


Рис. Наночастицы Fe_{113} (слева) и Li_{113} (справа). Позиции атомов железа и лития получены после проведения самосогласованных расчетов

Электронное строение наночастиц рассчитывалось в рамках теории функционала плотности неэмпирическим методом проекционных присоединенных волн (PAW), программный пакет VASP (Vienna *ab initio* simulation package). В качестве обменно-корреляционного потенциала использовалось обобщенное градиентное приближение (generalized gradient approximation (GGA)) в виде, предложенном Perdew–Burke–Ernzenhof, а в качестве псевдопотенциалов были использованы

стандартные псевдопотенциалы VASP. В результате проведения самосогласованных расчетов были найдены оптимизированные позиции всех атомов и полная энергия системы. При этом оптимизация считалась достигнутой, если выполнялось обязательное требование, чтобы силы, действующие на каждый атом, были меньше, чем 0.01 эВ/нм.

Структурные и электронные свойства. В объемноцентрированной кристаллической решетке каждый атом имеет 8 первых и 6 вторых ближайших соседей. Степень близости структуры наночастиц и кристалла характеризуется именно средним числом ближайших соседей. В таблице 1 приведены полученные значения для рассматриваемых наночастиц.

Таблица 1

Количественные характеристики структур наночастиц Li_n и Fe_n

Количество атомов в наночастице	Количество атомов		Количество ближайших соседей			
	внутренних	внешних	первых		вторых	
			Fe	Li	Fe	Li
9	1	8	1.78	1.78	2.67	2.67
15	9	6	4.27	4.27	2.40	2.40
27	15	12	4.15	2.37	2.74	2.67
51	27	24	5.02	2.04	2.82	2.82
59	51	8	5.42	1.63	3.86	2.64
65	59	6	5.66	1.84	3.69	2.58
89	65	24	5.75	1.71	3.78	1.62
113	89	24	5.80	1.91	4.04	1.82
ОЦК	1	0	8		6	

Количество ближайших соседей и первых, и вторых только для двух первых оболочек равны у структур Li и Fe . Дальше, у наночастиц железа количество соседей растет по мере увеличения размеров наночастиц, но остается меньше чем в кристалле. В случае наночастиц лития, после двух оболочек, количество соседей и первых и вторых практически не растет, даже падает. Расположение атомов Li становится более хаотичным.

В таблице 2 приведены результаты оптимизации параметров обоих видов наночастиц. Все расстояния отличаются от аналогичных в кристалле, но с ростом диаметра наночастиц они остаются в пределах соответствующих кристаллических размеров. В последней строке таблицы представлены данные по энергии связи кристаллов.

Таблица 2

Оптимизированные структурные параметры и энергии связи наночастиц Fe_n и Li_n

Количество атомов в наночастице	$R_n \text{ Fe}_n$	$R_n \text{ ОЦК Fe}$	$R_n \text{ Li}_n$	$R_n \text{ ОЦК Li}$	$E_b \text{ Fe}_n$	$E_b \text{ Li}_n$
9	0.221	0.244	0.299	0.301	-6.017	-1.201
15	0.271	0.281	0.356	0.347	-6.622	-1.313
27	0.378	0.397	0.464	0.490	-6.785	-1.425
51	0.454	0.467	0.562	0.576	-7.117	-1.545

Продолжение таблицы 2

59	0.478	0.486	0.582	0.600	-7.231	-1.597
65	0.553	0.564	0.713	0.696	-7.246	-1.573
89	0.593	0.614	0.707	0.757	-7.251	-1.598
113	0.626	0.630	0.756	0.777	-7.395	-1.626
ОЦК					-8.211	-1.864

Примечание: R_n – расстояние от центра наночастицы до атома оболочки n , нм; E_b – энергия связи, приходящаяся на один атом металла, эВ.

Важной характеристикой электронной структуры является энергия связи. Она всегда является отрицательной, а ее величина характеризует насколько состояние связано. С ростом количества атомов наночастицы энергия связи по модулю растет, но все еще далека от кристаллической.

Заключение. В рамках теории функционала плотности выполнены неэмпирические расчеты электронной структуры трехмерных наночастиц лития с диаметром до 1.51 нм. Получены структурные параметры наночастиц и энергии их связи. Проведено сравнение с аналогичными величинами наночастиц железа.

Список литературы

1. Бутько, В. Г. Электронное строение одномерных наноструктур лития и калия / В. Г. Бутько // ФТВД-2009. – Т. 19, № 2. – С. 20-23.
2. Бутько В. Г. Наночастицы железа. Первопринципный расчет / В. Г. Бутько, А. А. Гусев, Т. А. Хачатурова // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. VII Междунар. научн. конф. (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Т. 2: Физические, технические и компьютерные науки. – Донецк: ДонГУ, 2022. – С. 96–98. <http://science.donnu.ru/dch-2022-tom-2-fizicheskie-i-tehnicheskie-nauki.pdf>

УДК 669.3:539.89

ВЛИЯНИЕ ОСАДКИ ПРИ КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА ТВЕРДОСТЬ МЕДИ

Гангало А.Н.^{1,2}, канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-5683-1346,
Сенникова Л.Ф.¹, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-6021-2318,
Яшарова Е.В.^{1,3}, ORCID 0009-0002-8780-0918,
Суровицкий В.Д.¹, ORCID 0009-0009-0722-4035

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБНУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, РФ

³ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
al-gangalo@yandex.ru

Введение. В последние десятилетия ультрамелкозернистые (УМЗ) металлические материалы стали объектом многочисленных исследований.

Это связано с тем, что материал с мелким размером зерна обладают целым рядом положительных качеств: рекордно высокая твердость и прочность, сверхпластичность, повышенная усталостная долговечность, коррозионная стойкость [1]. Как известно, измельчения зерна достигается за счет накопления в материале высоких значений деформации. Для этого применяют традиционные методы обработки давлением, например, гидроэкструзию [2], интенсивную пластическую деформацию, равноканальное угловое прессование или кручение под давлением [3, 4], а также комбинации этих методов [5, 6].

Для повышения эффективности измельчения зерна деформационную обработку рекомендуется проводить при температурах, не превышающих температуру начала рекристаллизации материала [1]. Более того для подавления процессов динамического возврата/рекристаллизации, стимулирования измельчения зерна, повышения твердости и прочности материалов некоторые исследователи рекомендуют дополнительно снижать температуру деформационной обработки вплоть до криогенных температур [2, 7].

Цель данной работы оценить эффективность осадки при криогенной температуре на изменение твердости меди в крупнокристаллическом и ультрамелкозернистом состояниях.

Основная часть. В качестве материала для исследования в работе использовали бескислородную медь марки М06 в крупнокристаллическом (КК) и УМЗ состояниях. Для получения КК состояния медь предварительно отжигалась в муфельной печи при температуре 600⁰С с выдержкой два часа. В результате отжига сформировалась КК структура с средним размером зерна около 20 мкм. Для получения УМЗ структуры после отжига медные заготовки диаметром 20 мм и длиной 120 мм подвергалась интенсивной пластической деформацией с использованием установки для равноканального углового прессования. Рабочий диаметр входного и выходного каналов составлял 20мм, угол их пересечения $\Phi=90^0$. Было осуществлено 12 циклов деформирования по маршруту В_с (перед каждым последующим циклом образцы поворачивались на 90⁰ вокруг своей оси). Это позволило сформировать равноосную УМЗ структуру с высокоугловыми границами разориентировки и средним размером зерна около 0,2 мкм.

Из полученного КК и УМЗ материала вытачивались цилиндрические образцы $D_0=15$ мм и высотой $h_0=15$ мм, которые делились на две части. Первая часть образцов деформировалась осадкой при комнатной температуре, вторая с предварительным охлаждением до 77 К. Для охлаждения образцы помещались в жидкий азот и выдерживались 5 мин с момента прекращения кипения азота. Чтобы снизить влияние температуры деформационного разогрева, после обработки образцы сразу же помещались обратно в жидкий азот до полного охлаждения.

Осадку выполняли на сухих гладких бойках с различной степенью логарифмической деформации $e = \ln(h_0/h_1) = 0,2...1$ с шагом 0,2, где h_1 –

высота образца после осадки. Скорость перемещения верхнего бойка составляла 7 мм/с.

Твердость образцов определяли по методу Виккерса на твердомере HV-5 с нагрузкой 5кг в сечении перпендикулярном оси сжатия. Перед осадкой в исходном состоянии твердость меди составила: КК – 440 МПа, УМЗ – 1360 МПа.

На рисунке показано влияние степени деформации осадкой и температуры на твердость меди в КК и УМЗ состояниях. Как видно, применение осадки при криогенной температуре приводит к дополнительному повышению твердости независимо от степени деформации и структурного состояния. Увеличение степени деформации для КК меди приводит к монотонному росту твердости, которые достигают для комнатной температуры обработки 1125 МПа, для криогенной – 1201 МПа.

В случае обработки УМЗ меди при малых деформациях наблюдается снижение твердости в сравнении с исходным состоянием, что, по-видимому, связано с уменьшением внутренних напряжений вследствие смены схемы деформирования. Максимальное повышение твердости достигается при осадке со степенью деформаций $\epsilon=0,8$. Твердость для комнатной температуры обработки 1391 МПа, для криогенной – 1410 МПа. При увеличении деформации до $\epsilon=1$ происходит снижение твердости для обеих температур, что связано с деформационным разогревом [6]. Следует отметить, что падение твердости при комнатной температуре выражено сильнее, чем для случая обработки при пониженной температуре.

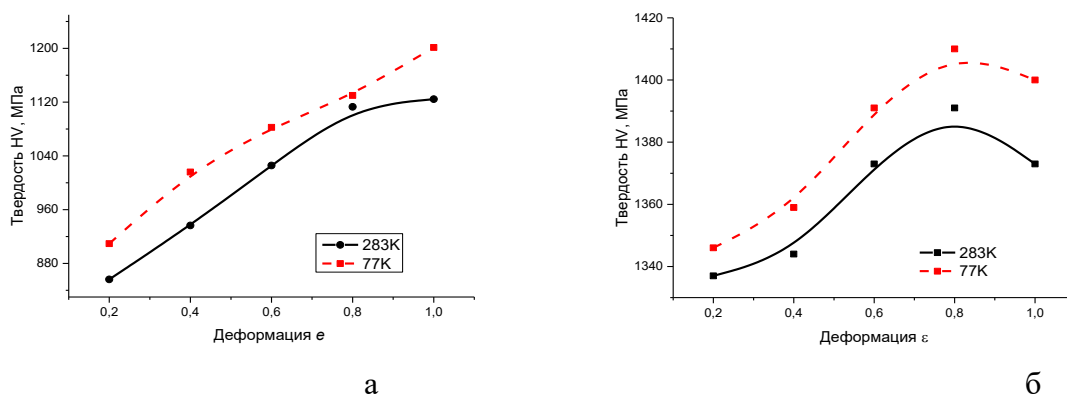


Рис. Влияние степени деформации осадкой и температуры на твердость меди М06 с крупнокристаллической (20 мкм) структурой – а, ультрамелкозернистой (0,2 мкм) структурой – б

Заключение. Осадка меди при криогенной температуре позволяет дополнительно повысить твердость меди. Эффект криогенной обработки зависит от структурного состояния материала. Для крупнокристаллического состояния в среднем дополнительное увеличение твердости составило 5,7 % для ультрамелкозернистого – 1,3 %.

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились в рамках государственного задания FREZ-2023-0001.

Список литературы

1. Valiev, R. Z. Ultrafine-Grained Materials / R. Z. Valiev, I. V. Alexandrov, M. Kawasaki, and T. G. Langdon; Springer Nature, 2024. – 170 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31729-3>.
2. Pachla, W. Enhanced strength and toughness in ultra-fine grained 99.9% copper obtained by cryo-hydrostatic extrusion / W. Pachla, M. Rulczyk, J. Smalc-Koziorowska, S. Przybysz, M. Wroblewska, J. Skiba, M. Przybysz // Materials Characterization. 2018. V. 141. P. 375–387. DOI: 10.1016/j.matchar.2018.04.048.
3. Volokitin, A. V. Severe plastic deformation methods influence on the structure and properties of metal materials: A review / A. V. Volokitin, I. E. Volokitina, A. I. Denissova, M. Seref Sonmez // Johnson Matthey Technology Review. 2025. V. 69. Is. 2. P. 198–213. DOI:10.1595/205651325X17343556140949.
4. Valiev, R. Z. Using severe plastic deformation to produce nanostructured materials with superior properties / R. Z. Valiev, B. Straumal, T. G. Langdon // Annual Review of Materials Research. – 2022. – V. 52. – P. 357–382. – DOI: 10.1146/annurev-matsci-081720-123248.
5. Сенникова, Л. Ф. Влияние разовой степени деформации гидроэкструзией на механические свойства сплава АМц, предварительно обработанного равноканальным угловым прессованием / Л. Ф. Сенникова, А. Н. Гангало, Е. А. Свиридова, С. В. Васильев, В. М. Ткаченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024 г. № 4 (87). – С. 71-76. EDN:EWQYCU.
6. Гангало, А. Н. Влияние гидропрессования на механические свойства ультрамелкозернистой меди / А. Н. Гангало, Е. В. Яшарова, Л. Ф. Сенникова, В. Д. Суровицкий, В. В. Бурховецкий, В. А. Глазунова // Деформация и разрушение материалов. 2025 г. – №10. – С. 19-27. DOI: 10.31044/1814-4632-2025-10-19-27.
7. Конькова, Т. Н. Об эффективности криогенной деформации для измельчения микроструктуры меди / Т. Н. Конькова, С. Ю. Миронова, А. В. Корзников // Физическая мезомеханика. 2011 г. – №14, 1. – С. 83-92. EDN:NQWAQH.

УДК 669.295:621.777:620.18

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АТОМНОГО ПОРЯДКА В КОМПОЗИТЕ Cu-NbTi, ПОЛУЧЕННОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПАКЕТНОЙ ГИДРОЭКСТРУЗИИ

Ивахненко Н.Н.¹, канд. физ.-мат. наук, доц., ORCID 0000-0002-7328-7634,

Самойленко З.А.², д-р физ.-мат. наук, **Пушенко Е.И.²**,

Бадекин М.Ю.³, ORCID 0000-0002-3911-5900,

Петренко А.Г.³, д-р физ.-мат. наук, проф., **Сычева В.Я.²**

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева», г. Москва, РФ

²ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

³ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
korund2002@list.ru, yulduz19.77@mail.ru

Изучение композита Cu-Nb важно для понимания его механических свойств. Анализ аналогичных Cu-Nb систем позволяет прогнозировать

структурные изменения при гидроэкструзии, особенно морфологию и поведение Nb-включений, определяющих прочность и пластичность.

В работе исследовано влияние пакетной гидроэкструзии ($P = 75$ атм, скорость вращения подвижного Пуассона 0,5 об/мин, число проходов от 1 до 6) на структуру и свойства композита Cu-NbTi, полученного по методике [1]. Структуру анализировали методом рентгеноструктурного анализа [2–4]. На рис. показаны дифракционные картины, представляющие суперпозицию рассеяния: Дебаевские линии (дальний порядок), диффузные максимумы (мезоскопический порядок), фон (некогерентное рассеяние) и широкие гало-полосы (когерентное рассеяние от атомных группировок). Одним из наиболее важных аспектов структуры композита Cu-Nb-Ti является природа и свойства границ раздела между медной матрицей и ниобиевыми включениями. Именно здесь сосредоточены процессы перераспределения деформации, диффузии и формирования новых фаз, что напрямую влияет на макроскопические механические свойства материала.

Добавление титана в систему Cu-Nb-Ti открывает путь к формированию межфазных слоев из интерметаллидов. Титан, вероятно, будет концентрироваться на границах раздела Cu/Nb, стремясь снизить общую поверхностную энергию системы. В результате могут образовываться слои интерметаллидов Cu-Ti-Nb. Эти слои будут иметь собственную кристаллическую структуру, которая может быть различной.

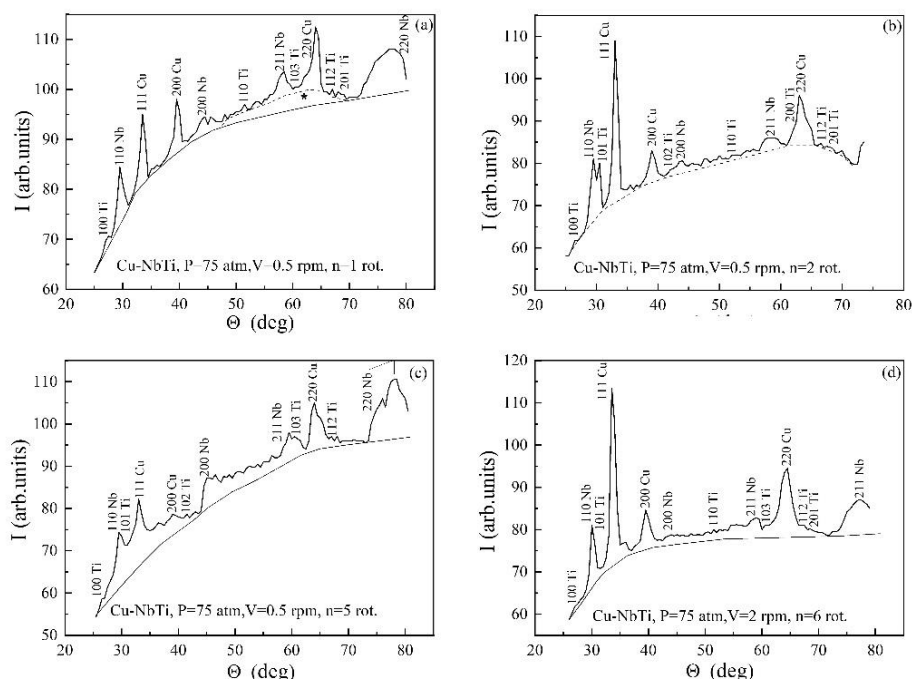


Рис. Дифракционные картины композита Cu-NbTi

Интерметаллиды обычно обладают высокой твердостью и хрупкостью. Они могут эффективно блокировать движение дислокаций, переходящих с меди на ниобий, и наоборот, что будет способствовать дополнительному упрочнению. Формирование слоя из интерметаллидов

вокруг каждого Nb-элемента может превратить исходный композит Cu-Nb в более сложную структуру типа «матрица-волокно», где роль «волока» теперь выполняет комбинация самого ниобия и окружающего его интерметаллического слоя. Это может кардинально изменить распределение напряжений внутри композита. Дислокационная структура и распределение микронапряжений являются прямыми следствиями пластической деформации и играют центральную роль в механизмах упрочнения материалов.

Процессы, связанные с дислокационной структурой, тесно взаимодействуют с внутренними напряжениями. Дислокации, возникающие в мягкой медной матрице под нагрузкой, сталкиваются с частицами Nb и накапливаются у границ раздела, образуя дислокационные стенки и клетки. Это вызывает локальное упрочнение и рост микронапряжений, создавая синергетическую связь: дислокации генерируют напряжения, а напряжения управляют движением дислокаций.

Добавление титана в систему Cu-Nb-Ti усложняет структуру. Ti частично растворяется в меди, обеспечивая упрочнение за счёт твёрдого раствора и влияя на поведение дислокаций. Совместное присутствие Nb и Ti усиливает этот эффект, так как упрочнение зависит от концентрации и взаимодействия легирующих элементов.

Сильная пластическая деформация, включая гидроэкструзию, не только измельчает структуру, но и запускает атомарные процессы – изменение фазового состава, параметров решётки и образование неравновесных фаз. В тройной системе Cu-Nb-Ti такие превращения особенно значимы.

Таким образом, гидроэкструзия выступает катализатором сложных структурных и фазовых изменений. Их анализ требует комплексного подхода: рентгеновской дифракции для изучения фаз и решёток, а также ПЭМ с энергодисперсионной спектроскопией для локального химического анализа. Механические свойства композита – прочность, твёрдость, пластичность – напрямую определяются этой деформационно-индуцированной структурой, что позволяет оценить его функциональный потенциал.

В заключение, композит Cu-Nb-Ti, обработанный гидроэкструзией и пластической деформацией, представляет собой многофакторную систему, свойства которой определяются сложным взаимодействием между морфологией и плотностью границ раздела, развитием кристаллографической текстуры, состоянием дислокационной сети и наличием новых фаз. Введение титана, скорее всего, приведет к формированию более стабильной и сложной наноструктуры, где наряду с Nb интерметаллидные слои Cu-Ti-Nb будут играть важную роль границы. Это позволит достичь уровня прочности при сохранении приемлемого уровня пластичности, открывая широкие возможности для применения

таких материалов в высокотехнологичных отраслях, где требуется сочетание высокой прочности и надежности.

Список литературы

1. Самойленко, З. А. Самоорганизация разномасштабных структурных групп в композите Cu/NbTi под действием пакетной гидроэкструзии / З. А. Самойленко, Н. Н. Ивахненко, Е. И. Пушенко [и др.] // Неорганические материалы. – 2023. – Т. 59, № 9. – С. 972–979. – DOI 10.31857/S0002337X23090129. – EDN ZZGVAB.
2. Самойленко, З. А. Многообразие разномасштабных атомных группировок в композите Cu-NbTi под действием пакетной гидроэкструзии / З. А. Самойленко, Н. Н. Ивахненко, Е. И. Пушенко [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2025. – № 3. – С. 102–110. – DOI 10.31857/S1028096025030161. – EDN EMTPDW.
3. Самойленко, З. А. Процессы самоорганизации структуры в композите Cu₆₀Fe₄₀ при деформационно-термическом воздействии / З. А. Самойленко, Н. Н. Белоусов, Н. Н. Ивахненко [и др.] // Физика твердого тела. – 2014. – Т. 56, № 6. – С. 1186–1190. – EDN SNVYGR.
4. Самойленко, З. А. Разнообразие беспорядка и разномасштабного порядка при вариациях интенсивной деформации меди / З. А. Самойленко, Н. Н. Ивахненко, Е. И. Пушенко [и др.] // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57, № 1. – С. 82–90. – EDN UJMEFT.

УДК 521.11, 313

ЭВОЛЮЦИЯ ОРБИТЫ СПУТНИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ

Исмагилов Р.Г.¹, канд. физ.-мат. наук, доц., ORCID 0009-0005-6469-6291,
Левин К.Л.^{1,2}, канд. хим. наук, доц., ORCID 0000-0002-1050-6609

¹ФГКВОУ ВО «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного», г. Санкт-Петербург, РФ

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург, РФ
ravismagilov@yandex.ru, levinkl@hotmail.com

Введение. Корректировка орбиты спутника – почти неизбежная процедура в современных реалиях, когда в околоземном пространстве одновременно находятся уже тысячи объектов [1,2]. Также корректировка может быть связана с изменением функций спутника. Использование для такого маневра радиальной силы может иметь некоторые преимущества. В этой работе мы исследуем изменение параметров орбиты в результате как кратковременного, так и длительного (по сравнению с периодом обращения) действия радиальной силы.

Цель. Определение эксцентриситета и ориентации большой полуоси эллиптической орбиты, на которую переходит спутник в результате действия постоянной радиальной силы (при включении двигателя).

Основная часть. Задача Кеплера о движении тела под действием центрального гравитационного поля имеет два хорошо известных интеграла движения: полная энергия E

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{\alpha}{r^2}$$

($\alpha=GmM$) и момент количества движения $\vec{L} = [\vec{r}, m\vec{v}]$. Эти величины позволяют определить параметры орбиты: большую и малую полуоси эллипса или параметр эллипса p и его эксцентриситет e . Направление момента количества движения также фиксирует ориентацию плоскости орбиты.

Но есть ещё и третий интеграл движения [3] – вектор Лапласа-Рунге-Ленца

$$\vec{K} = [\vec{v}, \vec{L}] - \frac{\alpha\vec{r}}{r}$$

Этот вектор направлен вдоль большой полуоси эллипса и по модулю равен $|\vec{K}| = \alpha e$.

При малом и кратковременном внешнем воздействии параметры эллиптической орбиты могут меняться, и следить за изменением ориентации его большой полуоси и эксцентриситетом можно с помощью вектора Лапласа-Рунге-Ленца (далее вектор ЛРЛ)

Заметим, что обе действующие силы (гравитационная $\vec{G}$ и сила тяги двигателя $\vec{F}$) центральные, следовательно, момент импульса сохраняется, также остается неизменной плоскость орбиты.

Вычисление производной по времени вектора $\vec{K}$ с использованием уравнений движения приводит к следующему результату:

$$\dot{\vec{K}} = -rF \left(\vec{v} - \frac{\vec{r}(\vec{r}, \vec{v})}{r^2} \right) = -rF \cdot \vec{v}_\phi \quad (1)$$

где $\vec{v}_\phi$ – азимутальная компонента скорости.

Из уравнения (1) получим скорость изменения эксцентриситета:

$$\dot{e} = \frac{1}{\alpha^2 e} \cdot (\dot{\vec{K}}, \vec{K}) = \frac{-rF}{\alpha^2 e} \cdot (\vec{v}_\phi, \vec{K}) = \frac{FL^2}{\alpha^2 em} \cdot v_r \quad (2)$$

где $v_r = (\vec{v}, \vec{r})/r$ – радиальная компонента скорости, m – масса спутника.

Следовательно, максимальное и минимальное значения эксцентриситета достигаются в точках, где радиальная скорость становится равной нулю. В свою очередь, радиальная компонента скорости равна нулю, если расстояние от центра до точки на орбите достигает максимума или минимума.

Уточним, орбита спутника будет эллиптической только после окончания действия силы $\vec{F}$, и только тогда можно говорить о направлении большой полуоси и значении эксцентриситета.

Пусть изначально спутник находится на круговой орбите радиусом r_0 , тогда вектор $\vec{K} = 0$, а квадрат момента импульса $L^2 = \alpha m r_0$.

В результате действия радиальной силы расстояние от центра до спутника возрастает, одновременно растет модуль вектора ЛРЛ, и в точке максимального удаления достигает значения (рис 1, рис. 2)

$$|\vec{K}| = \alpha \frac{1 - \sqrt{1 - 8\gamma}}{2}$$

где γ – отношение радиальной силы к силе гравитации на исходной круговой орбите [4]. Если радиальная сила перестает действовать в этой точке траектории, то далее спутник движется по эллиптической орбите с эксцентриситетом

$$e = \frac{1 - \sqrt{1 - 8\gamma}}{2} \quad (3)$$

Если же радиальная сила продолжает действовать далее (после прохождения точки максимального удаления), то постепенно расстояние до центра уменьшается до радиуса исходной круговой орбиты (рис 3, рис. 4), и в этот момент вектор Лапласа – Рунге – Ленца обращается в ноль. При прекращении действия силы в этой точке траектории спутник возвращается на исходную круговую орбиту. Вопрос о предельной силе, при которой движение спутника ещё остается финитным был рассмотрен нами в [4], где было показано, что в случае круговой орбиты движение будет финитным, если выполняется неравенство $\gamma \leq 1/8$. При таком условии выражение в правой части остается вещественным.

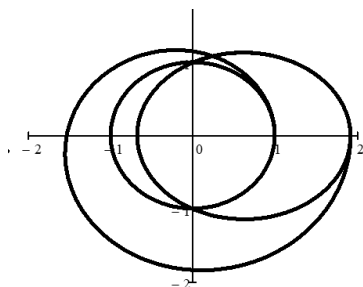


Рис. 1. Начальная (круговая) и конечная (эллиптическая) траектории, а также траектория перехода

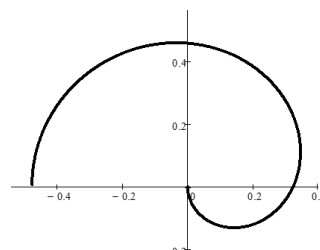


Рис. 2. Годограф вектора ЛРЛ заканчивается в точке максимального значения его модуля

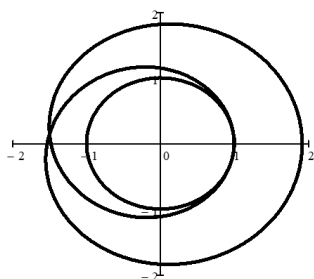


Рис. 3. Уход и возврат спутника на исходную круговую орбиту под действием радиальной силы

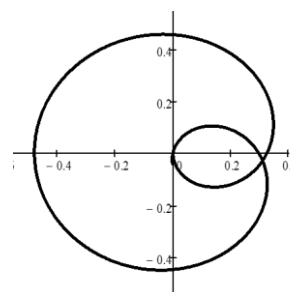


Рис. 4. Годограф вектора ЛРЛ начинается и заканчивается в начале координат

Заключение. Показано, как значение вектора $\vec{K}$ в данной точке переходной траектории определяет форму и ориентацию конечной эллиптической траектории, приведенные примеры показывают, какие манёвры может совершать спутник за счет действия радиальной силы.

Список литературы

1. Вениаминов, С. С. Космический мусор – угроза человечеству / С. С. Вениаминов, А. Червонов. – Москва: ИКИ РАН, 2012. – 192 с.
2. Грудин, Д. В. Методы и практическая реализация уклонений МКС и других функционирующих космических аппаратов от опасно сближающихся с ними объектов / Д. В. Грудин, Е. К. Мельников. – Москва: ИКИ РАН, 2019. – С.176–182.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 1. Механика. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1973. – 208 с.
4. Исмагилов Р. Г. Движение спутника под действием радиальной силы / Р. Г. Исмагилов, К. Л. Левин, Д. В. Рябоконь // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2024. – Т. 17. – № 3. – С. 122–129.

УДК 620.193.1

ХАРАКТЕР ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ И НАНОКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ АМОРФНЫХ МАГНИТОМЯГКИХ СПЛАВОВ Fe-P-Si ПРИ ОТЖИГЕ И ФОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Канныкин С.В., канд. физ.-мат. наук, доц., ORCID 0000-0001-8756-5722,
Попов М.М.

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ
svkannykin@gmail.com

Введение. Разработка недорогих в производстве аморфных магнито-мягких сплавов является актуальной задачей современного материаловедения. Одним из перспективных направлений является создание таких материалов на основе феррофосфора – природнолегированного сырья, содержащего ванадий, марганец, кремний и углерод [1]. Ранее на его основе были получены тройные, четверные и более сложные аморфные сплавы системы Fe-P-Me, склонные к нанокристаллизации [2].

Однако такие сплавы, как и широко известные материалы типа Finemet, нуждаются в защите от коррозии, особенно во влажной промышленной среде, загрязненной SO₂ [3, 4].

Исследования показали, что аморфный сплав Fe₈₂P₁₆Si₂ с низким содержанием кремния (2 ат. %) обладает недостаточной коррозионной

стойкостью по сравнению с Finemet [5]. При этом было установлено, что низкие концентрации кремния (до 2,5 ат. %) не улучшают его защитные свойства [6]. Увеличение содержания кремния является одним из способов повышения коррозионной стойкости, что было продемонстрировано в работах [7].

Цель настоящей работы – изучить структурные особенности кристаллизации аморфных сплавов системы Fe-P-Si с различным содержанием кремния при термическом и фотонном воздействии, а также оценить их свойства.

Основная часть. В качестве образцов были выбраны сплавы $\text{Fe}_{78}\text{P}_{20}\text{Si}_2$ (низкое содержание Si) и $\text{Fe}_{78}\text{P}_{12}\text{Si}_{10}$ (высокое содержание Si).

Шихту для расплава готовили из следующих компонентов: железо чистотой 99,89 мас. %, монокристаллический кремний чистотой 99,9999 мас. %. Фосфор в сплавы вводили в виде лигатуры Fe-15,4 мас. % P, полученной восстановлением феррофосфора.

Аморфные ленты толщиной 30–40 мкм получали методом быстрой закалки из жидкого состояния на вращающемся медном диске со скоростью охлаждения 10^5 – 10^6 К/с в среде аргона. Термическую обработку (отжиг) проводили в вакууме в интервале температур 373–773 К. Импульсную фотонную обработку осуществляли на установке УОЛ.П-1М в вакууме посредством излучения ксеноновых ламп при энергии, поступающей на образец ($E_{\text{и}}$), от 5 до 40 Дж/см². Фазовый состав и структуру сплавов исследовали методом рентгеновской дифрактометрии (РФА). Оценку размера областей когерентного рассеяния (ОКР) проводили методом Селякова-Шерера, степень кристалличности образцов определяли по методу Хуанга. Механические свойства сплавов исследовали методом динамического наноиндентирования. Модули упругости и твердость по Мейру сплавов определяли по методу Оливера и Фарра.

Исходные быстрозакаленные сплавы обоих составов имели полностью аморфную структуру, что подтверждалось наличием диффузного гало на исходных дифрактограммах.

Сплав $\text{Fe}_{78}\text{P}_{20}\text{Si}_2$ (2 ат. % Si). При термическом отжиге кристаллизация начинается при 473 К. В отличие от литературных данных, где первой фазой является α -Fe, в нашем случае первоначально выделяется соединение Fe_3P , что, вероятно, связано с высоким содержанием фосфора. При повышении температуры до 573 К появляются рефлексы метастабильных фаз Fe_2P и Fe_5PSi , а также твердого раствора α -Fe(P, Si). С ростом температуры до 773 К степень кристалличности достигает 94 %, а размер ОКР увеличивается с 35 до 56 нм.

Фотонное облучение с энергией $E_{\text{и}} = 20$ Дж/см² также приводит к кристаллизации с образованием нанокристаллических фаз Fe_3P , Fe_5PSi и α -Fe(P, Si), однако при этом сохраняется около 30 мас. % аморфной матрицы. Увеличение энергии до 40 Дж/см² вызывает практически полную

кристаллизацию с формированием наноразмерных (до 90 нм) кристаллитов.

Сплав $\text{Fe}_{78}\text{P}_{12}\text{Si}_{10}$ (10 ат. % Si). Поведение этого сплава при фотонном облучении принципиально отличается. При энергии $E_{\text{и}} = 20$ Дж/см² происходит выделение только равновесных фаз: $\alpha\text{-Fe}$ и Fe_3P . При этом сохраняется значительная доля аморфной матрицы – около 87 мас. %. При увеличении энергии до 35 Дж/см² фазовый состав не меняется, происходит лишь дальнейшая кристаллизация.

Сравнение двух сплавов показывает, что высокое содержание кремния в $\text{Fe}_{78}\text{P}_{12}\text{Si}_{10}$ стабилизирует аморфную фазу и способствует формированию равновесной двухфазной структуры ($\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{P}$) без образования метастабильных соединений. Сохранение большой доли (87 %) однородной аморфной матрицы после обработки обеспечивает этому сплаву высокую коррозионную стойкость, сопоставимую со сплавом Finemet [7], и высокую прочность химической связи (модуль упругости 137,8 ГПа), соизмеримую с такими сплавами как Metglas 2826 и $\text{Fe}_{85}\text{B}_{15}$.

Закключение. В системе Fe-P-Si при температурах порядка 573 К в исследованном диапазоне составов образуются равновесные фазы $\alpha\text{-Fe}$ и Fe_3P . Методом быстрой закалки получены аморфные сплавы $\text{Fe}_{78}\text{P}_{20}\text{Si}_2$ и $\text{Fe}_{78}\text{P}_{12}\text{Si}_{10}$ с магнитомягкими свойствами, сопоставимыми со сплавом Metglas 2826. Данные сплавы могут быть изготовлены из недорогого природно-легированного феррофосфора. Оба сплава кристаллизуются при отжиге и фотонном облучении. В сплаве с высоким содержанием кремния (10 ат. % Si) образуются равновесные фазы $\alpha\text{-Fe}$ и Fe_3P , в то время как в сплаве с низким содержанием Si (2 ат. %) дополнительно формируются метастабильные фазы Fe_2P и Fe_5PSi . Ключевое различие в процессе кристаллизации заключается в том, что в сплаве $\text{Fe}_{78}\text{P}_{12}\text{Si}_{10}$ после фотонного облучения (20 Дж/см²) сохраняется 87 мас. % однородной аморфной матрицы, в отличие от 30 мас. % в сплаве $\text{Fe}_{78}\text{P}_{20}\text{Si}_2$. Сплав $\text{Fe}_{78}\text{P}_{12}\text{Si}_{10}$ может быть предложен для использования вместо сплавов типа Finemet как более дешевый и коррозионностойкий в промышленной среде материал, не требующий легирования дорогими и дефицитными металлами.

Список литературы

1. Пат.2075871 РФ, МПК 51, МКИ С22С 45/02. Шихта для получения аморфных магнитомягких сплавов / Левинтов Б. Л., Башаева Л. А., Ковнеристый Ю. К., Вавилова В. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН. – Заявл. 18.12.1994; опубли. 20.03.1997.
2. Вавилова, В. В. Область аморфизации в системе Fe-P-Si-V-Mn, стабильность и охрупчивание при отжиге быстрозакаленных сплавов / В. В. Вавилова, Ю. К. Ковнеристый // Неорган. матер. – 1997. – Т. 33. – №6. – С. 707–714.
3. Вавилова, В. В. Сплавы системы Fe-P-Si с нанокристаллической структурой / В. В. Вавилова, Н. А. Палий, Ю. К. Ковнеристый, В. Н. Тимофеев // Неорган. матер. – 2000. – Т. 36. – №8. – С. 945–949.

4. Pazdo, A. Influence of Cr on the corrosion resistance and magnetic properties of amorphous Fe, Si, B Nb Cu in simulated industrial environments / A. Pazdo, E. Otiero, M. C. Marino, M. D. Lopez, Z. M. Vazquez, P. Agudo // J. of Non-Crust. Sol., 2001. – V. 287. – P. 421–427. DOI 10.1016/S0022-3093(01)00636-6
5. Аносова, М. О. Коррозионная устойчивость аморфного сплава Fe P Si в растворе 0,1 М Na SO / М. О. Аносова, Ю. В. Балдохин, В. В. Вавилова, В. М. Иевлев, В.Т. Заболотный, В. П. Корнеев, Д. А. Гаврилов // Неорган. матер. – 2011. – Т. 48. – №10. – С. 1197–1202.
6. Sousa, C. A. C. Crystallization and corrosion resistance of amorphous FeCuNbSiB / C. A. C. Sousa, C. S. Kiminami // J. of Non-Cryst. Solids. – 1997. – V. 219. – P. 155–159. DOI 10.1016/S0022-3093(97)00323-2
7. Вавилова, В. В. Анализ характера фазового равновесия системы Fe-P-Si, нанокристаллизация аморфных сплавов и выбор оптимального состава / В. В. Вавилова, В. Т. Заболотный, В. П. Корнеев, М. О. Аносова // Металлы. – 2015. №2. – С. 68-76.

УДК 678.011

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТОКА НА ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ СЛОЕВ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Киселева Т.Л., ORCID 0009-0008-4540-7556,
Савицкая Ю.А., ORCID 0009-0003-1066-1814,
Харламова К.И., ORCID 0000-0002-3878-415X

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, РФ
tanechka_kiseleva_05@mail.ru

Введение. Аддитивные технологии, такие как 3D-печать, стремительно завоевывают популярность в производстве изделий на основе дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ). Трёхмерная FDM-печать идеально подходит для изготовления сложных деталей, экономя время и ресурсы, что особенно ценно при малых партиях. Главное достоинство ДНПКМ – возможность тонкой настройки свойств конечного материала путем добавления различных наполнителей в полимерную основу. Это делает производство ДНПКМ более рентабельным, чем использование обычных полимеров, что критически важно при росте цен на сырьё и стремлении к снижению себестоимости.

Для эффективного проектирования ДНПКМ необходимы математические модели, учитывающие наличие различных компонентов. На кафедре химии и технологии переработки полимеров и полимерных композитов РТУ МИРЭА была создана обобщённая модель, которая рассматривает полимерную матрицу как совокупность трех компонентов, каждый из

которых выполняет свою функцию. Обобщенный параметр Θ представляет собой свободную полимерную фазу, которая обеспечивает подвижность и равномерное распределение наполнителя. В – обозначает ту часть полимера, которая оказывается недоступной для использования. Наконец, М – это полимер, находящийся в непосредственном контакте с частицами, образуя граничный слой. Эта модель позволяет прогнозировать свойства композита в зависимости от концентрации наполнителя [1, 2].

Содержание дисперсной фазы значительно влияет на структуру ДНПКМ. В зависимости от концентрации твёрдых частиц, структура композита может быть классифицирована на несколько типов: разбавленные системы (РС) с долей свободной полимерной фазы Θ от 0,90 до 1,00; низконаполненные системы (ННС) с Θ от 0,75 до 0,90; средненаполненные системы (СНС-1 и СНС-2) с Θ от 0,40 до 0,75; и высоконаполненные системы (ВНС) с Θ меньше 0,40 [1–3]. Влияние наполнителя на структуру композита определяется не только его концентрацией, но и его физико-химическими свойствами, такими как удельная поверхность, насыпная плотность, размер и форма частиц. Более мелкие частицы с большей удельной поверхностью, например, обеспечивают более высокую прочность композита, но одновременно могут приводить к ухудшению других характеристик, например, текучести [3].

Для проведения точных исследований и минимизации влияния формы частиц на результаты, часто используются модельные наполнители с высокой степенью однородности. Таким образом в данном исследовании были использованы полые стеклянные микросферы МС-ВП-А9 российского производства (НПО «Стеклопластик»). Они характеризуются плотностью 0,36 г/см³ и средним размером частиц 40 мкм. Выбор этих микросфер обусловлен их высокой сферичностью и стабильными характеристиками, что позволяет более точно оценить влияние наполнителя на механические свойства полимерной матрицы. Полимерная матрица, использованная в эксперименте – General ABS POLYLAC PA-757 (Chimei corporation, Тайвань) с плотностью $\rho = 1,05$ г/см³. Использование распространённых материалов позволяет получить надежные и воспроизводимые результаты для дальнейшего развития моделей и методов проектирования ДНПКМ, оптимизируя соотношение цены и качества конечного продукта. Выбор конкретного метода аддитивного производства, например, селективного лазерного спекания или струйной печати, будет зависеть от требований к точности и сложности геометрии получаемого изделия, а также от свойств используемых материалов.

Несмотря на распространённость использования ДНПКМ в FDM-печати, значительной проблемой остаются поры между слоями в изделиях, которые существенно ухудшают комплекс эксплуатационных свойств. Они возникают из-за специфики процесса, и могут быть сведены к минимуму только с помощью оптимизации технологических характеристик процесса

и состава материала. Одним из важнейших параметров для снижения количества пустот является коэффициент потока (flow rate, множитель экструзии), который определяет объём, проходящий через сопло принтера.

Цель работы заключается в исследовании зависимости площади поперечного сечения слоя изделия, полученного методом FDM-печати, от коэффициента потока и количества материала.

В ходе работы провели расчет составов и последующее получение ДНПКМ с тремя различными типами структур: РС, ННС и СНС-1. Смешивание ABS-пластика и полых стеклянных микросфер проводили на двухшнековом экструдере LabTech LZ-80 / VS (производства Labtech Engeneering Co. Ltd., Таиланд), в температурном диапазоне 210-225°C. Затем, на экструдере Scientific (также от Labtech Engeneering Co. Ltd., Таиланд) при 220°C, был изготовлен филамент, предназначенный для 3D-печати. Образцы (бруски, ГОСТ 33693-2015) получили на 3D-принтере Anyform XL250-G3 High-resolution 3D printer (Total Z, Россия).

При подготовке к печати 3D-модели программа (слайсер) нарезает её на слои, которые могут несколько отличаться друг от друга по размерам в определённом диапазоне. Таким образом, при одинаковых заданных параметрах (высота 0,2 мм, ширина 0,4 мм) у центрального (высота 0,2 мм, ширина 0,44, площадь 0,088 мм²) и внешних (высота 0,2 мм, ширина 0,399 мм, площадь 0,0798 мм²) слоёв наблюдаются различия в размерах.

Определение площади сечения образцов проводили путем оптической микроскопии на срезах образца с помощью тринокулярного микроскопа EUM-2002T. С целью исключения деформации слоёв использовался жидкий азот для увеличения хрупкости изделия.

В ходе исследования было установлено, что кривые для площадей внешнего слоя обладают возрастающим характером с выходом на плато при $k_f = 1,05$. Это может быть связано с ограниченными мощностными возможностями оборудования. Определено, что наполнитель не влияет на общую тенденцию изменения зависимостей, следовательно, на размеры слоёв в первую очередь влияет именно коэффициент потока, а корректировка количества наполнителя практически не оказывает влияния.

Заключение. Площадь сечения возрастает от увеличения коэффициента потока и не зависит от добавленных в полимеры наполнителей.

Список литературы

1. Получение и переработка полимерных композиционных материалов с полыми стеклянными сферами и разными типами дисперсных структур / А. Н. Трофимов и др. // Пластические массы. – 2022. – № 11-12. – С. 8–12. – URL: <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2022-11-12-8-12>.
2. Симонов-Емельянов И. Д. Проектирование составов и типов структур литевых дисперсно-наполненных термопластов с хорошей перерабатываемостью и высокой прочностью / И. Д. Симонов-Емельянов, Д. Д. Кречетов, К. И. Харламова // Пластические массы. – 2021. – № 5-6. – С. 10-12.

3. Савицкая, Ю. А. Оптимизация параметров 3D-печати для повышения прочностных свойств изделий на основе полимерных композиционных материалов / Ю. А. Савицкая, К. И Харламова // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции / г.Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет». – 2024. – С. 138-140.

УДК 538.9

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КРИСТАЛЛА PbTiO_3 ПРИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

Кузенко Д.В., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0003-3295-9075,
Бажин А.И., д-р физ.-мат. наук, проф., ORCID 0009-0002-7338-1388,
Удодов И.А., канд. хим. наук, доц., ORCID 0009-0007-3737-7847
ФГБНУ «НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ
danil.kuzenko.84@yandex.ru, anatolybazhin@gmail.com, u_ivan61@mail.ru

Введение. Исследование термодинамического потенциала кристалла при сегнетоэлектрическом фазовом переходе является необходимым для правильного описания аномального поведения физических параметров в окрестностях таких фазовых переходов (диэлектрической проницаемости, теплоемкости, коэффициента теплового расширения и др.) и позволяет учесть внешние воздействия на кристалл, которые могут вызывать изменение энергии и симметрии системы (например, электрического поля, изменения температуры или механического напряжения).

Цель работы – на основе экспериментальных данных по измерению температурных зависимостей диэлектрической проницаемости, теплоемкости, параметров кристаллической решетки, а также петель диэлектрического гистерезиса определить параметры термодинамического потенциала сегнетоэлектрика в окрестности фазового перехода. В качестве примера взят сегнетоэлектрический кристалл титаната свинца PbTiO_3 .

Основная часть.

В феноменологической теории сегнетоэлектриков выражение для полного термодинамического потенциала (Гиббса) имеет вид:

$$G = U - T \cdot S + p \cdot V, \quad (1)$$

где U – внутренняя энергия, T , p , V – термодинамические параметры (температура, давление, объем), S – энтропия [1].

Во внешнем электрическом поле E выражение (1) имеет вид:

$$G_E = U - T \cdot S + p \cdot V - P \cdot E, \quad (2)$$

где P – поляризация сегнетоэлектрика в электрическом поле E [1].

Для нахождения значения G необходимо определить каждое из слагаемых. Так, для определения внутренней энергии U примем, что для сегнетоэлектрика она преимущественно обусловлена наличием сегнетоэлектрических доменов. Тогда, основываясь на работах [2, 3] о температурно-активационном механизме температурной зависимости диэлектрической проницаемости $\varepsilon(T)$ вблизи температуры сегнетоэлектрического фазового перехода, найдем U как энергию активации диэлектрической проницаемости U_ε из выражения:

$$\varepsilon(T) = A \cdot \exp(U_\varepsilon/k \cdot T), \quad (3)$$

где A – коэффициент, k – постоянная Больцмана, T – температура.

Энтропия S находится по известной формуле:

$$S = \int \frac{C(T)}{T} dT \quad (4)$$

где $C(T)$ – экспериментально определенная зависимость теплоемкости сегнетоэлектрика от температуры.

Для вычисления слагаемого $p \cdot V$ необходимо использовать данные рентгеноструктурных измерений параметров кристаллической решетки (осей a , b , c и углов α , β , γ) сегнетоэлектрика при различных температурах. Так, давление p создаваемое кристаллом при деформации его решетки в результате нагревания можно оценить по формуле:

$$p = E_Y \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \right), \quad (5)$$

где E_Y – модуль Юнга, определяемый из измерений скорости звука и плотности сегнетоэлектрика; Δa , Δb , Δc – изменение параметров решетки a , b , c соответственно.

Объем V при таком рассмотрении будет соответствовать объему элементарной ячейки, который также находится экспериментально по методу рентгеновской дифракции.

В случае определения полного термодинамического потенциала во внешнем электрическом поле E дополнительное слагаемое ($W = -P \cdot E$), согласно исследованию [4], является энергией взаимодействия сегнетоэлектрических доменов с внешним электрическим полем. Значение энергии $W_{\max}$, при которой начинаются необратимые изменения доменной структуры сегнетоэлектрика, находится как максимум зависимости $W(E)$, полученной из измерения петли диэлектрического гистерезиса $P(E)$.

Исходя из этого, основываясь на экспериментальных данных по измерению температурных зависимостей диэлектрической проницаемости, теплоемкости, параметров кристаллической решетки, а также плотности и скорости звука сегнетоэлектрического кристалла титаната свинца PbTiO_3 , нами определена температурная зависимость термодинамического потенциала Гиббса по формуле (1) (рисунок). В качестве основного состояния взято состояние кристалла в точке фазового перехода T_C (температура Кюри). Как видно на рисунке, в точке T_C наблюдается максимум термодинамического потенциала. При этом в окрестности

фазового перехода существуют локальные экстремумы, что может свидетельствовать о наличии промежуточных метастабильных состояний, обусловленных наличием дефектов в реальном кристалле и являющихся стопором для доменных стенок при трансформации доменной структуры, вызванной изменением температуры сегнетоэлектрика. Такое поведение также находится в согласии с полученными ранее результатами о наличии критической температуры, предшествующей фазовому переходу, и в которой происходит необратимый распад доменной структуры [2].

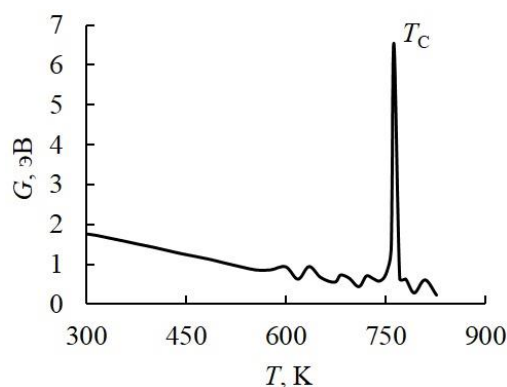


Рис. Температурная зависимость термодинамического потенциала Гиббса (относительно состояния при фазовом переходе) для PbTiO_3 . Расчет по формуле (1)

Заключение. На основании феноменологической теории сегнетоэлектриков и используя экспериментальные данные по измерению температурных зависимостей диэлектрической проницаемости, теплоемкости, параметров кристаллической решетки, а также плотности и скорости звука сегнетоэлектрического кристалла титаната свинца PbTiO_3 получена температурная зависимость термодинамического потенциала Гиббса $G(T)$ (относительно состояния при фазовом переходе). На основе этого на зависимости $G(T)$ установлено наличие как главного максимума, соответствующего точке фазового перехода, так и локальных экстремумов в окрестности фазового перехода, что может свидетельствовать о наличии промежуточных метастабильных состояний, обусловленных наличием дефектов в реальном сегнетоэлектрическом кристалле.

Информация о финансовой поддержке: Исследование выполнено в рамках фундаментальной темы по госзаданию Минобрнауки РФ «Активационные механизмы фазовых переходов в сегнетоэлектрических материалах» (№ 123121500051-7).

Список литературы

1. Смоленский Г. А. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики / Г. А. Смоленский, В. А. Боков, В. А. Исупов, Н. Н. Крайник, Р. Е. Пасынков, М. С. Шур. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1971. – 476 с.
2. Kuzenko D. V. Temperature-activation mechanism of the temperature dependence of the dielectric constant of ferroelectric ceramics PZT / D. V. Kuzenko // Journal of Advanced Dielectrics. – 2022. – V. 12. No. 3. – Art. No. 2250010 – DOI 10.1142/s2010135x22500102. – EDN FADOLF.

3. Кузенко Д. В. Активационный анализ температурной зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков / Д. В. Кузенко // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2024. – Т. 88, № 5. – С. 740–746. – DOI 10.31857/S0367676524050088. – EDN OXGCUB.
4. Кузенко Д. В. Влияние внешних воздействий на активацию доменных границ сегнетоэлектрических перовскитов / Д. В. Кузенко // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2025. – Т. 27. № 2. – С. 251–259. – DOI 0.17308/kcmf.2025.27/12864. – EDN LBYQYF.

УДК 533.922, 533.924, 539.234, 67.02

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУНТ В ПЛЕНКАХ $CN_xEu_yO_z$

Лавренюк А.С.^{1,2}, ORCID 0009-0007-1574-3105, **Недёркин В.В.¹**,

Посыпаев А.А.^{1,2}, ORCID 0009-0000-8259-5498,

Шемченко Е.И.¹, канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0001-9773-9394

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

alina2003626@mail.ru

Углеродные нанотрубки (ОУНТ или МУНТ) применяются для получения разнообразных перспективных композитных материалов. На их основе возможно получить твёрдотельные неохлаждаемые кубиты (NV^- -вакансия), совместимые с современными электронными вычислительными системами. Однофотонные лазеры для кубитов, а также приёмники их излучения можно получить благодаря легированию редкоземельными материалами углеродных нанотрубок. Таким образом, используя углеродные нанотрубки возможно получить твёрдотельные квантовые вычислительные ячейки типа «излучатель-кубит-приёмник», совместимые с современной полупроводниковой электроникой. Свойства нанотрубок зависят от их геометрических характеристик. Следовательно, меняя их во время роста нанотрубок, возможно управлять свойствами композитного материала [1,2].

На стандартных углеродных плёнках обычно можно наблюдать хаотичное расположение нанотрубок [3]. В результате работы [4] было обнаружено линейно-упорядоченное расположение углеродных нанотрубок в плёнках, полученных на модернизированной вакуумной установке ВУП-5М с ДС-магнетроном, выращенных в атмосфере азота ($CN_x:Eu_yO_z$), и легированных оксидом европия, состоящих из плотноупакованных пучков нанотрубок.

Целью работы было исследование геометрических характеристик по выделенным линиям, совпадающим с упорядоченными рядами нанотрубок, в полученном образце (рис.).

Изображения плёнок $\text{CN}_x\cdot\text{Eu}_y\text{O}_z$ [4] были получены методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью зондовой лаборатории NTEGRA Aura. Обработку и анализ АСМ-изображений осуществляли в программе Image Analysis, которая позволяет выделять по заранее заданным параметрам неоднородности на поверхности образца зерна, являющиеся частями нанотрубок, выступающих над сплошной поверхностью пленки. Высота зёрен определяется относительно общего нулевого уровня, т.е. базовой поверхности, ниже которой лежит сплошной слой плотноупакованных нанотрубок.

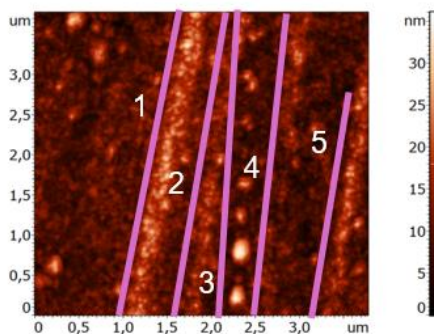


Рис. Вертикальные и горизонтальные линии УНТ на пленке

При измерении геометрических характеристик зёрен по выделенным направлениям выполнялся срез на некотором заданном уровне, определяемом коэффициентом k_{SL} , равным отношению заданной высоты сечения к высоте глобального максимума поверхности плёнки. Вычисленные параметры были получены при $k_{SL} = 0.5$.

В результате работы было определено, что:

- 1) геометрические характеристики углеродных нанотрубок в обнаруженных рядах совпадают с таковыми основной массы нанотрубок в образце;
- 2) упорядоченные ряды в плёнках состоят преимущественно из пучков углеродных нанотрубок;
- 3) ряды углеродных нанотрубок в плёнке являются упорядоченными, что может свидетельствовать о периодическом процессе в плазме ДС-магнетрона.

Список литературы

1. Окунев В. Д. Ионно-звуковые волны и левитация потока частиц в магнетронной плазме: кластеризация плазмы и «замороженные» колебания в пленках $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$ – x / В. Д. Окунев, З. А. Самойленко, Ю. М. Николаенко и др. // ФТВД. – 2024. – Т. 34, № 2. – С. 37-50.
2. Окунев В. Д. Формирование кластеров $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$ в магнетронной плазме при воздействии ионно-звуковой волны на поток частиц / В. Д. Окунев, З. А. Самойленко, Ю. М. Николаенко и др. // Письма в ЖТФ. – 2020. – Т. 46, № 1. – С. 47-51. – DOI: 10.21883/PJTF.2020.01.48865.18044.

3. Окунев В. Д. Две стадии роста кластеров $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$ в магнетронной плазме при модуляции потока частиц ионно-звуковой волной и осаждении его на стекло / В. Д. Окунев, З. А. Самойленко, Н. Szymczak и др. // ФТТ. – 2021. – Т. 63, № 4. – С. 433-451. – DOI: 10.21883/FTT.2021.04.50707.245
4. Шемченко Е. И. Некоторые особенности морфологии поверхности наноструктурных пленок нитрида углерода, легированных оксидом европия / Е. И. Шемченко, И. Я. Лихтенштейн // ФТВД. – 2019. – Т. 29, № 2. – С. 63-72.

УДК 880.3:539.386

ВЛИЯНИЕ РАДИУСА ЗАКРУГЛЕНИЯ КАНАЛА НА ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВЫМ ПРЕССОВАНИИ

Мирошниченко С.В.¹, ORCID 0000-0003-1362-6283,

Гангало А.Н.^{1,2}, канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-5683-1346

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБНУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, РФ

svmiro@mail.ru

Введение. Равноканальное угловое прессование (РКУП) – один из наиболее эффективных методов интенсивной пластической деформации, для получения материалов с однородной ультрамелкозернистой структурой и высоким уровнем физико-механических свойств [1-2]. Для исследования процесса РКУП применяют различные аналитические и экспериментальные методы, а также метод конечных элементов (МКЭ). С применением МКЭ исследовали особенности течения металла [3], неоднородность гидростатического давления [4], изменения скоростей деформации [5] и главных напряжений [6], степени деформаций [7] под влиянием конструктивных факторов процесса РКУП. Однако влияние внешнего радиуса закругления канала матрицы на уровень гидростатического давления на границах зоны пластической деформации (ЗПД) не исследовано. При этом в [5] отмечено, что наиболее интенсивная деформация в материале происходит именно на границе входа и выхода из ЗПД.

Цель данной работы оценить влияние радиуса закругления канала на уровень гидростатического давления на границе входа и выхода из зоны пластической деформации.

Основная часть. Моделирование выполнено с использованием конечно-элементного программного комплекса Deform-2D. Расчет производился без учета массовых сил в предположении о плоской деформации. Смоделировали двумерную заготовку шириной D длиной $5D$. Угол пересечения каналов принят $\Phi=90^\circ$, как наиболее эффективный для измельчения зерна [2]. Соотношения внешнего радиуса R и ширины канала

D меняли в пределах $R = (0,1 \dots 1)D$ с шагом 0,1 (рис. 1а). Коэффициент трения $\mu = 0,1$. Материал заготовки идеально пластическое тело.

Исследование величины гидростатического давления провели на основе перемещения семи контрольных точек, размещенных по ширине заготовки с интервалом $0,125D$ мм. Краевые точки были расположены так, чтобы свести к минимуму воздействие зон концентрации напряжений от стенок модели деформирующего инструмента (рис. 1, б). Оценку данных проводили в пределах ЗПД, границы которой определяли по моменту перехода материала в пластическое состояние при достижении эквивалентным напряжением Мизеса величины напряжения течения материала ($\sigma_{\text{eff}} = \sigma_S$) (рис. 1, в).

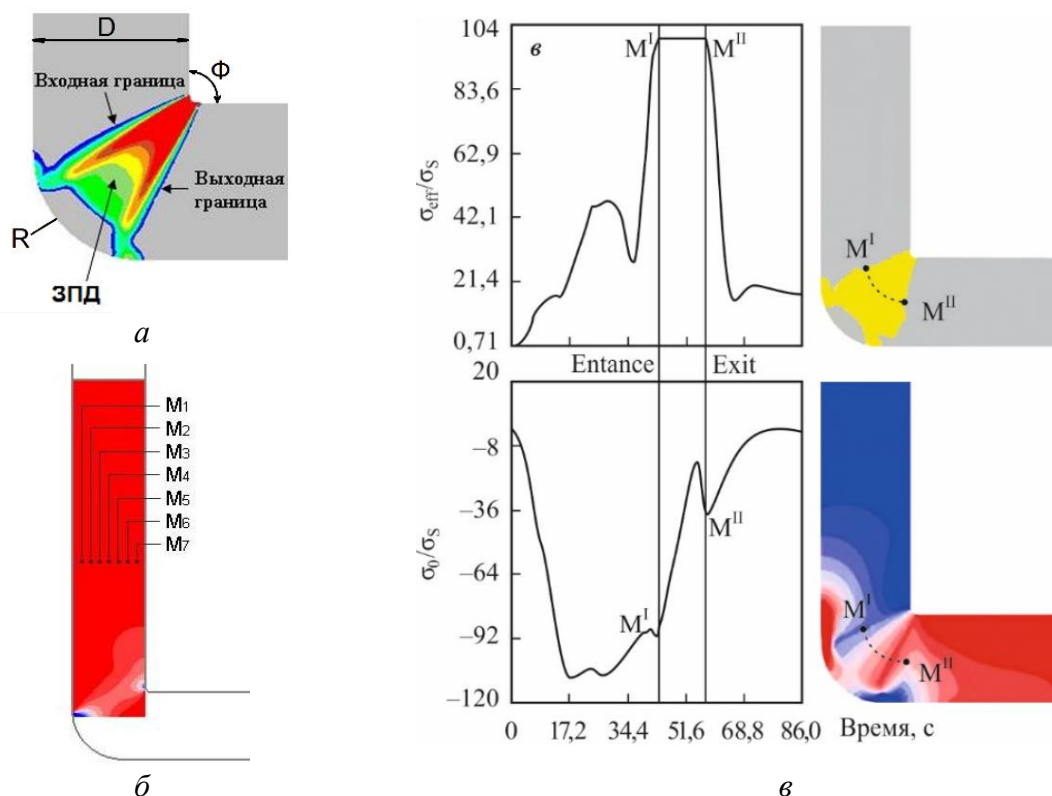


Рис. 1. Иллюстрация метода исследования: а – геометрия ЗПД; б – положение точек на поле гидростатических напряжений в начале расчета; в – фиксация моментов начала и конца регистрации данных изменения гидростатического давления

Влияние относительной величины гидростатического давления p' и уровень его перепада $\Delta p'$ вдоль границ входа и выхода ЗПД внешнего радиуса R представлено на рис. 2. При малых значениях радиуса закругления ($R = 0,1D$) гидростатическое давление однородно и находится на уровне $0,72\sigma_S$ и $0,61\sigma_S$ для входной и выходной границы ЗПД соответственно (рис. 2, а). С увеличением радиуса закругления однородность распределения гидростатического давления снижается, наблюдается его рост на входной границе ЗПД и снижение на выходной. При больших значениях R (рис. 2 б) проявляется действие зоны растягивающих напряжений у внешнего контура канала [6]. Под ее

влиянием значение p' в точке 1 существенно снижаются и для случая $R = D$ опускается практически до нуля, усиливая тем самым разность гидростатических давлений в заготовке у внешнего и внутреннего контуров канала. На границе выхода из очага деформации наблюдается обратный эффект, где разность значений гидростатического давления достигает $1,3\sigma_s$.

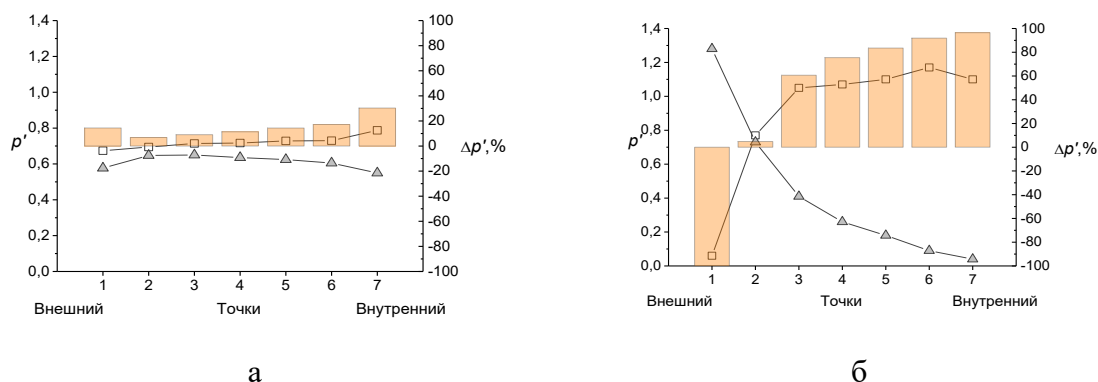


Рис. 2. Относительная величина гидростатического давления p' и уровень его перепада $\Delta p'$ вдоль границ входа ($\square$) и выхода (Δ) ЗПД от внешнего радиуса:
а – $R = 0,1D$; б – $R = D$

Заключение. Повышение радиуса закругления канала с $R=0,1D$ до максимального значения $R=D$ приводит к повышению гидростатического давления на входной границе зоны пластической деформации в среднем на 25% и его снижению на выходной границе более чем на 40%.

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились в рамках государственного задания FREZ-2023-0001.

Список литературы

1. Сегал, В. М. Процессы пластического структурообразования / В. М. Сегал, В. И. Резников, В. И. Копылов и др. – Минск: Навука і тэхніка, 1994. – 232 с.
2. Valiev, R. Z. Ultrafine-Grained Materials / R. Z. Valiev, I. V. Alexandrov, M. Kawasaki, and T.G. Langdon; Springer Nature, 2024. – 170 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31729-3>.
3. Patil Basavaraj V. Study of channel angle influence on material flow and strain inhomogeneity in equal channel angular pressing using 3D finite element simulation / V. Patil Basavaraj, U. Chakkingal, T.S. Prasanna Kumar // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – V. 209. – P. 89-95. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2008.01.031.
4. Гангало, А. Н. Исследование влияния геометрии рабочего канала на гидростатическое давление в процессе равноканального углового прессования / А. Н. Гангало, С. В. Мирошниченко // Вопросы материаловедения. – 2025; (2(122)). – С. 50-61. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2025-122-2-50-61>.
5. Спусканюк, В. З. Влияние условий равноканального углового прессования на скорость деформации заготовок / В. З. Спусканюк, А. Н. Гангало, А. А. Давиденко // ФТВД. 2010. – Т.20, №4. – С. 135-147. EDN: YQYUXQ.
6. Singh, N., Agra wa l M. K., Verm a S. K., Ti wari A. K. A Review on effect of stress and strain distribution on the AA5083 with respect to different channel angle of ECAP //

International Research Journal on Advanced Science. – 2022. – March. – P. 57–66.
<http://dx.doi.org/10.47392/irjash.2022.013>.

7. Zou, Z. Deformation mechanism finite element analysis and die geometry optimization of magnesium alloys by equal channel angular processing / Z. Zou , S. Xu , R. Gao, X. Xu e, et al. // Int. Journal of Simul. Multidisci. Des. Optim. – 2023. – N 14, 15. – P.2–7. URL: <https://doi.org/10.1051/smdo/2023013>.

УДК 621.576

РЕАЛИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ С СОЛНЕЧНОЙ АДСОРБЦИЕЙ РАБОТАЮЩЕЙ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Нетычук А.В., Нетычук В.П.

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаил Туган-Барановского», г. Донецк, РФ

Anddrey901@mail.ru

Солнечная энергия уже давно рассматривается как один из самых перспективных источников возобновляемой энергии, особенно в регионах с высоким уровнем солнечного излучения. Среди различных способов её использования особое место занимает солнечное охлаждение – технология, которая позволяет преобразовывать тепловую энергию солнца в холод. Это особенно актуально для жарких и удалённых регионов, где традиционные системы кондиционирования воздуха либо недоступны из-за отсутствия стабильной электрической сети, либо экономически невыгодны из-за высоких затрат на электроэнергию.

Одним из наиболее эффективных решений в этой области являются адсорбционные холодильные машины. Эти устройства работают на принципе физико-химического процесса адсорбции, когда вещество (адсорбент) поглощает пары хладагента под воздействием тепла, а затем высвобождает их при охлаждении, создавая цикл охлаждения. В отличие от традиционных компрессионных холодильников, адсорбционные системы не требуют электричества для работы компрессора, а используют тепло – будь то солнечная энергия, отходы промышленного производства или даже биогаз. Это делает их идеальными для использования в сельских, пустынных или островных районах, где доступ к электросети ограничен или отсутствует вовсе [1].

По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), эти системы используют физические и химические процессы для производства холода без необходимости в электричестве, что делает их особенно привлекательными для удалённых и жарких регионов, а так же стран Ближнего Востока, Северной Африки и Южной Азии, до 40 % от общего потребления электроэнергии может

уходить на кондиционирование воздуха. Переход на солнечные системы охлаждения мог бы сократить этот показатель на 15–25 %, снизив нагрузку на энергосистемы и уменьшив выбросы CO₂. Например, в Индии и Саудовской Аравии уже реализуются пилотные проекты по внедрению адсорбционных холодильных установок в больницах, отелях и сельскохозяйственных предприятиях, где они демонстрируют энергоэффективность на 30–50 % выше, чем у традиционных систем.

Основной принцип работы таких систем заключается в использовании пары адсорбент/адсорбат, где адсорбент поглощает пары адсорбата при низкой температуре и высвобождает их при нагревании. Одной из самых распространённых пар является активированный уголь и метанол, которые эффективно взаимодействуют в цикле нагрева и охлаждения.

В 2000 году швейцарская компания Hildbrand представила адсорбционный холодильник, работающий на паре силикагель-вода. Этот холодильник был компактным, весил 150 кг и имел объём 100 литров, что делало его транспортабельным. Его особенностью было использование вакуумных панелей для изоляции, что позволяло минимизировать тепловые потери. Важно отметить, что в этой модели был реализован независимый клапан, что позволило исключить необходимость ручного вмешательства в процесс работы. Это было значительным шагом вперёд, так как одна из основных проблем адсорбционных систем – необходимость постоянного контроля и настройки [2].

Сегодняшние исследования заняты созданием полностью автоматизированных адсорбционных холодильных систем, способных работать в условиях жаркого климата, например, в Алжире. Для этого разрабатываются прототипы, которые проходят экспериментальные испытания в лабораториях. Одним из ключевых аспектов является разработка программного обеспечения, которое позволяет рассчитывать необходимые параметры системы: количество активированного угля и метанола, энергетический баланс и конструкцию компонентов. Например, для холодильной системы объёмом 100 литров с толщиной изоляции 10 см суточная интенсивность солнечного излучения в Алжире в июле составляет около 27,966 кДж/м². При наружной температуре 34 °C и температуре внутри холодильника 4 °C программа рассчитывает, что для поддержания заданной температуры потребуется 67,977 Вт·ч/сутки холодильной нагрузки, 10.6 кг активированного угля, 2.86 кг метанола, а также определяет необходимую площадь солнечного коллектора, испарителя и конденсатора. [3]

Прототип адсорбционного холодильника, разработанный в лаборатории, включает в себя несколько ключевых компонентов: солнечный коллектор, конденсатор, испаритель и холодильное отделение. Солнечный коллектор содержит две внешние трубки диаметром 40 мм, внутри которых расположены коаксиальные трубки диаметром 14 мм и длиной 450 мм. Эти трубки покрыты чёрной краской для улучшения

поглощения солнечного излучения и обёрнуты металлической сеткой, которая предотвращает попадание частиц активированного угля в систему, но позволяет парам метанола свободно циркулировать. Внутри трубок находится 630 г активированного угля и 120 мл метанола. Конденсатор и испаритель спроектированы таким образом, чтобы максимально эффективно использовать тепло и холод, производимые системой. Испаритель погружён в воду, которая замерзает во время фазы адсорбции, образуя лёд. Этот лёд затем используется для поддержания низкой температуры в холодильном отделении в ночное время.

Несмотря на все преимущества, адсорбционные холодильные машины пока не получили массового распространения. Одна из главных причин – неполная автоматизация процесса. Большинство существующих моделей требуют ручного вмешательства для переключения циклов нагрева и охлаждения, регулировки потока хладагента или очистки адсорбента. Это усложняет их эксплуатацию, особенно в регионах, где квалифицированный персонал недоступен. Согласно исследованию, проведённому в 2023 году Университетом штата Аризона, около 60 % пользователей адсорбционных систем в сельских районах Африки отмечали, что необходимость постоянного контроля и настройки оборудования является основным препятствием для его широкого использования. Также одной из проблем адсорбционных систем остаётся их прерывистый характер работы. Для решения этой проблемы используется накопитель холода, например, лёд, который тает ночью, отдавая накопленный холод. Моделирование процессов плавления льда показало, что 2 кг льда могут поддерживать низкую температуру в холодильном отделении в течение 4 часов. Это особенно важно для регионов, где солнечное излучение доступно только в дневное время, а ночью требуется сохранять холод.[4]

Экспериментальные испытания прототипов позволяют оценить их работоспособность и эффективность. Термопары, установленные на различных компонентах системы, фиксируют изменения температуры, что помогает оптимизировать конструкцию и улучшить производительность. Например, если начальная температура льда составляет -4°C , то его плавление происходит постепенно, обеспечивая стабильное охлаждение.

В настоящее время ведутся работы по изготовлению и дальнейшей оптимизации адсорбционной холодильной машины в опытном масштабе, чтобы улучшить её эффективность, надёжность и доступность для широкого применения. Такие системы могут стать революционным решением для регионов, где традиционные холодильные установки недоступны или экономически невыгодны, обеспечивая надёжное хранение продуктов и лекарств без зависимости.

Список литературы

1. Ахмед С. М. Адсорбционные холодильные системы: теория, конструкции и применение / С. М. Ахмед, Р. К. Саха; Национальный институт солнечной энергии. –

Нью-Дели: Изд-во «Спрингер», 2021. – 312 с. – ISBN 978-981-16-0000-0. – EDN KLMNOP.

2. Леонтьев А. И. Солнечные технологии охлаждения: принципы и практика / А. И. Леонтьев, М. В. Кузнецов; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Москва: Энергоатомиздат, 2020. – 240 с. – ISBN 978-5-283-03876-5. – EDN QRSTUV.
3. Мармоттант Ж. Солнечный льдогенератор на основе адсорбционных процессов / Ж. Мармоттант // Журнал альтернативной энергетики. – 1991. – Т. 4, № 2. – С. 45–52. – EDN WXYZAB.
4. Хильдбранд К. Автоматизированные адсорбционные холодильные установки: опыт швейцарской компании / К. Хильдбранд // Холодильная техника. – 2001. – Т. 15, № 3. – С. 18–25. – EDN CDEFGH.

УДК 537.312

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SrO})_x$ И $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_x$

Николаенко Ю.М., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0002-1448-4371,

Эфрос Н.Б., Мезин Н.И., канд. физ.-мат. наук, **Мухин А.Б.**

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
nik@donfti.ru

Ранее [1,2], нами был установлен и изучен в зависимости от состава эффект фотопроводимости в керамических образцах $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SrO})_x$. В чистом и слабо легированном оксиде индия эффект мал, но по мере увеличения степени легирования до $x=0.1-0.15$ эффект демонстрирует гигантский рост. Максимальный по величине эффект наблюдается в высокорезистивном состоянии образцов, которое достигается согласованным соотношением уровня легирования и концентрации собственных дефектов в виде вакансий кислорода.

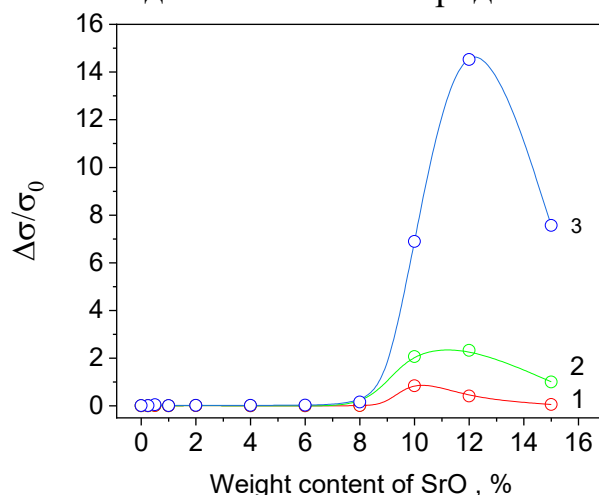


Рис. 1. Зависимость изменения проводимости образцов $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SrO})_x$ под действием излучения RGB светодиодов 1 – красным, 2 – зеленым и 3 – синим светом

Стронций формирует в легированном оксиде индия глубокие акцепторные центры, а вакансии кислорода играют роль мелких доноров. Следует отметить, что концентрацию кислородных вакансий можно изменять в рамках процедуры термообработки образцов в кислород содержащей газовой среде при температуре 300°C без изменения катионного состава, и таким образом формировать высокорезистивное состояние. Физический механизм фотопроводимости, по нашему мнению, обусловлен разномасштабным потенциальным рельефом зоны проводимости, который возникает вследствие близких концентраций акцепторных и донорных центров. Подобные условия ранее были реализованы в классическом полупроводнике GaAs за счет подбора одинаковых концентраций, легирующих донорных и акцепторных примесей [3]. В результате возникало компенсированное состояние полупроводника и проявлялся эффект фотопроводимости [4]. В нашем случае оксидного полупроводника эффект фотопроводимости широкополосный. Он проявляется во всем оптическом диапазоне за счет возбуждения оптическим излучением локализованных в потенциальных ямах электронов на уровень протекания.

В этой работе мы сообщаем о результатах дополнительных экспериментов по воздействию на эффект фотопроводимости влажности и паров нашатырного спирта. Как известно проводимость легированного оксида индия весьма чувствительна к таким воздействиям. Кроме этого приведем аналогичные данные для поликристаллических образцов $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_x$, в которых высокорезистивное состояние достигается при высоком содержания Ga_2O_3 . Поскольку галлий, как и индий, является элементом 3-й группы таблицы Менделеева, то он не создает акцепторных состояний. В результате высокорезистивное состояние достигается при $(x=0.8)$. На рис. 2 и рис. 3 приведены результаты измерений.

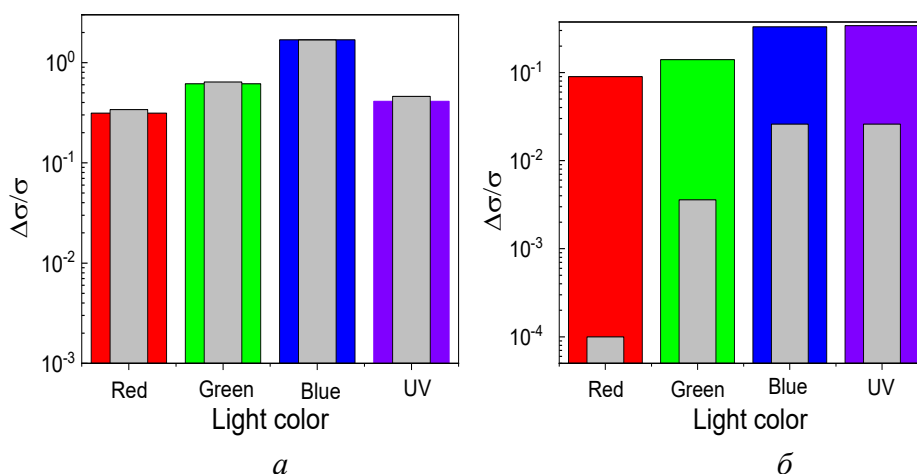


Рис. 2. Изменение фотопроводимости поликристаллов $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.9}(\text{SrO})_{0.1}$ (а) и $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.2}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_{0.8}$ (б) в зависимости от цвета излучения и влажности. Значения, соответствующие повышенной влажности (75 %), показаны серыми столбиками, которые размещены поверх основных цветных, соответствующих влажности 45 %

Как видно из данных на рис. 2 и рис. 3 фотопроводимость образца $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.2}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_{0.8}$ в несколько раз ниже, чем у $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.9}(\text{SrO})_{0.1}$. При этом повышение влажности от 45 % до 75 % снижает эффект на 1-3 порядка величины в зависимости от цвета излучения, а наличие паров нашатырного спирта его полностью подавляет.

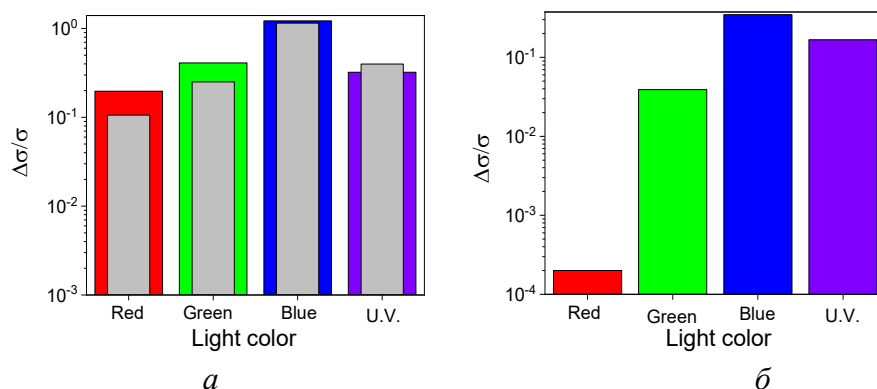


Рис. 3. Изменение фотопроводимости поликристаллов $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.9}(\text{SrO})_{0.1}$ (а) и $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.2}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_{0.8}$ (б) в зависимости от цвета излучения и наличия в ограниченном измерительном объеме паров нашатырного спирта. Серыми столбиками показаны значения фотопроводимости, соответствующие наличию в объеме паров нашатырного спирта

В то же время влияние влажности и паров нашатырного спирта на эффект фотопроводимости $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.9}(\text{SrO})_{0.1}$ относительно мал. Это указывает на различие физических механизмов эффекта фотопроводимости. Если в $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.2}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_{0.8}$ эффект связан непосредственно с поверхностью образца, то в поликристаллическом образце $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.9}(\text{SrO})_{0.1}$ ответственным за фотоэффект является объем гранул и поверхностный слой не оказывает на него существенного влияния.

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились в рамках государственного задания (номер госрегистрации 224020200392-8)

Список литературы

1. Николаенко Ю. М. Широкополосная фоточувствительность сопротивления поликристаллических образцов $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SrO})_x$ в окрестности их высокорезистивного состояния / Ю. М. Николаенко, Н. Б. Эфрос, В. В. Кононенко, В. Д. Окунев // Физика и техника высоких давлений. – 2024. – Т. 34, № 2. – С. 21–27. – EDN LZJXKZ.
2. Николаенко Ю. М. Фундаментальный и прикладной аспекты физических характеристик поликристаллических образцов оксидного полупроводника $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SrO})_x$ / Ю. М. Николаенко, Н. Б. Эфрос, Н. И. Мезин, И. Ю. Решидова // Физика и техника полупроводников. – 2024. – Т. 58, № 8. – С. 448–452. – DOI 10.61011/FTR.2024.08.59204.6794. – EDN ONBMOO.
3. Каражанов С. Ж. Свойства точно компенсированных полупроводников / С. Ж. Каражанов // Физика и техника полупроводников. – 2000. – Т. 34, № 8. – С. 909–916. – EDN RYOIFL.
4. Шкловский Б. И. Электронные свойства легированных полупроводников / Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы [Физматлит], 1979. – 416 с.

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Подсекалова Н.В., ORCID 0000-0001-5809-1396

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Туган-Барановского», г. Донецк, РФ
nadya.efr10@mail.ru

В Российской Федерации функционирует организация «Российская корпорация нанотехнологий», деятельность которой регулируется Федеральным законом №139-ФЗ, принятым 19 июля 2007 года. Термин, связанный с «нано-», можно встретить в более чем полусотне различных нормативных актов. Тем не менее, вопросы внедрения нанотехнологий пока не получили широкого освещения в обществе, особенно в контексте их применения в пищевой промышленности.

В связи с этим, данное исследование сфокусировано на рассмотрении возможностей применения нанотехнологий в сфере производства продуктов питания.

Первой страной, внедрившей официальную процедуру сертификации нанопродуктов, в том числе и пищевых, стал Тайвань в 2005 году, разработав сертификат «Nano Mark». Для получения данного знака соответствия, товары должны отвечать двум ключевым требованиям: размер хотя бы одной частицы основного компонента или добавки должен быть в пределах от 1 до 100 нанометров; и нанопродукт должен демонстрировать качественно новые свойства или улучшенные характеристики благодаря своему наноразмеру, повышая качество, пользу для здоровья, безопасность и профилактику заболеваний.

Нанофильтрация в пищевой обработке представляет собой метод, занимающий промежуточное положение между ультрафильтрацией и обратным осмосом. Наномембраны, применяемые в этом процессе, способны разделять молекулы с массой от 200 до 1000 Да. Данная технология используется для выделения конкретных химических веществ из растворов (например, ферментов из культуральной жидкости). Нанофильтрация в пищевой отрасли представляет собой технологический этап между ультрафильтрацией и обратным осмосом. Наномембраны, используемые в этой методике, способны к разделению элементов с молекулярной массой от 200 до 1000 Дальтон. Применение нанофильтрации обширно: выделение ферментов из культуральной жидкости; удаление биогенных аминов из ферментированных и неферментированных напитков; деминерализация вин, соков, молочной сыворотки; получение питьевой воды; выделение ценных компонентов пищи, например, ксилиты – альтернативного подсластителя для

кондитерских производств. Эффективность данной технологии установлена для получения ценных пищевых ингредиентов, таких как ксилоза – альтернативный подсластитель, который можно использовать в кондитерском производстве. Ксилоза образуется в процессе гидролиза целлюлозы наряду с другими моносахаридами, лигносульфонатами и минеральными веществами, что делает её выделение из гидролизата достаточно сложной задачей [2].

Наночистота подходит и для выделения ценных компонентов пищи, например ксилозы – альтернативного подсластителя для кондитерских производств. Ксилоза образуется вместе с другими моносахаридами, лигносульфонатами и неорганическими веществами при гидролизе целлюлозы, и ее выделение из гидролизата сопряжено с определенными трудностями. Финские исследователи предложили делать это с помощью наночистоты и продемонстрировали успешность работы на наночистящих гидрофильных мембранах *NF270* (*Dow Liquid Separations*, США) *Desal-5 DK*, *Desal-5 DL* (*GE Osmonics*, США) и оказалось, что этот способ наиболее простой и дешевый [2]. Схожие системы предлагаются для устранения лактозы из молочной продукции, а также для удаления бактерий и ферментов в процессе производства напитков.

Создание бактерицидных фильтров возможно путем модификации мембранной поверхности с применением серебряных наночастиц. Эксперименты, проведенные учеными из МГУПП, продемонстрировали, что фильтрация пива через металлокерамические мембраны, обработанные наночастицами серебра, позволяет успешно провести пастеризацию. Также было установлено, что фильтрация водно-спиртовых растворов подобным методом позволяет получить водку с улучшенными вкусовыми качествами.

Уменьшение размеров традиционных пищевых продуктов до наночистоты открывает новые возможности. Созданы наночистоты и эмульсии из широко используемых в питании растений, в частности, зеленого чая, а также нанодисперсий прополиса в форме порошка или таблеток. При уменьшении размера частиц зеленого чая до менее 1000 нм, его антиоксидантная активность увеличивается в сто раз по сравнению с обычным чаем [4,5]. Подобный эффект наблюдается и с микроэлементами, к примеру, с селеном. Организм человека плохо усваивает неорганический селен, поэтому для обогащения пищи необходимо использовать сложные органические соединения этого элемента. Это особенно актуально для регионов с дефицитом селена в почве, таких как Китай и некоторые районы России. В настоящее время разработаны водные дисперсии наночастиц селена, которые хорошо усваиваются организмом [3].

Использование полимерных светодиодов в маркировке продукции имеет место на рынке изготовления пищевых продуктов. В ближайшем будущем ожидается появление инновационных технологий для записи,

визуализации и анализа данных, наносимых на упаковку. Подобные инновации дадут возможность покупателям узнавать больше сведений о товаре.

Разработка передовых загустителей и стабилизаторов текстуры нового поколения. Белковые нанотрубки обладают способностью образовывать гелеобразные структуры, обладающие устойчивостью к растяжению. Гели, созданные с использованием данных загустителей, отличаются прозрачностью и обратимостью, поддающейся контролю.

В нынешних условиях особое внимание уделяется инновационным агротехнологиям, в частности, стимуляции развития сельскохозяйственных культур. В Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН разработаны высокопроизводительные, экологически безопасные регуляторы роста нового поколения с антистрессовым эффектом посредством механохимической обработки растительного сырья. В процессе механического диспергирования древесной коры и рисовых оболочек до наноразмеров формируются нанокомпозиты с увеличенной площадью межфазного контакта. В ходе испытаний с ростка люцерны, нута и рапса и добавление этих составов стимулировало развитие корневой системы, стеблей [6].

Нанотехнологии используются в пищевой промышленности и агротехнологиях, будущее за созданием продуктов питания с заданным химическим составом и сенсорными свойствами. В более отдаленной перспективе нанотехнологии рассматриваются как основа для разработки универсальных интерактивных напитков и блюд: приобретая подобные товары, потребитель, совершив несколько простых действий, сможет менять колер, аромат и даже вкусовые качества продукта.

Список литературы

1. Алешков А. В. Нанотехнологии в пищевой промышленности: возможности и риски / А. В. Алешков // Вестник ХГАЭП. – 2011. – Т. 54. №3. – С. 135–150.
2. Катахира С., Мурамото Н., Мория С., и др. Скрининг и эволюция новой ксилоизомеразы протистов из термита *Reticulitermes speratus* для эффективной ферментации ксилозы в *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Biofuels*. 2017; 10:1–18.
3. Пищевые нанотехнологии: перспективы и риски. Наночастицы в пищевой промышленности / Под ред. А.П. Косована. – М.: ДеЛипринт, 2019.
4. Нанопорошки и нанодисперсии растений. Наноматериалы в пищевой промышленности / Коллектив авторов. – М.: Инфра-М, 2021.
5. Зелёный чай: от традиции к нанотехнологиям / В. И. Глазко, С. А. Степанов. – СПб.: Наука, 2020.
6. Франс В.Х. Камперс. Применение нанотехнологий в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и экологии / Франс В.Х. Камперс // Мир стандартов. – 2007. – №5(16). – С. 42–44.

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОПЛЁНКАХ НА ОСНОВЕ НАНОТРУБОК

Посыпаев А.А.^{1,2}, ORCID 0009-0000-8259-5498, **Лавренюк А.С.^{1,2}**,
Недёркин В.В.^{1,2}, **Петренко А.Г.¹** д-р физ.-мат. наук, проф.,

Шемченко Е.И.², канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0001-9773-9394

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

arseniyuyb3@yandex.ru

Особый интерес представляют углеродные наноплёнки, которые демонстрируют высокую механическую прочность, стабильность и возможность контролируемого изменения структуры. Эти свойства открывают перспективы их применения в микро- и нанoeлектронике, сенсорах, покрытиях и биомедицинских технологиях [1].

Среди различных модификаций углеродных наноматериалов важное место занимают углеродные нанотрубки. Их преимущества заключаются в сочетании высокой электропроводности, значительной удельной прочности и развитой поверхности, что делает их перспективными для создания композитов, энергоёмких накопителей и элементов нанoeлектроники [2,3].

Целью работы является исследование особенностей химических связей в углеродных наноплёнках для установления взаимосвязи между их структурой и функциональными свойствами.

В ходе работы были получены четыре углеродные наноплёнки с использованием установки ВУП-5М, отличающиеся условиями формирования. Для исследования их химического состава были сняты спектры поглощения в инфракрасном (ИК) диапазоне. Измеренные спектры отражают характерные вибрационные моды молекулярных связей, присутствующих в образцах, и позволяют выявить различия в их химической структуре.

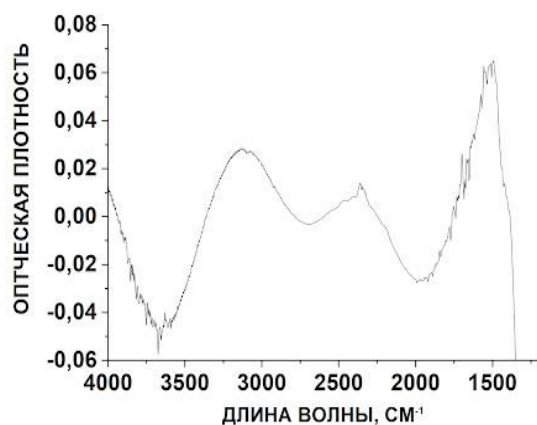
Спектры были обработаны в OriginPro 2021 с разложением кривых на пики через гауссову аппроксимацию, что позволило определить положение и интенсивность полос поглощения и идентифицировать химические связи и функциональные группы в плёнках.

Таблица

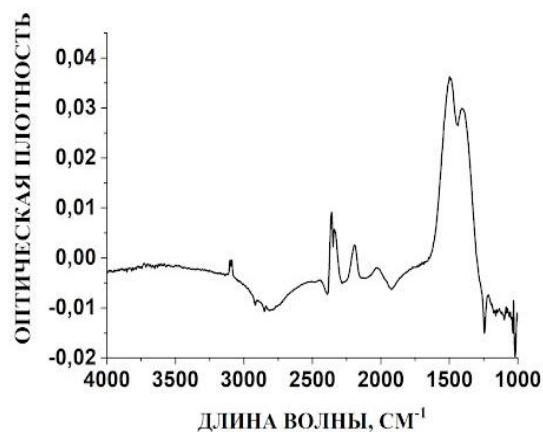
Номер пленки и установленные пики поглощения

Пленка рис 2.	Диапазон (см ⁻¹)			
	до 1000	1000-1500	1500-2500	2500 и более
а		C-N (1392), C=N (1487-1498)	G-зона (1564), C=C (1618), C≡N (2036), -C≡N (2348)	CH (3013), NH ₂ (3212-3230)

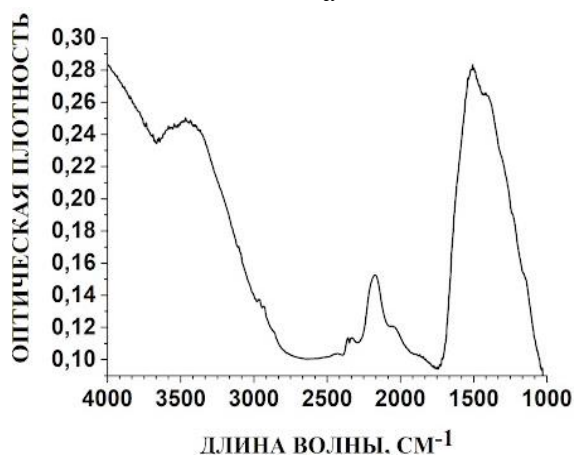
б		C-N (1381)	C=N (1502), C≡N (2347)	CH _x (2762-2801), sp-CH _n (2931), NH ₂ ассим. (3330)
в		C-N (1334)	C=N (1537), C≡N (2054), -C≡N (2265)	sp ² и sp ³ - CH (2978), NH (3422), OH вал. (3509-3574)
г	C-C внепл (669), (C=C)=CH ₂ δ внепл (859), O-O вал (955)	sp ³ - C (1035), C-N (1381)	C=N (1509), C=C sp ² (1662-1678), C=C (1678), -N≡C (2149-2152), N=C=O (2218), C≡N (2335), -C≡N (2363)	



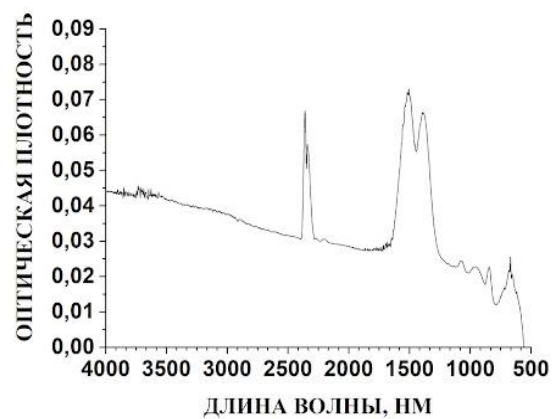
а



б



в



г

Рис. 1. Спектры углеродных пленок полученных при разных условиях

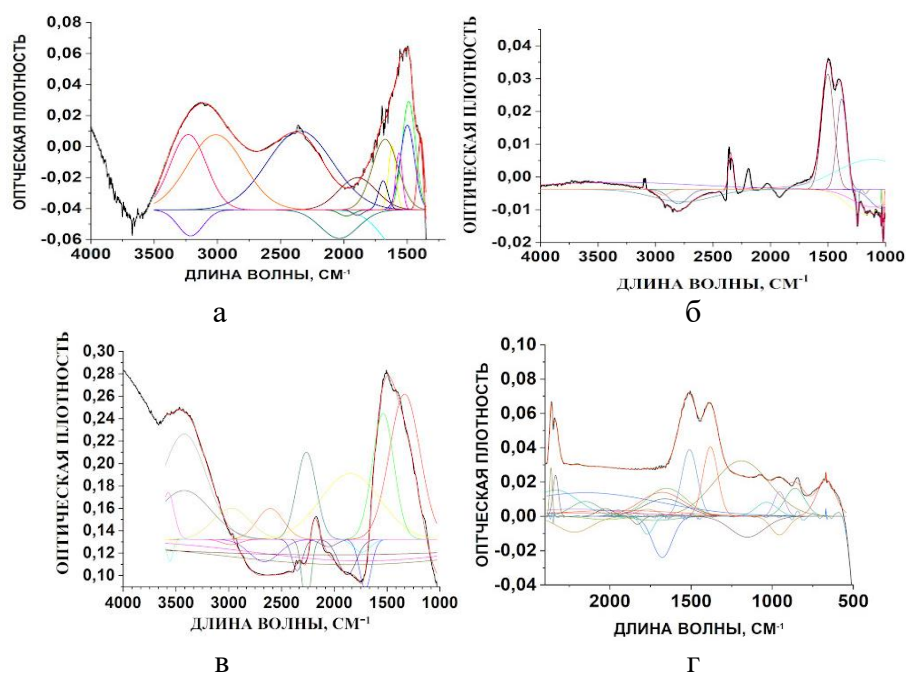


Рис. 2. Спектры пленок разложенные на пики поглощения (гауссианы)

Список литературы

1. Geim A. K., Novoselov K. S. The rise of graphene // Nature Materials. – 2007. – Vol. 6. – P. 183–191.
2. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. – 1991. – Vol. 354. – P. 56–58.
3. Dresselhaus M. S., Dresselhaus G., Avouris Ph. (eds.) Carbon Nanotubes: Synthesis, Structure, Properties, and Applications. – Springer, 2001.

УДК 53.02

ЗАКОН ПАШЕНА КАК СЛЕДСТВИЕ ПОДОБИЯ В КОНВЕКТИВНОМ ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСЕ

Равичев Л.В.¹, д-р техн. наук, доц., ORCID 0009-0007-6031-3112,
Ильина С.И.^{1,2}, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-1706-7792,
Ситников И.А.¹, ORCID 0000-0001-8065-8686,
Ситников А.В.³, ORCID 0009-0000-2151-2636

¹ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»,
г. Москва, РФ

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, РФ

³ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана», г. Москва, РФ
electis@yandex.ru

Введение. В настоящее время для описания процессов, происходящих в гидродинамических системах, созданы математические модели, представляющие собой системы дифференциальных уравнений первого и второго порядка.

В работе [1] авторами был сделан шаг к созданию унифицированной теории выведено уравнение конвективной электропроводности, аналогичное другим уравнениям явлений переноса, т.е. уравнениям Навье-Стокса, Фурье-Кирхгофа, конвективной диффузии.

Цель. Определение места уравнения конвективной электропроводности в теории электропереноса.

Основная часть. В ранее опубликованной авторами работе [1] было выведено уравнение конвективной электропроводности, которое представляет собой частный случай уравнения переноса субстанции для электрического заряда:

$$\frac{\partial \rho_v}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial \rho_v}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial \rho_v}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial \rho_v}{\partial z} = \frac{\sigma}{C_m \rho} \nabla^2 \rho_v = b \nabla^2 \rho_v \quad (1)$$

где ρ_v – плотность заряда, [Кл/м³], ω – скорость, [м/с]; σ – удельная электропроводность, $\left[\frac{\text{См}}{\text{м}}\right]$, C_m – удельная электроемкость (электроемкость, отнесенная к массе среды), $\left[\frac{\text{Кл}}{\text{В*кг}}\right]$; ρ – плотность среды, [кг/м³], b – «коэффициент зарядопроводности», $\left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}}\right]$. Это уравнение имеет очевидное структурное единство с уравнениями переноса импульса (уравнение Навье-Стокса), переноса тепла (уравнение Фурье-Кирхгофа) и переноса массы (уравнение конвективной диффузии). Анализ формата записи уравнений позволяет вывести критерии подобия для каждого из этих процессов.

Рассмотрим еще один критерий подобия описания процессов переноса, а именно закон Пашена, сформулированный им в 1889 году. Этот закон является частным случаем закона подобия газовых разрядов: «явления в разряде протекают одинаково, если при увеличении или уменьшении давления газа во столько же раз уменьшить или соответственно увеличить размеры разрядного промежутка, сохраняя его форму геометрически подобной исходной» [2]. Необходимо отметить, что закон Пашена не является точным, и выполняется тем точнее, чем меньше значения давления и размеры разрядного промежутка.

Закон Пашена, может быть интерпретирован в рамках предлагаемого подхода, как зависимость зарядопереноса от расстояния между зарядами и параметрами среды.

Для уравнения конвективной электропроводности [4] критерий подобия может быть получен стандартными методами анализа размерностей или приведения уравнения к безразмерному виду. Размерность коэффициента зарядопроводности b составляет [м²/с], что идентично размерности коэффициента температуропроводности a и коэффициента диффузии D . Это позволяет ввести для электропереноса критерий подобия (число Пекле), аналогичный критерию для тепло- и массопереноса.

Таким образом, из уравнения (1) непосредственно следует определение безразмерного комплекса – электрического числа Пекле:

$$Pe_q = \frac{\omega l}{b}. \quad (2)$$

Данный критерий характеризует соотношение между скоростями конвективного переноса заряда (ω) и переноса заряда на микроуровне.

Для газовых сред коэффициент b может быть выражен через макроскопические параметры. Учитывая, что $C_m = \frac{C}{m}$ (где C – полная емкость элемента объема), а $m = \rho V$, получим:

$$b = \frac{\sigma}{C_m \rho} = \frac{\sigma}{(C/m)\rho} = \frac{\sigma}{(C/V)} = \frac{\sigma V}{C}, \quad (3)$$

где C_m – удельная емкость, $[\frac{\text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{кг}}]$; V – объем, $[\text{м}^3]$.

Для идеального газа, находящегося в заданном объеме V , применимо уравнение состояния Менделеева-Клапейрона $pV = nRT$. Подставляя, получаем выражение для коэффициента зарядопроводности в газе:

$$b = \frac{\sigma nRT}{C_p}, \quad (4)$$

где n – количество газа, [моль], p – давление, [Па], R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314$ [Дж/(моль·К)], T – температура, [К].

Следовательно, электрическое число Пекле для газовой среды принимает вид:

$$Pe_q = \frac{\omega l C_p}{\sigma nRT} = \frac{\omega C}{\sigma nRT} p l = k_d p l, \quad (5)$$

где $k_d = \frac{\omega C}{\sigma nRT}$ – является постоянным для данной системы и режима ее работы параметром, объединяющим электрические, геометрические и термодинамические характеристики системы. Полученная зависимость прямо указывает на то, что постоянство безразмерного критерия подобия Pe_q обеспечивает подобие электрических процессов в газе, что и является физической сущностью закона Пашена. Эмпирически наблюдаемые отклонения от закона Пашена при высоких значениях $p \cdot l$ могут быть объяснены выходом за пределы применимости модели, например, нарушением линейной связи между плотностью тока и напряженностью поля или необходимостью учета неоднородности поля

Заключение. Предложенный подход открывает новые возможности для моделирования сложных электротехнологических процессов, таких как электрогидродинамические течения, электростатическое распыление и процессы в газоразрядной плазме, а использование электрического числа Пекле позволяет масштабировать результаты лабораторных экспериментов на промышленные установки.

Список литературы

1. Равичев Л. В. Математическое описание электро-массообменных процессов на основе уравнения переноса субстанции / Л. В. Равичев, С. И. Ильина, В. Я. Логинов и др. // Теоретические основы химической технологии. – 2023. – Т. 57. – Вып. 5. – С. 612–616.
2. <https://bigenc.ru/c/zakon-pashena-e08b32> (дата обращения 27.09.2025 г.).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Рыжова Е.Л., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-7984-2558
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, РФ
elena-astanovskaja@rambler.ru

Введение. Использование наноматериалов и нанотехнологий открывает огромные возможности для повышения прочности и долговечности элементов инфраструктуры путевого хозяйства, вагоностроения, мостостроения, изготовления рельсов, колесных пар и других изделий. Наноматериалы способны значительно улучшить механические свойства металлов и композитов, используемых в конструкциях подвижного состава, мостов и других элементов инфраструктуры железнодорожной отрасли, что напрямую влияет на увеличение ее срока службы и надежности. Использование нанокompозитов позволяет улучшать эксплуатационные характеристики рельсов, колесных пар и других деталей, снижая износ и затраты на обслуживание, создавать более легкие, но при этом прочные элементы, что снижает нагрузку на путь и повышает энергоэффективность поездов, открывает возможности для разработки принципиально новых устройств и систем для железнодорожного транспорта [1, 2].

Основная часть. Использование в железнодорожной отрасли нанопорошков в качестве легирующих компонентов для повышения прочностных свойств сталей и в композиционных гальванических покрытиях за счет высокой дисперсности позволяет снизить стоимость производства легированных сталей и покрытий, способствует формированию более мелкого зерна и равномерному распределению легирующих элементов, что приводит к значительному повышению прочности, вязкости и износостойкости. Варьируя состав, размер и концентрацию наночастиц, можно целенаправленно изменять свойства стали и покрытий, адаптируя их к конкретным условиям эксплуатации. Нанопорошки вольфрамо-кобальтового карбида в гальванических покрытиях значительно увеличивают износостойкость деталей, подверженных интенсивному трению (колесные пары, тормозные колодки и т.д.), что приводит к экономии энергии. Применение нанодисперсного перлита увеличивает прочность рельсов и колесных пар, сохраняя необходимую вязкость, что продлевает срок их службы и снижает вероятности поломок, повышает безопасность движения. Использование ремонтно-восстановительных порошков и составов с наночастицами для узлов трения локомотивов и вагонов позволяет снизить затраты на их ремонт и обслуживание, увеличить межремонтный ресурс,

перейти от капитальных ремонтов к профилактике с использованием нанотехнологий и открывает широкие возможности для повышения эксплуатационных характеристик железнодорожного транспорта [3].

Технологии применения самозащитной порошковой проволоки и порошковых лент предоставляют ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами восстановления колесных пар при их износе: облегчают контроль качества процесса наплавки и позволяют оперативно корректировать параметры, упрощают технологический процесс и снижают затраты, обеспечивают более высокую скорость наплавки и, при правильном подборе материалов, позволяет создавать покрытия с улучшенными свойствами, позволяют наносить толстые слои порошковой ленты за один проход, что особенно важно для восстановления сильно изношенных деталей. Технология позволяет получить порошковые смеси наночастиц карбидов, оксидов или других соединений с уникальными свойствами, такими как высокая трещиностойкость и устойчивость к усталостному разрушению, улучшает свойства наплавленного слоя (твердость, износостойкость, коррозионная стойкость) и напрямую влияет на ресурс колесной пары и межремонтный пробег, дает возможность снизить затраты на их обслуживание и ремонт, а также обеспечить безопасность движения поездов.

Восстановление изношенных гребней колесных пар электрошлаковым способом с применением наносодержащих модифицирующих смесей во флюсе снижает остаточные напряжения и деформации, что критически важно для сохранения прочности и долговечности колесных пар, так как высокие остаточные напряжения могут привести к образованию трещин и преждевременному выходу из строя. Наночастицы, введенные во флюс, могут изменить химический состав наплавленного металла, придав ему необходимые более высокие механические свойства (твердость, износостойкость, коррозионная стойкость), что улучшает эксплуатационные характеристики колесных пар, снижает затраты на их обслуживание и повышает коэффициент использования подвижного состава и эффективность работы железнодорожного транспорта в целом [4].

Масштабное применение для повышения эффективности, надежности и безопасности железнодорожного транспорта наноразмерных углеродных фуллереноподобных структур (нановолокна, нанотрубок, графена) для создания покрытий с улучшенными свойствами в узлах трения железнодорожного транспорта позволяет создавать композиционные покрытия с высокой твердостью, коррозионной и износостойкостью. Разработки современных смазочных материалов, способны увеличить срок службы деталей, улучшить и восстановить технические характеристики изношенных механизмов, повысить безопасность и скорость движения поездов, а также коэффициента технической готовности подвижного состава. Для повышения надежности

и увеличение ресурса работы элементов токосъемных узлов электро-транспорта, которые сейчас изготавливаются из меди и ее сплавов, алюминиевых сплавов, низкоуглеродистой графитизированной стали, перспективным направлением является использование углеродных наноструктур, которые могут улучшить технические, механические и электрические свойства наноматериалов в токосъемных узлах [5, 6].

Заключение. Исследования и практическое применение нанотехнологий и наноматериалов для улучшения прочностных характеристик и повышения износостойкости ключевых компонентов инфраструктуры в железнодорожной отрасли представляет собой перспективное направление, способное значительно улучшить эксплуатационные характеристики, безопасность, экономичность и экологичность железнодорожного транспорта, повысить надежность и долговечность узлов локомотивов и вагонов и снизить затраты на ремонт и обслуживание. Учитывая важность и перспективность применения наноструктур и нанотехнологий в железнодорожной отрасли, необходимо включение разделов, посвященных свойствам, характеристикам, технологическим особенностям и конструкционным преимуществам наноматериалов в программы подготовки кадров для работы с этими технологиями в области эксплуатации железнодорожного транспортного комплекса.

Список литературы

1. Недорчук Б. Л. Внедрение нанотехнологий на объектах железных дорог / Б. Л. Недорчук, В. А. Пашинин // Мир транспорта. – 2017. – № 6. – С. 70–78.
2. Алферов Ж. И. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж. И. Алферов, А. Л. Асеев, С. В. Гапонов и др. // Микросистемная техника. – 2013. – № 8. – С. 3–13.
3. Разработка электролита-суспензии на основе железа для получения износостойких покрытий на детали машин, включающего нанопорошок на основе карбида вольфрама / Е. В. Агеев, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VIII Международной научно-технической конференции: в 2 частях, Курск, 28 декабря 2010 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2011. – С. 48-54. – EDN TIYJUT.
4. Трошкин Б. И. Наноматериалы увеличат срок службы бандажей колесных пар / Б. И. Трошкин // Локомотив. – 2011. – №8. – С. 28–29.
5. Данилов А. Российский электронный наножурнал Производство и применение нанопорошков. – URL: <http://www.fabrikamisli.ru/page/140/> (дата обращения: 28.09.2025).
6. Нанотехнологии на рельсах. – URL: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/nanotekhnologii-na-relsakh> (дата обращения: 28.09.2025).

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ СЛОЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ FDM ПЕЧАТИ**

Савицкая Ю.А., ORCID 0009-0003-1066-1814,

Юркин А.А.¹, ORCID 0000-0003-2931-0224

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, РФ
juli.ska@mail.ru

Введение. Широкое внедрение аддитивных технологий (АТ) в промышленное производство открывает принципиально новые возможности для создания сложнофункциональных изделий. Среди различных методов АТ ведущие позиции занимает метод послойного наплавления (Fused Deposition Modeling, FDM), что обусловлено его относительной простотой, доступностью и широким спектром применяемых материалов. Однако потенциал данного метода ограничивается выраженной анизотропией физико-механических свойств изделий, что связано с дискретным характером формирования объекта и сильной зависимостью от множества технологических параметров [1, 2].

Ключевым параметром, определяющим структурную целостность и эксплуатационные характеристики изделий, является высота слоя. Этот параметр существенно влияет на тепломассоперенос в зоне экструзии, кинетику формирования межслойных связей и, как следствие, на прочностные показатели готовой продукции. Оптимизация высоты слоя представляет собой комплексную задачу, требующую компромисса между качеством поверхности, механической надежностью и экономической эффективностью процесса [3, 4].

Особая значимость данной проблемы проявляется при использовании полимерных композиционных материалов с дисперсным наполнением (ДНПКМ). Введение дисперсных наполнителей значительно изменяет реологические свойства расплава и термокинетику кристаллизации полимерной матрицы, что требует пересмотра и адаптации режимов печати, разработанных для стандартных термопластов. Следовательно, необходимы системные исследования синергетического взаимодействия технологического параметра – высоты слоя – и свойств композитного материала.

Цель работы заключается в определении влияния высоты слоя на прочность при растяжении изделий, изготовленных методом трехмерной FDM-печати из дисперсно-наполненного полимерного композиционного материала с пониженной плотностью.

В качестве объекта исследования был использован новый высокомодульный облегчённый ДНПКМ на основе АБС-пластика марки

1525-31 (АО «Пластик», Россия) с ПСМС марки МСВПА9-ФЗ с плотностью $\rho_{\text{сф}} = 0,42 \text{ г/см}^3$ (НПК «ТЕРМ» АО НПО «Стеклопластик им. Н.Н. Трофимова, Россия).

Полученный материал подвергали сушке в течение 1 часа при температуре 80°C и вакууме -0,8 бар в системе осушения Moretto X Dryer XD 20 (Moretto S.p.A., Италия). Экструзия филамента проводилась на одношнековом экструдере Labtech Engineering (Labtech, Таиланд) с диаметром шнека 25 мм, L/D=30, оснащённом двухосевой системой лазерного контроля толщины филамента LST-25/JIB с обратной связью и системой намотки LWU-25 (таблица).

Таблица

Технологические параметры процесса экструзии филамента из ДНПКМ

Параметры процесса экструзии								
ДНПКМ	Температура экструзии по зонам, °C						Скорость вращения шнека, об./мин	Нагрузка, А
	1	2	3	4	5	головка		
АБС +ПСМС	190	220	220	220	220	210	250	74

Действительное содержание наполнителя (13,3 мас. %) определяли методом отжига в муфельной печи БРТ-М при 600°C в течение 3 часов.

Перед FDM-печатью материал сушили при 80°C, вакуум -0,4 бар в течение 3 часов в вакуумном сушильном шкафу для филамента. Образцы типа 5 для испытаний на растяжение (ГОСТ 11262—2017 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение») изготавливали на 3D-принтере TotalZ D5 (ООО «Тоталзед», Россия) при температуре сопла 240°C, температуре стола 110°C, диаметре сопла 0,6 мм и ширине слоя 0,6 мм. Высоту слоя варьировали от 0,15 до 0,35 мм с шагом 0,15 мм.

Прочность при растяжении измеряли по ГОСТ 11262-2017 на универсальной испытательной машине И11М со скоростью 50 мм/мин. Результаты представлены на рисунке.

Определено, что при увеличении высоты слоя до 0,35 мм (58 % от диаметра сопла) прочность снижается примерно на 5 % по сравнению со значениями при меньшей высоте слоя.

Установлено, что на кривых «напряжение-деформация» с увеличением высоты слоя появляется и растёт плато, что свидетельствует о переходе характера разрушения от хрупкого к пластическому. У образцов с большей высотой слоя при растяжении формируется шейка, что указывает на повышенную подвижность макромолекул материала.

Для полного понимания причин выявленных изменений требуются дальнейшие лабораторные и теоретические исследования.

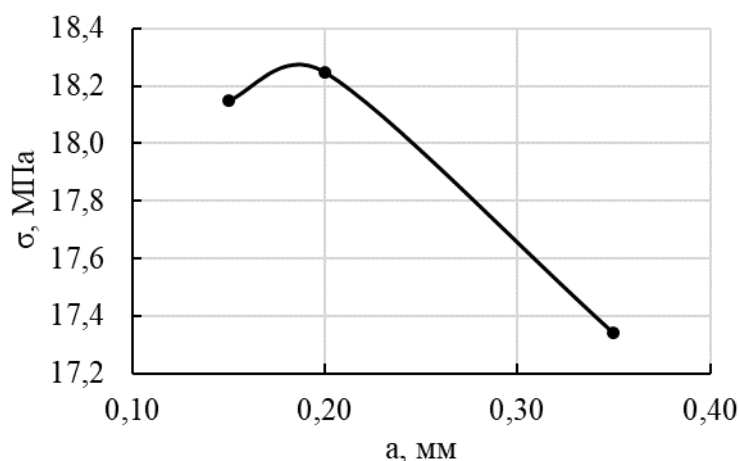


Рис. Зависимость прочности при растяжении изделия на основе ДНПКМ от высоты слоя

Заключение. В ходе исследования установлено, что при производстве изделий методом FDM печати из нового облегченного высокомодульного ДНПКМ оптимальной высотой слоя является 0,2 мм (33 % от диаметра сопла), при которой прочностные характеристики максимальны. При увеличении высоты слоя выше этого значения прочность изделий постепенно снижается. Высота слоя также оказывает существенное влияние на характер разрушения образцов, определяя переход от хрупкого к пластическому поведению.

Работа выполняется в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение от 31.03.2025 № 075-15-2025-020, федеральный проект «Университеты для поколения лидеров» национального проекта «Молодежь и дети»).

Список литературы

1. Смирнов, М. А. FDM-технология: особенности применения, преимущества, недостатки / М. А. Смирнов, Н. О. Рыбкин, О. Л. Ксенофонтова // Проблемы экономики, финансов и управления производством: сборник научных трудов вузов России. – 2021. – № 48. – С. 115-122.
2. Acierno, D. Fused deposition modelling (FDM) of thermoplastic-based filaments: process and rheological properties—an overview / D. Acierno, A. Patti // Materials. – 2023. – V. 16, № 24. – P. 7664-7687.
3. Patel, R. Review on multi-objective optimization of FDM process parameters for composite materials / R. Patel, S. Jani, A. Joshi // International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). – 2023. – V. 17, № 5. – P. 2115-2125.
4. Suniya, N. K. A review on optimization of process parameters of fused deposition modeling / N. K. Suniya, A. K. Verma // Res. Eng. Struct. Mater. – 2023. – Vol. 9, № 2. – P. 631-659.

МАГНИТНОЕ ПОВЕДЕНИЕ МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКОГО СПЛАВА $\text{NiMn}_{0,89}\text{Cr}_{0,11}\text{Ge}$ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сафонов Р.А., ORCID 0009-0004-4548-0842,

Грибанов И.Ф., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0009-0006-5905-2739,

Ковалёв О.Е., ORCID 0009-0009-0472-515X,

Нырков Н.Ю., ORCID 0009-0002-2727-8582

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт имени А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
romansafonov05@mail.ru

Как известно, среди сплавов системы $\text{NiMn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Ge}$, позиционируемых как «зеленые» магнитокалорические материалы, наилучшие функциональные характеристики имеют твердофазно закаленные сплавы, близкие по составу к $\text{NiMn}_{0,89}\text{Cr}_{0,11}\text{Ge}$ [1 и ссылки там]. В этих сплавах имеет место магнитоструктурный фазовый переход первого рода из высокотемпературной парамагнитной фазы с гексагональной кристаллической структурой типа Ni_2In в низкотемпературную ферромагнитную фазу с орторомбической кристаллической структурой типа TiNiSi , который и обуславливает появление гигантского магнитокалорического эффекта (МКЭ) [1, 2].

Установлено, что принятый в литературе метод синтеза таких материалов, включающий твердофазную закалку от температуры гомогенизирующего отжига (850°C) приводит к разбросу температур Кюри в диапазоне примерно $220 < T_C < 280$ К без потери их функциональной эффективности. В настоящей работе получены образцы с пониженной T_C и исследовано влияние давления на магнитоструктурное превращение и связанные с ним магнитные и магнитокалорические свойства в этих образцах. Результаты представлены ниже.

На рис. 1 показаны температурные зависимости намагниченности исследованного в настоящей работе образца с $x=0,11$, снятые в магнитных полях 1,55 кЭ и 9,4 кЭ при давлениях до 12 кбар, а также температурный ход обратной парамагнитной восприимчивости в поле 9,4 кЭ. Как видно, при всех приложенных давлениях наблюдается фазовый переход первого рода из парамагнитного в ферромагнитное состояние, характеризуемый барически зависимым температурным гистерезисом. По результатам измерения $M(T)$ в слабом магнитном поле построена фазовая P - T диаграмма, представленная на рис.2а. Как видно из рисунков 1 и 2а зависимость от давления температур переходов hex(PM)-orth(FM) и при охлаждении и при нагреве образцов является немонотонной, что резко контрастирует с полученными ранее монотонно снижающимися зависимостями $T_C(P)$ для случая более высокой температуры Кюри

(рис. 2b, [2]). Указанные различия связаны, скорее всего, с процессом закалки (т.к. вариации химсоставов невелики) и требуют его контроля.

Температурный ход обратной парамагнитной восприимчивости остается практически неизменным при увеличении давления, что свидетельствует о постоянной величине локальных магнитных моментов магнитоактивных атомов в парамагнитном состоянии с гексагональной кристаллической структурой.

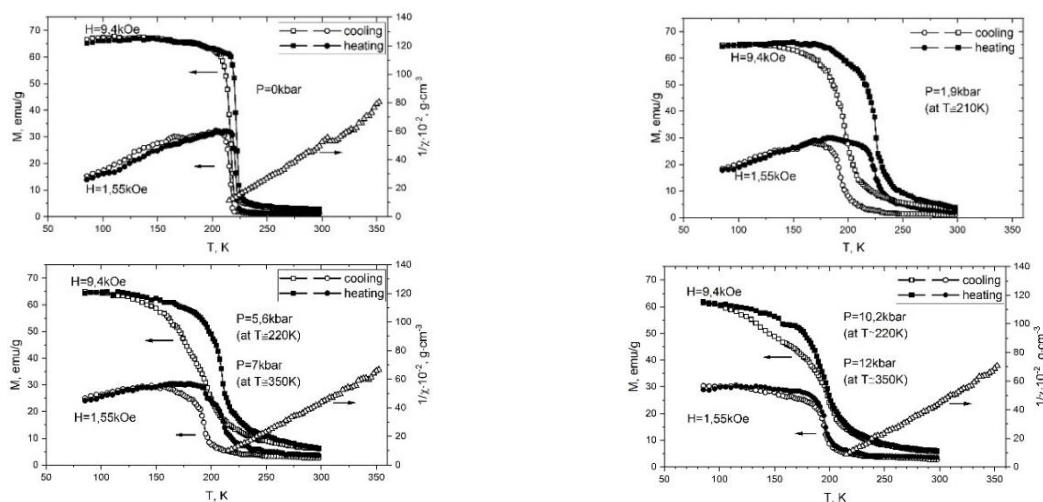


Рис. 1. Температурные зависимости намагниченности и обратной восприимчивости сплава с $x=0,11$ при разных давлениях

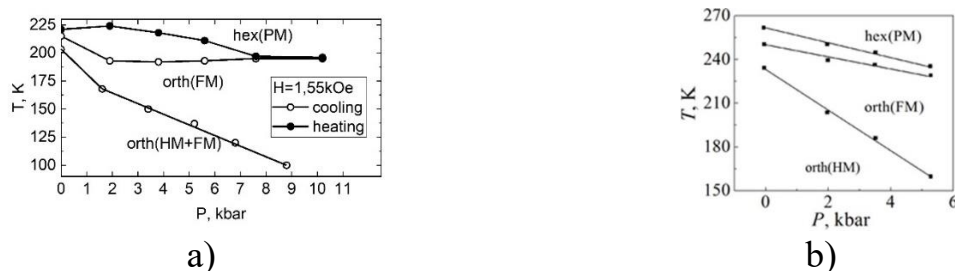


Рис. 2.

а) Фазовая P-T диаграмма исследуемого сплава с пониженной температурой Кюри. РМ, FM, НМ – соответственно парамагнитное, ферромагнитное, гелимагнитное состояния; hex, orth – соответственно гексагональная и орторомбическая кристаллические структуры. б) Фазовая P-T диаграмма сплава $\text{NiMn}_{0,89}\text{Cr}_{0,11}\text{Ge}$ с повышенной температурой Кюри (Взята из работы [2])

В настоящей работе изучены также магнитокалорические свойства исследуемого материала. Результаты показаны на рисунках 3 и 4.

Представленный на рис. 3(б) температурный ход скачка энтропии при намагничивании образца в окрестности фазового перехода определялся стандартным образом с использованием соотношения Максвелла, причем серия изотермических кривых намагничивания получалась при соответствующей обработке серии температурных зависимостей намагниченности, снятых в разных магнитных полях, как показано на рис. 3(а).

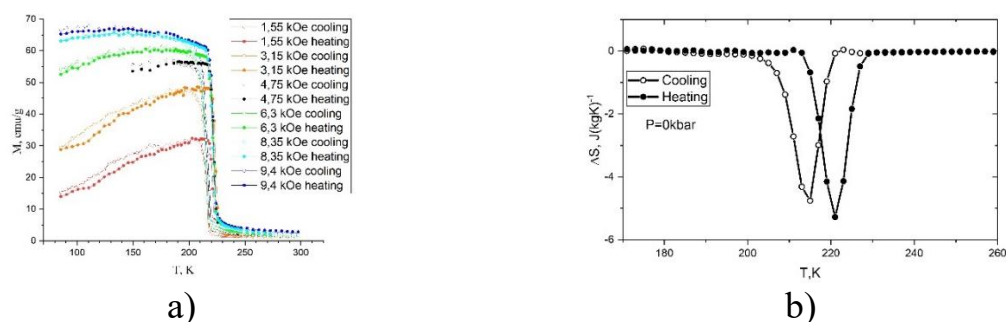


Рис. 3.

- а) Серия температурных зависимостей намагниченности для исследуемого сплава $\text{NiMn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{Ge}$, снятых в разных магнитных полях при атмосферном давлении и нагревании образца. Аналогичная серия получена и при охлаждении образца.
- б) Прямой магнитокалорический эффект в исследуемом сплаве при изотермическом намагничивании в поле $\Delta H=0-9,4$ кЭ

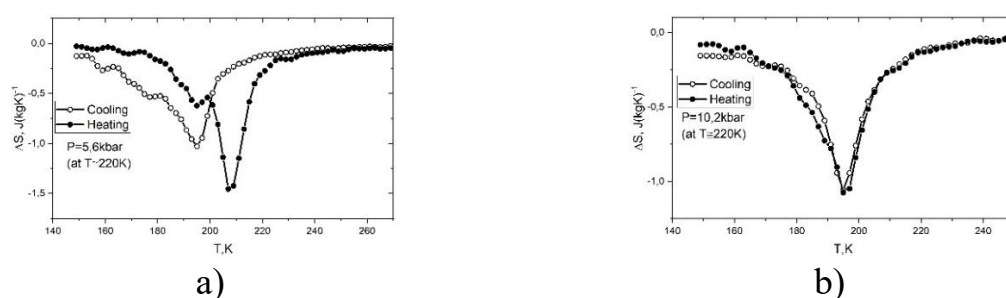


Рис. 4 (а, б) Температурный ход скачка энтропии в процессе изотермического намагничивания исследуемого сплава $\text{NiMn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{Ge}$ в поле $\Delta H=0-9,4$ кЭ при разных давлениях (см. также рис.3(б))

Как видно из представленных результатов исследований, сжатие кристаллической решетки в нашем случае приводит к немонотонному изменению температур Кюри, соответствующих и охлаждению, и нагреву образца, а также к размытию магнитоструктурного фазового превращения, что влечет за собой уменьшение величины МКЭ.

Список литературы

1. Нетривиальные особенности магнитоструктурных фазовых превращений в магнитокалорических сплавах системы $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ ($0 < x < 0.25$) / И. Ф. Грибанов, В. В. Бурховецкий, В. И. Вальков [и др.] // Физика и техника высоких давлений. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 83-95. – EDN BWSZBU.
2. New aspects of magnetocaloric effect in $\text{NiMn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{Ge}$ / T. Jaworska-Gołąb, S. Baran, M. Marzec [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Vol. 385. – P. 1-6. – DOI 10.1016/j.jmmm.2015.02.076. – EDN XMJHMB.

НАНОМАТЕРИАЛЫ В СОЗДАНИИ БИОСОВМЕСТИМЫХ ИМПЛАНТОВ

Сеченева Е.В., Моргунов Н.Р., Судаков Д.Е.

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, РФ
ekaterina48secheneva@mail.ru, morgunov68ru@gmail.com,
sudakov.dima1702@yandex.ru

Современные исследования в области биомедицинской инженерии сосредоточены на разработке новых типов имплантируемых материалов, характеризующихся оптимизированными механическими параметрами и высокими показателями биологической совместимости. Использование классических металлов и полимеров нередко сопровождается развитием воспалительных реакций, преждевременным износом конструкций, формированием бактериальных биопленок и возникновением иммунологических осложнений. Одним из приоритетных путей преодоления указанных трудностей выступает внедрение нанотехнологий, обеспечивающих детальное управление структурными особенностями и функциональными характеристиками биоматериалов на субмикронном масштабе. За последние два десятилетия достижения в сфере нанотехнологий существенно расширили возможности медицинской промышленности, способствуя созданию принципиально новых поколений высокоэффективных имплантатов.

Биосовместимость медицинского импланта определяется его способностью эффективно взаимодействовать с биологическими тканями организма, исключая развитие негативных последствий, включая токсическое воздействие, аллергические реакции и активацию механизмов иммунологического отторжения. Важнейшими аспектами, определяющими уровень биосовместимости, выступают физико-химические свойства поверхностного слоя материала, его молекулярный состав и степень химической инертности. Применение методов управления структурами и функциями материалов на наномасштабе позволяет достичь значительного прогресса в повышении эффективности и безопасности современных медицинских устройств.

Перспективным направлением является разработка биоразлагаемых наноматериалов на основе полимеров (полилактида, полигликолида). Эти материалы со временем распадаются в организме, уступая место естественным тканям, что идеально подходит для временных медицинских изделий, например, рассасывающихся швов или стентов. Включение наночастиц гидроксиапатита или биостекла в такие полимерные матрицы улучшает их механическую прочность и остеоинтегративный потенциал.

Современные имплантаты перестали быть пассивными конструкциями, превратившись в активные системы. Благодаря встраиванию наночас-

тиц, несущих антибиотики, противоопухолевые препараты или факторы роста, имплантаты приобретают способность к локальному высвобождению терапевтических веществ. Это способствует более быстрому заживлению и снижает риск осложнений. Например, полимерные имплантаты с нанокапсулами, содержащими фактор роста сосудистого эндотелия, стимулируют ангиогенез и ускоряют регенерацию тканей.

Отдельного внимания заслуживают наноструктурированные биостекла и керамика, которые обладают уникальными свойствами, значительно превосходящими традиционные материалы благодаря своей наномасштабной структуре. Биостекло, состоящее из оксидов кальция, фосфора и кремния, в наноформе обладает повышенной биоактивностью, что позволяет ему стимулировать процессы минерализации тканей и ускорять восстановление костных структур. Например, увеличенная удельная поверхность наночастиц способствует более быстрому взаимодействию с биологическими жидкостями, что приводит к формированию на поверхности имплантата тонкого слоя апатитного кристаллического материала – важного компонента костной ткани, который играет ключевую роль в процессе регенерации. Такой механизм помогает повысить эффективность процесса остеоинтеграции при использовании имплантатов, сокращая сроки их приживления и снижая риск осложнений. В медицине наноматериалы находят широкое применение в различных областях, таких как ортопедия и стоматология, где они используются для создания высокотехнологичных имплантатов, изготовленных из титана и керамики с наноструктурированными покрытиями, которые значительно ускоряют процессы приживления костных тканей и уменьшают риск отторжения. В кардиологии наночастицы применяются в создании стентов с нанокompозитными покрытиями, что помогает значительно снизить вероятность тромбоза и улучшить проходимость сосудов в послеоперационный период. В нейроинженерии изучается потенциал графена – наноматериала с исключительными электрическими и механическими свойствами – для улучшения интерфейсов между нервной тканью и электронными устройствами, что открывает перспективы более эффективной терапии неврологических заболеваний и разработки нейропротезов. Для имплантатов мягких тканей особенно важны нанополимеры, которые способствуют более активной клеточной адгезии и способствуют снижению воспалительного ответа организма, повышая биосовместимость и долговечность таких имплантов. В целом, развитие нанотехнологий значительно расширяет возможности современной медицины, позволяя создавать более эффективные и долговечные системы для восстановления и замены тканей, а также разрабатывать новые методы лечения сложных заболеваний.

Несмотря на значительные достижения, внедрение наноматериалов сталкивается с трудностями: недостаточная изученность долгосрочной токсичности, отсутствие единых стандартов производства и контроля, проблемы с долговременной стабильностью *in vivo* и высокая стоимость.

Тем не менее, активные исследования позволяют прогнозировать, что наноматериалы станут основой будущей биомедицинской инженерии.

Применение наноматериалов в создании биосовместимых имплантатов открывает принципиально новые возможности для медицины. Нанотехнологии позволяют управлять структурой и функциями материалов на уровне, близком к биологическим системам, что обеспечивает более эффективную интеграцию имплантатов с тканями организма, снижение риска осложнений и повышение срока службы изделий. В перспективе именно наноматериалы лягут в основу создания персонализированных имплантатов, способных сочетать механическую поддержку, терапевтический эффект и высокую степень биосовместимости.

Список литературы

1. Лясникова А. В. Биосовместимые материалы в дентальной имплантологии: учеб. пособие / А. В. Лясникова, Г. А. Воложин; под ред. проф. Н. В. Бекренева. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2006. – 124 с.
2. Гороховский А. В. Развитие нанотехнологий как науки и как индустрии в нашей стране и за рубежом / А. В. Гороховский, А. В. Лясникова // Novus Trend. № 01 (04). – 2011. – С. 22-25.
3. Kokubo T., Takadama H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? Biomaterials. – 2006. – V. 27. No. 15. – P. 2907-2915.

УДК 537.611.3

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУРАХ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ»

Сирюк Ю.А.¹, д-р физ.-мат. наук, проф., ORCID 0009-0001-3406-4948,

Безус А.В.¹, канд. физ.-мат. наук, доц., **Бондарь Е.Д.¹**,

Кононенко В.В.², канд. физ.-мат. наук ORCID 0009-0008-1554-9780

¹ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

²ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

juliasiryuk@gmail.com

Введение. Широко известны неоднородные структуры ферритов-гранатов, т.е. доменные структуры (ДС), разделенные доменными стенками. Доменные стенки, в свою очередь, являются неоднородными структурами, в которых происходят изменения ориентации спинов от направления спинов в одном домене к направлению спинов в соседнем домене. Определение механизма фазовых переходов актуально как для фундаментальной науки, так и в прикладном плане.

Особенности доменных структур могут быть использованы в разных областях науки: в микроэлектронике и спинтронике – запись и хранение информации на доменах и/или спинах; в медицине – направленная

транспортировка биологических частиц, т.е. локальное лечение; в химии – сортировка частиц по их размерам. К тому же, при создании микроустройств можно совместить указанные области применения.

Цель работы – показать объём исследований, выполненных за годы работы научной школы, и актуальность этих исследований.

Научная школа основана в 1986 году на основе экспериментальных исследований и на теоретическом моделировании полученных результатов, выполненных в Донецком физико-техническом институте им. А. А. Галкина и в Донецком государственном университете. За годы работы научной школы защищено 6 кандидатских диссертаций и 2 докторские диссертации. Не смотря на тяжелую обстановку, связанную с военными действиями в нашем регионе, научные исследования продолжаются. Подготовлены материалы для кандидатской диссертации и одной докторской диссертации.

Основная часть. Кратко результаты можно сформулировать следующим образом.

Разработан метод создания в магнитных пленках ферритов-гранатов равновесных ДС, которые являются устойчивыми, но не равновесными в определенном интервале температур и магнитных полей. Такие ДС создаются при воздействии импульсного монополярного магнитного поля, перпендикулярного плоскости пленки. Исследованы следующие ДС: решетка ЦМД, страйп-домены, неупорядоченные ЦМД-структуры с различной степенью порядка, сотовые домены, спиральные домены с числом витков $N > 50$, решетки спиральных доменов. Для интерпретации эксперимен-

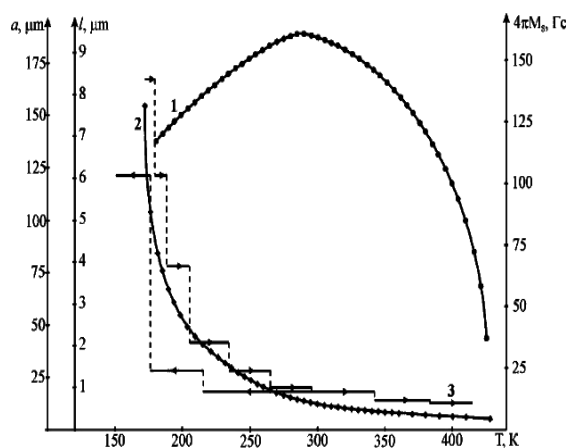


Рис. 1. Температурные зависимости характеристик пленки состава $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$: 1 – намагниченность насыщения; 2 – характеристическая длина; 3 – период решетки ЦМД

тальных результатов впервые используется магнитостатическое давление ДС как производная магнитостатической энергии доменной структуры по ее объёму.

Показано, что в регулярных ДС (решетка ЦМД и сотовая ДС) спонтанные ФП первого рода с сохранением числа частиц (доменов) и с изменением их числа (коллапсированием) определяются магнитостатическим давлением структуры и знаком изменения энергии доменных границ (ДГ) с температурой. Последняя характеристика определяет наличие гистерезиса при ФП, т. к. от знака dl/dT (l – характеристическая длина)

зависят условие роста объема «новой» фазы и интервал устойчивости исходной фазы. В качестве примера приведены рис. 1 и рис. 2 пленки состава $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$. При изменении температуры в решетке

ЦМД происходят ФП первого рода: при охлаждении – с уменьшением числа доменов (рис. 2Б); при нагревании – в двухфазную структуру с сохранением числа доменов (рис. 2В) [1].

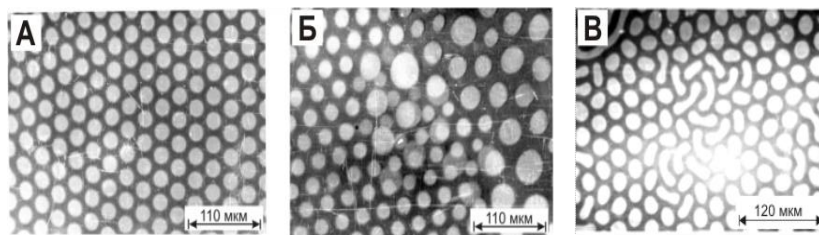


Рис. 2. Решетка ЦМД при разных температурах, К: А-300, Б-215, В-332

Обнаружено, что структура ДГ очень чувствительна как к температурному изменению параметров пленки, так и к действию магнитных полей. Показано, что фазовые переходы в ДГ вызывают ФП в доменной структуре. Механизм ФП в доменной границе при нагревании и охлаждении имеет существенные отличия. Число вертикальных блоховских линий (*ВБЛ*) в ДГ уменьшается при нагревании путем аннигиляции, а при охлаждении – путем раскручивания [1].

Исследован механизм спин-переориентационных фазовых переходов (СПФП) в пленках со смешанной анизотропией. Теоретически и экспериментально показано, что в пленке с сильной одноосной анизотропией происходит СПФП 1-го рода путем зародышеобразования «новой» угловой фазы на ДГ исходной осевой фазы. В многодоменном образце две фазы сосуществуют в некотором температурном интервале. При этом между «новой» и «старой» фазами визуально не существует границы.

В пленке с малой одноосной анизотропией происходит СПФП 2-го рода из одной угловой фазы в другую угловую фазу путем переориентации магнитного момента всего домена в энергетически более выгодное состояние. ФП происходят в доменных границах и, как следствие, внутри домена.

В двухслойной пленке, имеющей в одном из слоев точку магнитной компенсации (T_C), ФП в ДС происходит путем поворота вектора намагниченности в одном из слоев под влиянием подмагничивающего поля другого слоя.

Экспериментально показано, что спиральные домены с большим числом витков стабилизируются окружающей их решеткой ЦМД, а также окружением других спиральных доменов (в решетке спиральных доменов), что связано с равенством магнитостатических давлений этих фаз. Поэтому ФП в сосуществующих доменных структурах взаимосвязаны (рис. 3).

Изучена неупорядоченная ЦМД-структура: кластерная, аморфная и ячеистая. Показано, что «эффект памяти» и температурный интервал устойчивости доменной структуры зависят от степени неупорядоченности ДС и структуры доменных границ.

Выводы. В процессе работы научной школы решена проблема моделирования фазовых переходов в твердых телах, определены закономер-

ности и особенности фазовых переходов на визуально наблюдаемых благодаря эффекту Фарадея доменных структурах. Экспериментальные и теоретические исследования особенностей доменных структур магнито-одноосных пленок ферритов-гранатов являются достоянием науки. С развитием технического прогресса появляется возможность использования этих исследований в разных областях науки.

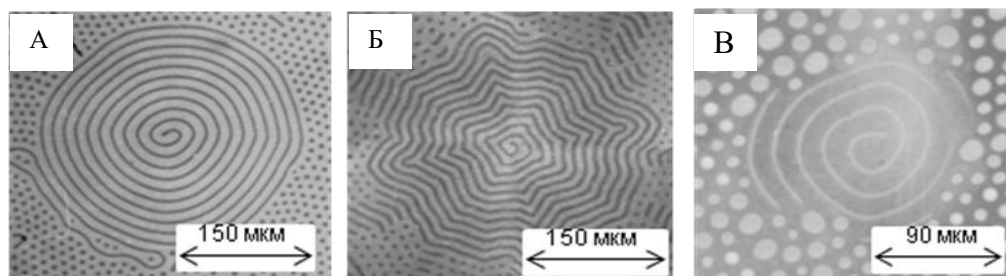


Рис. 3. Фазовые переходы в спиральном домене: А-300 К, Б-347 К, В-215 К

Список литературы

1. Сирюк, Ю. А. Особенности доменных структур в феррит-гранатовых пленках с точкой компенсации и спиновой переориентацией: специальность 01.04.11 «Магнетизм»: автореф. дисс. на соискание уч. степени докт. физ.-матем. наук / Сирюк Юлия Андреевна. – Донецк, 2009. – 35 с.

УДК 53.06

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕРАГЕРЦОВОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКТРОГРАФА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАДАЧАМ

Ситников И.А.¹, ORCID 0000-0001-8065-8686,

Ситников А.В.², ORCID 0009-0000-2151-2636,

Равичев Л.В.¹, д-р техн. наук, доц., ORCID 0009-0007-6031-3112,

Ильина С.И.^{1,3}, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-1706-7792,

Сальникова Л.С.¹, ORCID 0009-0006-8780-8740

¹ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», г. Москва, РФ

²ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Москва, РФ

³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, РФ
electis@yandex.ru

Введение. Спектрография (спектроскопия), как способ разложения полихромного электромагнитного излучения на монохромные составляющие и фиксация последних в графическом или аналитическом формате,

применяется довольно широко. Для того, чтобы возбудить электромагнитное излучение, исследуемый образец либо нагревают, либо подвергают облучению. Диапазон частот при облучении зависит от предполагаемого химического состава образца и от его агрегатного состояния.

Таким образом, образец подвергается внешнему воздействию, которое изменяет его электрохимические характеристики (электропроводность, степень ионизации, статический заряд, кристаллическую структуру и т.д.). Это ограничивает сферу применения таких измерительных устройств, например, в микроэлектронике, нанотехнологических системах, медицине. Поэтому перспективным видится использование в спектрографах терагерцового излучателя, который оказывает минимальное воздействие на исследуемый образец.

Цель. Исследовать работу терагерцового лазерного спектрографа с точки зрения его оптимального использования в различных технологиях.

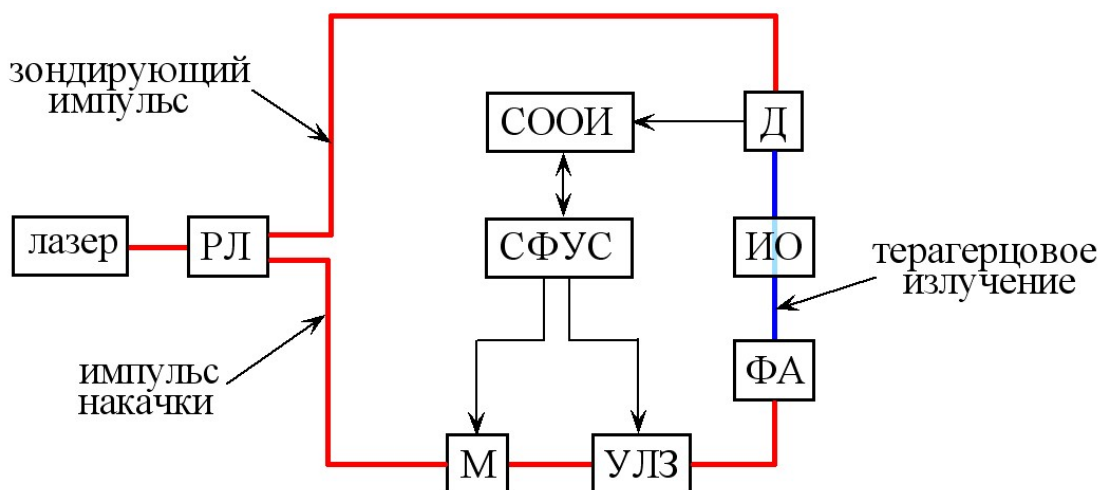
Основная часть. Привлекательность использования терагерцового излучения заключается в том, что излучение в диапазоне от $0.1 \cdot 10^{12}$ до $3.5 \cdot 10^{12}$ Гц не является ионизирующим. Этот диапазон излучения расположен между микроволновой и оптической областями электромагнитного спектра и его фотоны не обладают достаточной энергии, чтобы выбить электроны из атомов и молекул. При этом волны терагерцового излучения стимулируют молекулярные и электронные движения во многих материалах, а, следовательно, проходя или отражаясь от исследуемого образца ткани, могут нести информацию о его химическом составе и форме [1].

Волны терагерцового диапазона могут проникать в диэлектрические материалы, такие как сухая древесина или пластик, и отражаться от материалов со свободными электронами, т.е. проводников, а также поглощаться молекулами с определенными уровнями вибрации в пределах терагерцового диапазона.

Терагерцовый спектрометр имеет свою специфику применения. Особенно он эффективен при определении количества жидких фракций в составе материала исследуемого образца. Это обусловлено тем, что, например, вода в жидком агрегатном состоянии интенсивно поглощает электромагнитное излучение в терагерцовом диапазоне. Так слой воды в 200 мкм ослабляет поле на частоте 1 ТГц на порядок, а слой в 1 мм непрозрачен во всем терагерцовом диапазоне [2, 3].

Блок-схема терагерцового спектрометра может быть представлена в следующем виде (рис.).

На рис. обозначено: РЛ – разделяющая линза; М – модулятор; УЛЗ – управляемая линия задержки; ФА – фотопроводящая антенна; ИО – исследуемый объект; Д – детектор; СООИ – схема обработки и отображения информации; СФУС – система формирования управляющего сигнала.



Заключение. В связи с тем, что терагерцовое электромагнитное излучение не является ионизирующим, и, следовательно, его применение является целесообразным и перспективным. При этом терагерцовое излучение стимулирует молекулярные и электронные движения во многих материалах, что позволяет использовать системы терагерцового излучения в качестве анализатора спектрального состава облучаемого материала, а, также дать информацию о форме исследуемого образца и его внутренней структуре.

Когерентная терагерцовая спектроскопия во временной области, обеспечивающая сверхширокую частотную полосу и высокое разрешение по времени, позволяет исследовать состав, электронные и колебательные свойства твердых тел, жидкостей и газов, плазмы и плазмоподобных сред, потоков. Все вышесказанное делает перспективным использование терагерцовых измерительных систем при исследовании биологических и химических агентов, загрязнений, контроля качества продуктов питания и медикаментов, для распознавания изображений скрытых объектов и т.д.

1. Царев М. В. Генерация и регистрация терагерцового излучения ультракороткими лазерными импульсами: Учебное пособие / М. В. Царев. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011.
2. Крюков П. Г. Лазеры ультракоротких импульсов и их применения / П. Г. Крюков. – Долгопрудный: Интеллект, 2012. – 248 с.
3. Александров М. Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика) / М. Т. Александров. – М.: Техносфера, 2008. – 584 с.

ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ЛЕГИРОВАНИЯ МАРГАНЦЕМ НА СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТА ВИСМУТА: ПО ДАННЫМ ДТА И МАГНИТОМЕТРИИ

Тарасенко Т.Н., канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр., *Шевелёва А.В.*,
Сафонов Р.А., *Наймушина Д.Е.*, *Волкова Г.К.*, *Бурховецкий В.В.*,
Ткаченко В.М., канд. физ.-мат. наук, *Потапская О.Н.*

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
t.n.tarasenko@mail.ru, catdog040205@gmail.com

Феррит висмута BiFeO_3 занимает центральное место среди других известных мультиферроиков, в котором при комнатной температуре могут сосуществовать антиферромагнитное (АФМ) и ферроэлектрическое упорядочения [1]. Хорошо известно, что BiFeO_3 обладает циклоидной структурой, когда размер частиц превышает шаг циклоиды – 62 нм. В результате усреднения циклоидной структуры за период возникает слабоферромагнитный (СФМ) момент. Легирование, как правило, считается эффективным способом подавления циклоиды и проявлением ферромагнитных свойств замещенного феррита висмута.

Из-за высокой диффузионной активности ионов Bi^{3+} синтез составов со свойствами мультиферроиков на основе BiFeO_3 часто сопровождается образованием примесных фаз типа силленита или муллита. Это происходит по следующему сценарию: взаимодействие оксидов висмута и железа идет путем диффузии висмута в оксид железа, ионы Bi^{3+} , имеющие на внешней электронной оболочке стереохимически активную $6s^2$ электронную пару, обволакивают частичку оксида железа Fe_2O_3 и образуют молекулу силленита $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$. Чтобы предотвратить потери висмута в примесных фазах при синтезе, необходимо использовать исходные компоненты в наноразмерном состоянии. Поэтому лучшим способом получения составов замещенного феррита висмута $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ является золь-гель синтез [2,3], основным преимуществом которого является высокая степень гомогенизации исходных компонентов.

Рентгенодифрактограммы образцов твердых растворов системы $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$) ($x=0$; 0.02; 0.04; 0.08 и 0.10), синтезированных золь-гель методом, свидетельствуют о том, что все образцы имеют ромбоэдрически искаженную структуру перовскита (пр. гр. $R3c$). Однако постепенное слияние некоторых расщепленных рефлексов свидетельствует о том, что с ростом содержания Mn^{3+} в структуру образцов вносятся искажения орторомбического типа (пр. гр. $Pbnm$) [2].

Из результатов изучения морфологии поверхности излома образцов $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$) следует, что для всех составов характерны неоднородности формы и размеров зерна (рис. 1). Во всех образцах

наблюдается межзёрная пористость, но наиболее высока она у «чистого» BiFeO_3 вследствие эффекта Киркендалла [4], который возникает из-за разницы в скорости диффузии составляющих элементов BiFeO_3 .

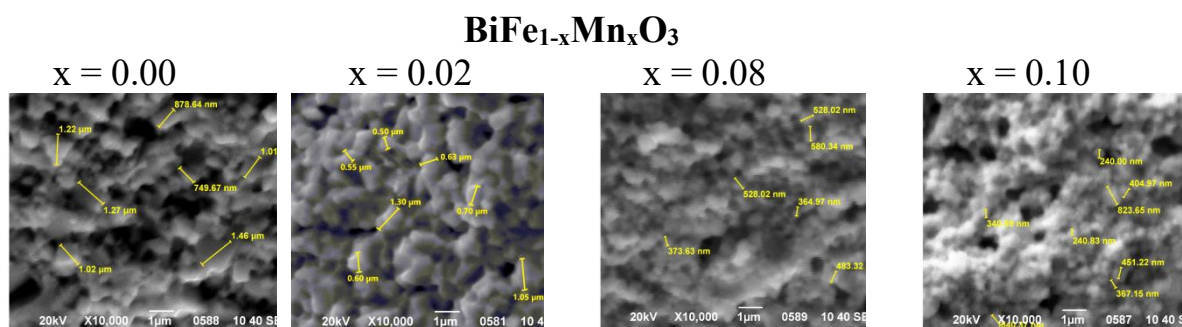


Рис. 1. Морфология поверхности излома образцов $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$, синтезированных золь-гель методом

С увеличением содержания марганца эволюция микроструктуры образцов проявляется не только в уменьшении пористости образцов и увеличении их плотности, но и в уменьшении среднего размера зерна от $d_{\text{ср.}} \approx 500$ нм (для BiFeO_3) до примерно $d_{\text{ср.}} \approx 400$ нм (для $\text{BiFe}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_3$) (рис. 1). Уменьшение $d_{\text{ср.}}$ и пористости образцов объясняется тем, что присутствие марганца в составах $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$) подавляет высокую диффузионную активность ионов Bi^{3+} , что приводит к ослаблению эффекта Киркендалла.

На рис. 2 показаны полевые зависимости удельной намагниченности $M(H)$ для составов $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$) во внешних полях от 0 до $H = 9.7$ кОе [2]. В диапазоне комнатных температур при малых H для всех составов наблюдаются множественные перегибы и пресечения на кривых $M(H)$. Они не могут быть отнесены к фазовому переходу 2-го рода парамагнетик-АФМ, но свидетельствуют о том, что магнитная неоднородность и слабое взаимодействие типа Дзялошинского-Мория (ДМ) могут быть причиной сосуществования СФМ и АФМ фаз.

Проведенный дифференциальный термический анализ (ДТА) выявил во всех полученных составах $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$) наличие уширенных максимумов как на ветвях нагрева, так и на ветвях охлаждения в диапазоне температур 287-310 К. Мы связываем это со структурным переходом и возникновением в образцах помимо ромбоэдрической фазы $R3c$, характерной для «чистого» феррита висмута, дополнительной, орторомбической $Pbnt$ фазы [2] (рис. 3).

Магнитные свойства $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ определяются взаимодействием ионов Fe^{3+} и Mn^{3+} : как взаимодействием ДМ, так и сверхобменом Fe-O-Fe и Fe-O-Mn , которые сильно связаны с локальной структурой октаэдра $(\text{Fe/Mn})\text{O}_6$. При этом ион Mn^{3+} является ян-теллеровским (ЯТ) ионом, что приводит к ЯТ-искажению окружающего его кислородного октаэдра [5] и

возникновению помимо $R3c$ -фазы орторомбической $Pbnm$ -фазы. Поскольку эти фазы имеют разные по величине значения намагниченности насыщения M_r ($M_r(R3c) > M_r(Pbnm)$), увеличение концентрации марганца x приводит к перераспределению объемов фаз и изменению суммарного магнитного момента, который при некоторой концентрации $x(\text{Mn}^{3+})=0.08$ достигает максимума, а при дальнейшем увеличении x начинает снижаться [2].

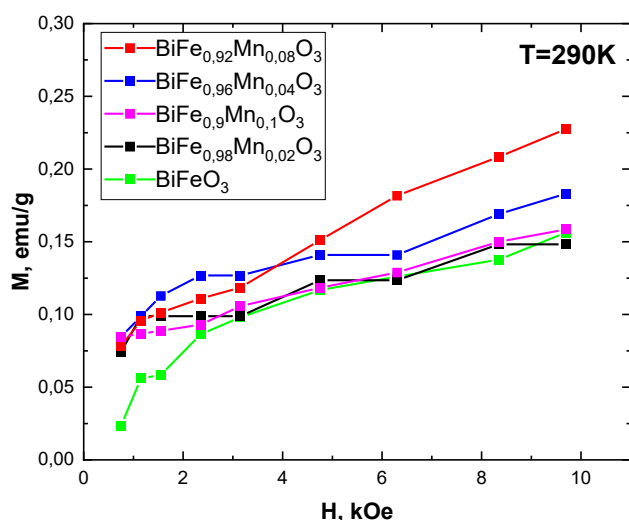


Рис. 2. Кривые намагничивания $M(x)$ $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$) при T комн.

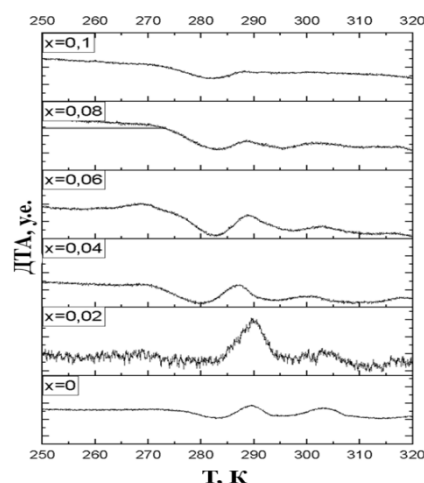


Рис. 3. Результаты ДТА (ветви охлаждения) для $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

Список литературы

1. Пятаков А. П. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики / А. П. Пятаков, А. К. Звездин // Успехи физ. наук. – 2012. – Т. 182, №6. – С. 593-620. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.0182.201206b.0593>.
2. Структурные и магнитные характеристики твердых растворов мультиферроиков $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.1$), полученных золь-гель методом / Т. Н. Тарасенко, Г. К. Волкова, Р. А. Сафонов, Д. Е. Наймушина и др. // ФТВД. – 2025. – Т. 35, №3. – С. 60-68.
3. Роль замещений марганцем катионов железа в изменении магнитных и электрических характеристик магнитоэлектриков $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($x=0.05$ и 0.15) / Т. Н. Тарасенко, В. И. Михайлов, З. Ф. Кравченко и др. // Изв. РАН. Сер. физ. – 2023. – Т. 87, № 3. – С. 412-416. DOI: 10.31857/S0367676522700727, EDN: HGNMYZ.
4. High temperature dielectric and magnetic response of Ti and Pr doped BiFeO_3 ceramics / V. Kumar, A. Gaur, N. Sharma, J. Shah, R. K. Kotnaba // Ceram. Intern. – 2013. – V. 39. – P. 8113-8121. doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.03.084.
5. The local distortion and electronic behavior in Mn doped BiFeO_3 / L. Chen, L. Zheng, Y. He et al. // J. Alloys and Comp. – 2015. – V. 633. – P. 216-219. doi.org/10.1016/j.jallcom.

О СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ

Тарасов Д.П., канд. физ.-мат. наук, доц., **Вяткин Д.В.**, **Мошкин А.Д.**

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ
demetriys@mail.ru

Для специалистов по летательным аппаратам, силовым установкам, системам вооружения крайне необходимо иметь глубокие знания в области свойств материалов в конденсированном состоянии. Прежде всего, это знания о прочности, пластичности материалов, о методах их контроля, способах выявления так называемых предельных состояний. Для успешного решения этой задачи необходимо владеть представлениями о принципах функционирования различных современных приборов контроля, в том числе и неразрушающих. К таковым следует отнести инновационные методы, основанные на использовании акустических волн (АВ) [1]. На наш взгляд, ряд фундаментальных и технических дисциплин необходимо дополнить материалами, излагающими принцип действия акустических микроскопов – устройств, использующих АВ для формирования изображений структуры материалов, а также обеспечивающих измерение ряда их физических параметров. В конечном итоге, они могут обеспечить более безопасную эксплуатацию технических устройств различного назначения. Кроме того, освоение специалистами более широкого ряда методов контроля качества позволит им быть более компетентными в вопросах безаварийной эксплуатации техники.

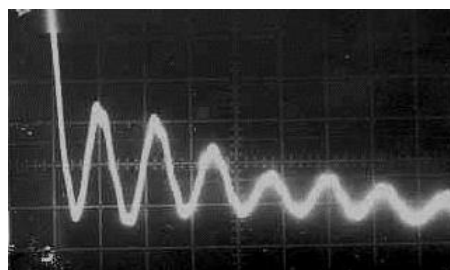
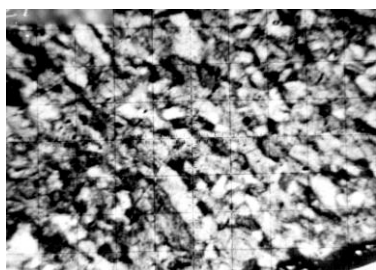
Современное техническое образование подразумевает владение определёнными технологиями, как создания материалов, так и поддержания на необходимом уровне их эксплуатационных свойств. При этом контроль процессов трансформации свойств объектов во времени в зависимости от параметров внешних воздействий – отдельная актуальная задача. Именно поэтому, уже в университетских курсах должны быть рассмотрены такие современные методы контроля свойств материалов, как АМД-методы и сочетающиеся с ними информационные технологии.

Стали – наиболее широко распространенные металлические материалы. Улучшение их структуры и свойств обеспечивается различными видами химико-термической обработки. Контроль результатов такой обработки может быть осуществлен с помощью АМД-методов.

Наиболее широко распространенными на сегодня АМД-методами являются метод акустической визуализации и метод измерения акустических характеристик по интерференционным зависимостям АВ называемым $V(Z)$ -кривые [2]. Первый способ обеспечивает получение акустичес-

ких изображений структуры материала, в том числе подповерхностных, без какого-либо дополнительного травления поверхности. Вторым методом основан на получении $V(Z)$ -кривой и измерении на ней характерного расстояния ΔZ_N , по значению которого рассчитывается величина скорости v_R поверхностных акустических волн (ПАВ) (см. 1 и 2, где v_l – скорость АВ в иммерсионной жидкости, f – рабочая частота).

На рис. 1 представлены результаты акустической визуализации структуры стали (а) и характерная $V(Z)$ -кривая (б).



а) акустическое изображение структуры мартенситной стали (ст.10X12H2BMФ, Нg, масштаб: 20 мкм/дел., $Z = -17$ мкм)

б) пример $V(Z)$ – кривой стали 10X12H2BMФ (H_2O , масштаб по горизонтали: 14 мкм/дел., по вертикали: 0,25 В/дел., $\Delta Z_N = 17,4$ мкм)

Рис. 1. Акустическое изображение структуры стали и пример $V(Z)$ кривой

Измерив расстояние ΔZ_N рассчитывают значения скоростей ПАВ в материале объектов.

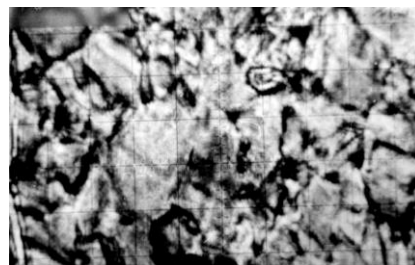
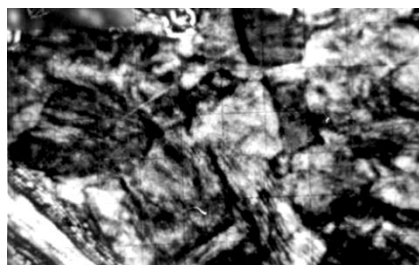
$$\Delta Z_N = \frac{v_l}{2 \cdot f} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{v_l}{v_R} \right)^2} \right]^{-1} \quad (1) \quad v_R = v_l \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{v_l}{2 \cdot f \cdot \Delta Z_N} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

В результате деформационного воздействия на стали они меняют характер структуры (рис. 2).

По размеру зерна материала при этом рассчитывается такая важная его характеристика как предел текучести (закон Холла-Петча):

$$\sigma_{0,2} = \sigma_0 + k d_3^{-1/2} \quad (3)$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести металла, σ_0 и k – константы для данного материала, d_3 – размер зерна структуры.

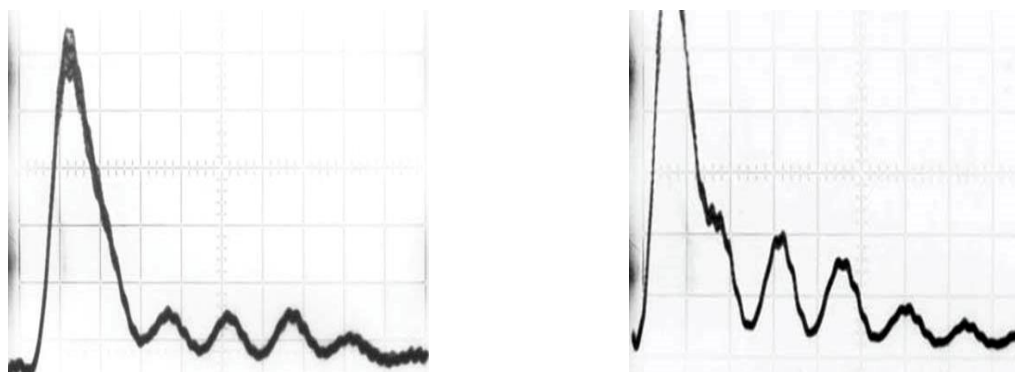


а) 5 % деформация; шлиф параллелен плоскости прокатки

б) 50 % деформация; шлиф перпендикулярен плоскости прокатки; $Z = -10$ мкм, масштаб 50 мкм/дел.)

Рис. 2. Акустомикроскопическая визуализация структуры стали с различной степенью деформации

При этом меняется и вид интерференционной $V(Z)$ -кривой (рис. 3).



- а) 5 % деформация; шлиф параллелен плоскости прокатки; масштаб по горизонтали: 10,6 мкм/дел, $\Delta Z_N=13,74$, $v_R = 2,98 \cdot 10^3$ м/с
- б) 50 % деформация; шлиф параллелен плоскости прокатки; масштаб по горизонтали: 12,5 мкм/дел, $\Delta Z_N=14,95$ мкм, $v_R = 3,11 \cdot 10^3$ м/с

Рис. 3. Оценка упруго-механических параметров стали с различной степенью деформации с помощью метода $V(Z)$ – кривых (H_2O , по вертикали: 1 В/дел.)

Анализ использования таких инновационных методов контроля свойств материалов как АМД-методы, в сочетании с информационными технологиями подтверждает существенное повышение интереса курсантов к проблеме оценки качества материалов. В дальнейшем планируется изложить основы инновационных методов исследования материалов в учебных пособиях ряда технологических дисциплин. Безусловно, освоение современных методов контроля качества материалов позволит значительно повысить надежность эксплуатации технических устройств.

Список литературы

1. Бернштейн М. Л. Исследование структуры и текстуры стали при патентировании и горячей деформации / М. Л. Бернштейн, Л. П. Капуткина, Т. В. Морозова, А. И. Кустов // Физика металлов и металловедение, 1988. – № 8. – Вып. 6. – Т. 65. – С. 1155-1162.
2. Budanov A. V. The study of the effect of hydrogen on physical-mechanical properties of steel by acoustic microscopy methods / A. V. Budanov // Hydrogen materials science and chemistry of metal hydrides, Science Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry, ed. M.D.Hampton, Dm.Schur. – Vol. 71. – 2002. – P. 131-140.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОЭКСТРУЗИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕДИ

Ткаченко В.М.¹, канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0002-6831-3244,

Бережной Я.А.^{1,2}, Сапронов А.Н.¹

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

v.tkachenko@mail.ru

Введение. Интерес к вопросам разработки методов получения нанокристаллических (НК) и субмикрокристаллических (СМК) материалов и совершенствования способов их производства вызван проявлением этими материалами высоких физико-механических и технологических свойств. Демонстрация высоких свойств НК и СМК материалов обусловлена малым размером структурных элементов, большой протяженностью границ зерен и высокой плотностью дислокаций [1].

Для получения НК и СМК материалов используется несколько подходов, наибольшее распространение из них для разработки объемных изделий получили методы интенсивной деформации (ИПД). Наиболее используемыми методами ИПД являются: кручение под высоким давлением (КВД), равноканальное угловое прессование (РКУП), винтовая экструзия (ВЭ), накапливающееся соединение прокаткой (НСП) и всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) [1, 2].

Достижимые физико-механические свойства НК и СМК материалов, полученных методами ИПД, тесно связаны со структурными перестройками, происходящими в процессе обработки. Хотя физические механизмы эволюции микроструктуры при ИПД требуют дальнейшего изучения, многочисленные исследования показывают, что формирование НК и СМК структуры определяется эволюцией ячеек или дислокационных субструктур, образующихся на ранних стадиях деформации, в сверхмелкозернистые структуры с высокоугловыми границами в процессе последующей деформации [1, 3].

Возможность улучшения физико-механических свойств металлических материалов различными методами комбинированной обработки, сочетающих методы ИПД и традиционные методы обработки давлением, показана в ряде работ [4-6]. Анализ результатов этих работ показывает, что конечная микроструктура, свойства и форма обрабатываемого материала определяются как микроструктурой, так и текстурой материала, подвергнутого ИПД обработке перед операцией обработки металла (или операциями), а также параметрами операции обработки.

Цель данной работы – установление закономерностей влияния степени деформации гидроэкструзии на изменение физических и механических

свойств субмикrokристаллической меди, полученной методом винтовой экструзии.

Основная часть. В качестве материала для исследований использовалась медь марки М1 после отжига при температуре 600°C в течение 2 часов. Субмикrokристаллическое состояние меди достигалось обработкой методом винтовой экструзии при комнатной температуре до степени деформации $\epsilon=5.8$. Реализация гидроэкструзии (ГЭ) осуществлялась путем продавливания цилиндрической заготовки через коническую матрицу с использованием в качестве рабочей жидкости индустриального масла. Данная обработка проводилась поэтапно при комнатной температуре до степени деформации $\epsilon=1.0$ с шагом деформации 0.5 на каждом этапе.

Влияние обработки методом гидроэкструзии на плотность СМК меди показана на рис. 1. При ВЭ наблюдается некоторое снижение плотности материала, вызванное образованием и накоплением деформационных дефектов в ходе обработки. Последующее проведение гидроэкструзии со степенью деформации 0.5 приводит к повышению плотности материала. Рост плотности меди при гидроэкструзии может быть обусловлен заживлением деформационных дефектов, образованных на первых этапах обработки, которому способствуют условия воздействия на заготовку всесторонним высоким гидростатическим давлением (до 1 ГПа), реализуемым в процессе гидроэкструзии. При дальнейшем повышении степени деформации гидроэкструзии до $\epsilon=1.0$ величина плотности сохраняет свое значение на прежнем уровне.

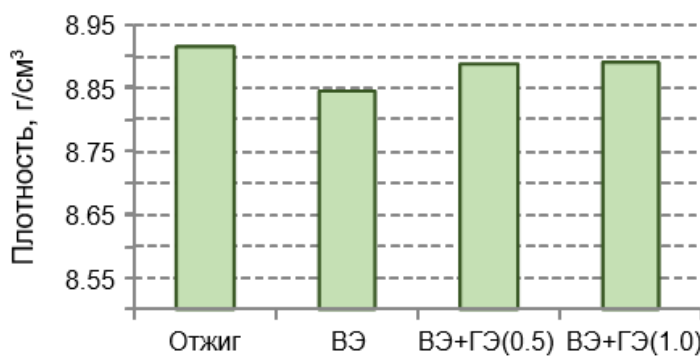


Рис. 1. Зависимость плотности СМК меди от степени деформации гидроэкструзии

Зависимость изменения твердости по Виккерсу меди при разных видах и степени обработки представлена на рис. 2. В исходном отожженном состоянии медь имела крупнозернистую структуру и ее твердость составляла 54 кгс/мм². Применение винтовой экструзии позволяет измельчить зерна до 200–500 нм, что приводит к повышению твердости примерно в 2.5 раза. Дальнейшее осуществление гидроэкструзии до степени деформации $\epsilon=1.0$ приводит к дополнительному упрочнению меди на 10 %.

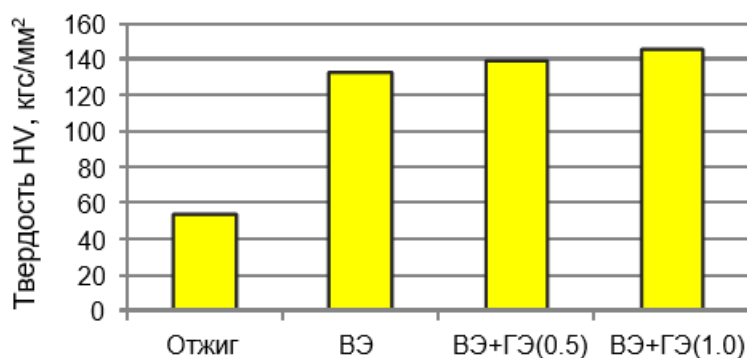


Рис. 2. Твердость меди при разных видах обработки

Заключение. Исследовано влияние степени накопленной деформации при гидроэкструзии на изменение физико-механических свойств субмикроструктурной меди, полученной методом винтовой экструзии. Показано, что реализуемые при гидроэкструзии высокие всесторонние давления способствуют уплотнению материала, а увеличение степени деформации гидроэкструзии до 1.0 приводит к повышению прочности СМК меди на 10 %.

Список литературы

1. Валиев, Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М.: Академкнига, 2007. – 398 с. – ISBN 978-5-94628-217-8.
2. Маркушев, М. В. К вопросу об эффективности методов интенсивной пластической деформации, предназначенных для получения объемных наноструктурных материалов / М. В. Маркушев // Письма о материалах. – 2011. – Т. 1, № 1. – С. 36–42. – DOI 10.22226/2410-3535-2011-1-36-42.
3. Vailev, R. Z. Using Severe Plastic Deformation to Produce Nanostructured Materials with Superior Properties / R. Z. Vailev, B. Straumal, T. G. Langdon // Annual Review of Materials Research. – 2022. – Vol. 52, Iss. 1. – P. 357-382. – DOI: 10.1146/annurev-matsci-081720-123248.
4. Polyakov, A. V. Fatigue life and failure characteristics of an ultrafine-grained Ti-6Al-4V alloy processed by ECAP and extrusion / A. V. Polyakov, I. P. Semenova, Y. Huang, R. Z. Valiev, T. G. Langdon // Adv. Eng. Mater. – 2014. – Vol. 16, Iss. 8. – P. 1038–1043. – DOI:10.1002/adem.201300530.
5. Murashkin, M. Yu. Physical simulation of cold rolling of ultra-fine grained Al5083 alloy to study microstructure evolution / M. Yu. Murashkin, N. A. Enikeev, V. U. Kazykhanov, I. Sabirov, R. Z. Valiev // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2013. – Vol. 35, Iss. 1-2. – P. 75–85.
6. Lima, G. F. Hydrogen storage properties of pure Mg after the combined processes of ECAP and cold-rolling / G. F. Lima, M. R. M. Triques, C. S. Kiminami, W. J. Botta, A. M. Jr. Jorge // J. Alloy. Compd. – 2014. – Vol. 586. – P. 405–408. – DOI:10.1016/j.jallcom.2013.03.106.

К ВОПРОСУ ОБ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ И НЕУПРУГИХ СВОЙСТВАХ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Токий Н.В., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0002-2965-6279,
Носолев И.К., ORCID 0000-0002-5566-0685, **Резников А.В.**
ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
nvt1976@mail.ru

Введение. Проблема повышения существующего уровня ядерной безопасности и стабильность работы реакторов с одной стороны, и разработка термоядерной энергетики будущего с другой требуют создания новых конструкционных материалов способных работать в агрессивном окружении. Исследование имеет также значение для решения современной энергетической проблемы – высокоэффективного прямого преобразования химической энергии в электрическую, которое осуществляется в керамических топливных элементах. Вопрос об ионной проводимости керамических материалов является важным аспектом современных исследований в области материаловедения и электротехники. Диоксид циркония используется в твердокислотных топливных элементах (SOFC), сенсорах кислорода и других устройствах, требующих эффективной ионной проводимости. Основные проблемы, связанные с использованием диоксида циркония, включают стабильность при различных условиях и механическую прочность.

Целью настоящей работы являются исследования особенностей неупругого поведения керамики, изготовленной из нанопорошков с различной ионной проводимостью.

Основная часть. При изучении электрических характеристик компактов из нанопорошков на основе стабилизированного диоксида циркония в работе [1] было установлено, что образцы, изготовленные по двум различным технологиям (полученных методом соосаждения с применением хлор- и азотсодержащего сырья), демонстрируют различие электропроводности на несколько порядков величины. Физический механизм обнаруженного явления не был установлен.

Для изучения вклада катионных примесей-заместителей в механизм ионной проводимости диоксида циркония ранее нами было проведено квантово-механическое моделирование [2] и моделирование в рамках упругого подхода [3].

Деформация кристаллической решетки YSZ путем внедрения примеси катионов различного размера может быть использована в качестве инструмента для выявления и оценки возможного влияния «внутреннего давления» на величину миграционного барьера аниона в этом материале. В работах [4,5] рассмотрены упругие модели миграционного барьера аниона в кристаллите.

Используя теоретическую модель для описания влияния анионной примеси замещения на равномерное всестороннее растяжение кристаллита были получены поля растягивающих напряжений, создаваемые анионными примесями.

Учитывая, что в рамках линейной теории упругости изотропного тела поля упругих напряжений, создаваемых разными источниками, можно рассматривать независимо, используя принцип суперпозиции, были получены поля растягивающих напряжений, создаваемые катионными и анионными примесями.

Для измерений упругих свойств (модуля Юнга) был использован резонансный метод составного пьезоэлектрического вибратора, основанный на анализе установившихся вынужденных колебаний образца. Резонатор состоял из двух частей: пьезокварца, служащего для возбуждения и приема механических колебаний, и исследуемого образца. Изучены амплитудные зависимости модуля Юнга в керамических образцах, полученных спеканием высоко – и низкопроводящих компактов, приготовленных из нанопорошков на основе диоксида циркония, стабилизированного 3 mol% Y_2O_3 . Измерения проводились при комнатной температуре в широком диапазоне амплитуд ($1 \times 10^{-8} \div 1 \times 10^{-4}$) относительной циклической деформации ϵ .

Было выявлено, что для исследуемых образцов зависимости $E(\epsilon)$ не являются линейными. На каждой из кривых можно выделить два участка: область т.н. амплитудно-независимого модуля упругости в диапазоне амплитуд $1 \times 10^{-8} \div 4 \times 10^{-7}$, в которой модуль E не изменяется с ростом амплитуды деформации, и область амплитудно-зависимого модуля упругости, где E уменьшается с ростом деформации ϵ . Так же было выявлено, что модули Юнга составили для высокопроводящей компоненты керамики 205,9 ГПа и для низкопроводящей компонент – 212,25 ГПа.

Рассмотрение влияния размера частиц и анионной примеси хлора (которая была обозначена авторами работы [1] как ответственная за наблюдаемый эффект) на модуль Юнга высокопроводящего компонента гибридного материала на основе диоксида циркония, используя метод упругого подхода было начато в работе [6,7]. Используя выражения для полей растягивающих напряжений в компонентах гибрида получаем перенормированные модули Юнга для высокопроводящей и низкопроводящей компонент.

Анализ показал, что $R_{Cl} > R_N > R_O$, откуда следует, что модуль Юнга в керамике из хлорсодержащего сырья меньше модуля Юнга в керамике азотсодержащего сырья $\hat{E}_{YCl} < \hat{E}_{YN}$.

Заключение. В ходе нашего исследования, проведенного в рамках упругого метода, нами были получены зависимости ключевых энергетических параметров формирования дефекта в виде междоузельного

атома и вакансии от размеров кристаллитов, которые играют ключевую роль в технологическом процессе производства наноматериалов с заданными структурными элементами, определяющими функциональные свойства материала. Полученные теоретические расчеты сопоставлены с результатами эксперимента, выполненными методом составного вибратора.

Важным результатом нашей работы является интерес к исследованию степени и природы наследования керамикой свойств ее исходных (первородных) компонент.

Информация о финансовой поддержке: *Исследования проводились в рамках государственного задания ФГБНУ ДОНФТИ.*

Список литературы

1. Doroshkevych O. S. Impedance Spectroscopy of Concentrated Zirconia Nanopowder Dispersed Systems Experimental Technique / O. S. Doroshkevych, A. V. Shylo, O. V. Saprukina, I. A. Danilenko, T. E. Konstantinova, L. A. Ahkozov // World Journal of Condensed Matter Physics. – 2012. – V. 2. – №1. – P. 1-9. DOI: 10.4236/wjcmp.2012.21001.
2. Токий Н. В. Концентрационная и температурная зависимости энергии миграции кислорода в стабилизированном иттрием диоксиде циркония / Н. В. Токий, Б. И. Перекрестов, Д. Л. Савина, И. А. Даниленко // ФТТ. – 2011. – Т. 53. – № 9. – С. 1732-1736. – EDN: RCSLUV.
3. Перекрестов Б. И. Влияние примеси лантанидов на анионную проводимость кубического диоксида циркония / Б. И. Перекрестов, В. В. Токий, Н. В. Токий, Г. К. Волкова // ФТТ. – 2014. – Т. 56. – № 4. – С. 647-651. EDN: RYJAEF.
4. Гребенюк Н. А. Упругая модель миграционного барьера кислорода в компонентах гибрида на основе нанопорошка иттрием стабилизированного диоксида циркония / Н. А. Гребенюк, Н. В. Токий // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых (Донецк, 17-20 октября 2017 г.). – Т. 2: Химико-биологические науки / под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2017. – С. 334-335. – EDN: YOULKK.
5. Токий Н. В. Упругая модель влияния примеси замещения на подвижность кислорода в диоксидциркониевой керамике / Н. В. Токий, В. В. Токий, Н. А. Гребенюк // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2018. – №5(11). – С. 115-118. – EDN: XPUBRB.
6. Носолев И. К. Влияние размера частиц высокопроводящего нанопорошка иттрием стабилизированного диоксида циркония на упругие свойства компактов / И. К. Носолев, Н. В. Токий, В. В. Токий // Вестник ЛГУ им. В. Даля. -2017. – № 2(4) Ч. 1. – С. 78-81. EDN: YNSELR.
7. Носолев И. К. Упругие свойства керамики из высоко- и низкопроводящего нанопорошков диоксида циркония, стабилизированного иттрием / И. К. Носолев, Н. В. Токий, В. В. Токий // ФТВД. – 2017. – Т. 27, № 4. – С. 73–78. – EDN: YLMHUB.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПЛОТНОСТЬ СОСТОЯНИЙ В ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТУННЕЛЬНЫХ КОНТАКТОВ

Хачатурова Т.А., канд. физ.-мат. наук, доц.,

Бутько В.Г., канд. физ.-мат. наук,

Гусев А.А., канд. физ.-мат. наук, доц.

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
khachaturovat@mail.ru

Исследование туннельных характеристик контактов металл-изолятор-металл является важной задачей туннельной спектроскопии [1]. В частности, актуален вопрос о том, каким образом особенности электронных спектров металлических электродов отражаются в туннельных характеристиках контактов. Несмотря на то, что работы авторов Харрисона и Дюка [2,3] по влиянию зонной структуры металлических обкладок на туннельный ток признаны в настоящее время классическими, до сих пор в литературе отсутствует ясное понимание данной проблемы. Так, например, в известной монографии Солимара [4], автор, рассматривая туннелирование между двумя металлами, находящимися в нормальном состоянии, приходит к неверному заключению о том, что туннельный ток при малых напряжениях прямо пропорционален плотностям состояний металлических обкладок $N_1(E)$ и $N_2(E)$

$$I(V) = AN_1(E)N_2(E)eV \quad (1)$$

здесь A – константа, а V – напряжение смещения, приложенное к туннельному переходу.

Вывод формулы (1) [4] основан на том, что туннельный ток, направленный слева направо, определяется электронами, чьи состояния заключены в энергетическом интервале dE , и поэтому прямо пропорционален произведению числа заполненных состояний

$$N_1(E-eV)f(E-eV)dE$$

на вероятность того, что на противоположном берегу контакта соответствующие электронные состояния свободны

$$N_2(E-eV)(1-f(E-eV)),$$

здесь $f(E)$ – функция распределения Ферми-Дирака.

Далее вывод формулы (1) заключается в том, что полученное произведение

$$N_1(E-eV)f(E-eV)N_2(E-eV)(1-f(E-eV))dE$$

умножается на вероятность туннелирования $P(E)$, в то время как, согласно золотому правилу квантовой механики, его следовало умножить на квадрат матричного элемента перехода $|M_{ab}|^2$ из состояния a на одной стороне туннельного контакта в состояние b на противоположной стороне. По этой причине вместо формулы для полного тока [4]

$$I \propto \int P(E) N_1(E - eV) N_2(E) [f(E - eV) - f(E)] dE \quad (2)$$

следует считать, что

$$I = \frac{4\pi e}{h} \sum_{k_{\parallel}} \int_{-\infty}^{\infty} |M_{ab}|^2 N_a N_b (f_a - f_b) dE. \quad (3)$$

Таким образом, если в первое выражение входит прозрачность барьера $P(E)$, то во второе – матричный элемент $|M_{ab}|^2$. Это, небольшое, на первый взгляд, отличие приводит к принципиально разным результатам.

Действительно в квазиклассическом приближении Вентцеля, Крамерса, Бриллюэна (ВКБ), которое применимо в случае плавного перехода от одного электрода к другому, прозрачность барьера – это всего лишь число, равное экспоненте [5]

$$P_{\text{ВКБ}}(E) = \exp \left(-2 \int_{z_a}^{z_b} |k_z(E, z)| dz \right), \quad (4)$$

где z_a и z_b – точки поворота, z – координата, перпендикулярная плоскости барьера. Помимо соотношения (4) в подынтегральном выражении (2) присутствуют еще и функции $N_1(E)$ и $N_2(E)$. Именно этот факт и является основанием для вывода о том, что в ВКБ-приближении особенности плотности состояний отражаются в форме вольт-амперной характеристики туннельных контактов. Он, вообще говоря, неверен, поскольку квадрат матричного элемента $|M_{ab}|^2$, который согласно [2] входит в формулу (3) в ВКБ-приближении, пропорционален произведению $P(E)$ на групповые скорости v_a и v_b , т.е.

$$|M_{ab}|^2 \sim P(E) (\partial E / \partial k_z)_a (\partial E / \partial k_z)_b / L_a L_b, \quad (5)$$

где L_a и L_b – толщины правого и левого электродов туннельного перехода. С другой стороны, плотности состояний N_a и N_b могут быть записаны в виде:

$$N_a = (L_a / \pi) (\partial E / \partial k_z)_a^{-1} \quad \text{и} \quad N_b = (L_b / \pi) (\partial E / \partial k_z)_b^{-1}. \quad (6)$$

Подставляя эти соотношения и формулу (5) в выражение (4), находим ток, протекающий через плавный туннельный переход:

$$I = \frac{2e}{h} \sum_{k_{\parallel}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-2 \int_{z_a}^{z_b} |k_z| dz \right) (f_a - f_b) dE \quad (7)$$

Отметим, что выражение (7) уже не содержит плотностей состояний правого и левого электродов в явном виде.

Этот результат, можно сформулировать следующим образом: в одномерном приближении в рамках модели независимых электронов ток, протекающий сквозь плавный туннельный переход, не зависит от плотностей состояний металлических электродов. Заметим, что при этом пренебрегается интегрированием по поперечной составляющей волнового вектора $k_{\perp}$, т.е. в двух- и трехмерных случаях определенная зависимость

от электронного спектра [6], которая полностью исчезает в одномерном приближении, все-таки существует.

Список литературы

1. Зубков В. И. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие / В. И. Зубков, Г. Е. Яковлев. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. – 73 с.
2. Харрисон У. А. Теория твердого тела / Пер. с англ. канд. физ.-мат. наук Г. Л. Краско; Под ред. канд. физ.-мат. наук Р. А. Суриса. – Москва: Мир, 1972. – 616 с.
3. Дюк К. Б. Теория туннельного перехода в системе металл-барьер-металл / К. Б. Дюк // в кн.: Туннельные явления в твердых телах: Лекции / под ред. Э. Бурштейна и С. Лундквиста; пер. с англ. И. П. Ипатовой и А. В. Субашиева; под ред. В. И. Переля. – Москва: Мир, 1973. – 421 с.
4. Солимар Л. Туннельный эффект в сверхпроводниках и его применение / Пер. с англ. кандидаты физ.-мат. наук А. Ф. Волкова и Э. М. Эпштейн. – Москва: Мир, 1974. – 428 с.
5. Давыдов А. С. Квантовая механика / А. С. Давыдов. – Москва: Наука, 1973. – 703 с.
6. Хачатурова Т. А. Ширина запрещенной зоны диоксида кремния нанометровых толщин / Т. А. Хачатурова, В. Г. Бутько, А. А. Гусев // Письма в ЖТФТ. – 2023. – Т. 49, вып. 15. – С. 23–26. – DOI: <https://doi.org/10.21883/PJTF.2023.15.55859.19564>

УДК 621.762.4: 666.762.52

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ХОЛОДНОГО ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС ДВУХЭТАПНОГО СПЕКАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА $ZrO_2+3\text{мол.}\%Y_2O_3$

Чайка Э.В., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-3570-1048

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
ceramics@mail.ru

Введение. Одной из проблем при получении нанокристаллических керамических материалов с высокими свойствами является значительный рост зерна при высокотемпературном спекании. Для уменьшения роста зерна используют различные методы, одним из которых является, так называемая, технология двухэтапного спекания или two-step sintering (TSS) [1, 2]. Она заключается в следующем. На первом этапе предварительно сформованные порошковые заготовки кратковременно нагревают до высокой температуры T_1 с целью достижения критической пористости ρ^* , при которой формируется необходимая для дальнейшего уплотнения структура материала с нестабильными порами. На втором этапе температуру понижают для проведения спекания при низкой температуре в течение длительного времени без роста зерна (рис. 1).

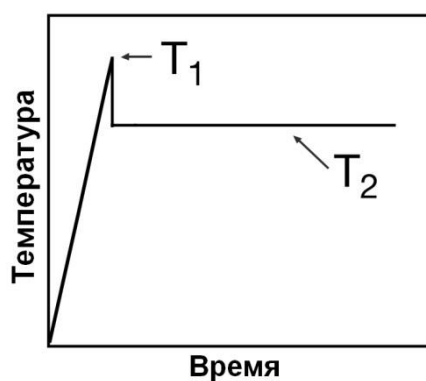


Рис. 1. Схема двухэтапного спекания

Применение TSS эффективно уменьшает размер зерна спеченной керамики, однако достичь плотного беспористого состояния материала при этом удастся не всегда. Возможным способом преодоления этого может стать применение для формования заготовок холодного изостатического прессования (ХИП). ХИП позволяет получать прессовки с высокой и однородной плотностью материала, что должно положительно сказаться на процессе уплотнения при спекании.

Цель работы – исследование влияния давления ХИП на процесс TSS, плотность и размер зерна спеченной керамики $ZrO_2 + 3 \text{ мол. \% } Y_2O_3$.

Основная часть. Исследование проводили на образцах из нанокристаллического порошка частично стабилизированного диоксида циркония $ZrO_2 + 3 \text{ мол. \% } Y_2O_3$ фирмы Unitec Ceramics со средним размером частиц 140 нм, сформованных ХИП давлением 0,1 и 0,8 ГПа и спеченных по режиму TSS.

По данным [2] максимальные значения плотности после TSS наблюдаются у материалов из диоксида циркония, чья плотность ρ^* после I этапа спекания равна или превышает 5 г/см^3 или 82 % от теоретической. В нашем исследовании по результатам серии спеканий были установлены зависимости плотности ρ от температуры нагрева T и температуры при которых плотность спекаемого материала ρ^* достигает значения 5 г/см^3 (рис. 2). Для образцов спрессованных давлением 0,1 и 0,8 ГПа они приблизительно равны 1350°C и 1300°C соответственно.

Для изучения влияния TSS на плотность спеченной керамики были выбраны режимы где $T_1 = 1300, 1350, 1400^\circ\text{C}$, время выдержки 5 мин., а $T_2 = 1250^\circ\text{C}$, время выдержки 30 час.

Анализ полученных результатов (табл. 1) показывает, что среди образцов спрессованных давлением 0,1 ГПа наибольшую плотность $\rho = 5,79 \text{ г/см}^3$ имеет образец спеченный по режиму $T_1 = 1350^\circ\text{C} / T_2 = 1250^\circ\text{C}$, а среди образцов спрессованных давлением 0,8 ГПа – образец спеченный по режиму $T_1 = 1300^\circ\text{C} / T_2 = 1250^\circ\text{C}$. При этом плотность последнего равная $6,04 \text{ г/см}^3$ достигает 99 % от максимального значения, полученного при обычном спекании при температуре 1500°C .

Обращает на себя внимание тот факт, что в опыте с образцом спрессованным давлением 0,8 ГПа и спеченном по режиму $T_1=1300\text{ }^{\circ}\text{C}/T_2=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ незначительное превышение T_1 над T_2 , всего на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, приводит к существенному повышению плотности спеченной керамики по сравнению с обычным спеканием при температуре $T=T_2$ с той же длительностью спекания (табл. 2).

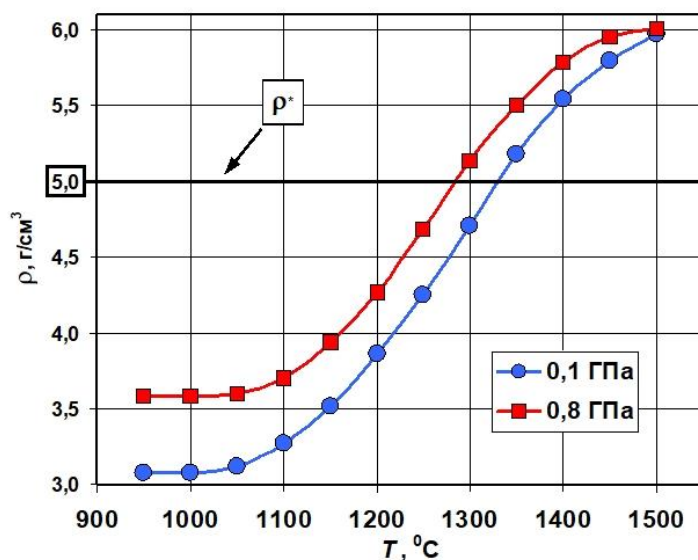


Рис. 2. Зависимость плотности ρ от температуры нагрева T образцов керамики $\text{ZrO}_2+3\text{мол.}\%\text{Y}_2\text{O}_3$ спрессованных давлением ХИП 0,1 и 0,8 ГПа

Таблица 1

Плотность керамики после двухэтапного спекания [$T_1(5\text{ мин.})/T_2=1250^{\circ}\text{C}(30\text{ час.})$] образцов спрессованных давлением ХИП 0,1 и 0,8 ГПа

Температура T_1 , $^{\circ}\text{C}$	Плотность ρ , г/см ^{3}	
	ХИП = 0,1 ГПа	ХИП = 0,8 ГПа
1300	5,66	6,04
1350	5,79	5,87
1400	5,68	5,95

Таблица 2

Плотность и средний размер зерна керамики в зависимости от давления ХИП и режима спекания

Режим спекания	Давление ХИП, ГПа	Плотность, г/см ^{3}	Ср. р-р зерна, нм
Обычное спекание: $T=1500^{\circ}\text{C}$, выдержка 5 мин.	0,1 ГПа	6,02	0,57
	0,8 ГПа	6,10	0,62
Обычное спекание: $T=1250^{\circ}\text{C}$, выдержка 30 час.	0,1 ГПа	5,62	-
	0,8 ГПа	5,76	-
TSS $T_1=1350^{\circ}\text{C}$ (5 мин.) $T_2=1250^{\circ}\text{C}$ (30 час.)	0,1 ГПа	5,79	0,32
TSS $T_1=1300^{\circ}\text{C}$ (5 мин.) $T_2=1250^{\circ}\text{C}$ (30 час.)	0,8 ГПа	6,04	0,30

Экспериментом установлено, что средний размер зерна керамики при спекании по режиму TSS в 2 раза ниже, чем при обычном спекании при 1500°C при примерно одинаковой плотности материала (см. табл. 2).

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что использование высокого давления ХИП (0,8 ГПа) для формования порошковых заготовок и их спекание по режиму TSS обеспечивает высокую почти 100 % плотность спеченного материала с малым размером зерна. Достижение плотного состояния обусловлено разрушением агрегатов частиц порошка при ХИП и формированием однородной структуры прессовок, не содержащей крупных пор.

Список литературы

1. Chen I.-W. Sintering dense nanocrystalline ceramics without final-stage grain growth / I.-W. Chen, X.-H. Wang // Nature. – 2000. – V.404, N.6774. – 168-171. – DOI 10.1038/35004548.
2. Mazaheri M. Densification and grain growth of nanocrystalline 3Y-TZP during two-step sintering / M. Mazaheri, A. Simchi, F. Golestani-Fard // Journal of the European Ceramic Society. – 2008. – V.28, N.15. – P.2933-2939. – DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.04.030.

УДК: 536.7, 538.9

НЕТРАДИЦИОННЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИМИ И КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Червинский Д.А., Христов А.В., канд. физ.-мат. наук,
Шелест В.В., канд. физ.-мат. наук

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
chervin@dfti.donbass.com, efbji@list.ru

Традиционно для характеристики физического состояния конденсированной среды принято использовать термодинамические коэффициенты [1-7], которые описывают дилатометрические и калориметрические свойства системы. Дилатометрия описывает механические свойства среды и связана с определением изменения таких параметров, как давление P и объем V . Калориметрия же описывает тепловые характеристики и устанавливает связь между энтропией S и другими физическими переменными. В обоих случаях важнейшей особенностью является зависимость вышеуказанных параметров от температуры T . В своей основе термодинамика оперирует четырьмя переменными (P, V, S, T) и их зависимостями друг от друга. С точки зрения математики и общепринятой академической классификации термодинамические коэффициенты опреде-

ляются через соответствующие удельные производные. Существуют 12 термодинамических коэффициентов, среди которых всего три являются независимыми. Выбор последних произволен и обусловлен, например, удобством описания физической реальности посредством эксперимента. С точки зрения математических расчетов, связанных с установлением соотношений между термодинамическими коэффициентами, удобно использовать методологию якобианов, применяемых в зависимости от обстоятельств в сжатой либо развернутой форме [1-7].

Техника расчетов с использованием такого рода якобианов подразумевает обращение с ними так же, как с обычными дробями.

Между такими дилатометрическими коэффициентами, как: упругие модули $K_T = -V(\partial P / \partial V)_T$, $K_S = -V(\partial P / \partial V)_S$; величины, характеризующие термическое изменение давления при изохорических и адиабатических процессах $\beta_V = (1/P)(\partial P / \partial T)_V$, $\beta_S = (1/P)(\partial P / \partial T)_S$, а также термическое изобарическое и адиабатическое объемное изменение системы $\alpha_P = (1/V)(\partial V / \partial T)_P$, $\alpha_S = (1/V)(\partial V / \partial T)_S$ – наблюдаются следующие соотношения:

$$1 = \frac{\alpha_P}{\alpha_S} + \frac{K_S}{K_T} = \frac{\beta_V}{\beta_S} + \frac{K_T}{K_S} = \frac{\beta_S}{\beta_V} + \frac{\alpha_S}{\alpha_P}. \quad (1)$$

Аналогично, только между следующими калориметрическими величинами: теплоемкостями $C_P = T(\partial S / \partial T)_P$, $C_V = T(\partial S / \partial T)_V$; параметрами, описывающими теплоту изотермического сжатия $l_T^{(V)}(T, P) = T(\partial S / \partial P)_T$ и теплоту изотермического расширения $l_T^{(P)}(T, V) = T(\partial S / \partial V)_T$; теплоту изохорического сжатия $m_V(V, P) = T(\partial S / \partial P)_V$ и теплоту изобарического расширения $m_P(V, P) = T(\partial S / \partial V)_P$ – имеют место такие связи:

$$1 = \frac{C_V}{C_P} + \frac{l_T^{(P)}(T, V)}{m_P(V, P)} = \frac{m_P(V, P)}{l_T^{(P)}(T, V)} + \frac{m_V(V, P)}{l_T^{(V)}(T, P)} \quad (2)$$

Коэффициенты, описывающие явления разной физической природы, с учетом соотношения Ресса [1] $C_P / C_V = K_S / K_T$ и равенств (1) и (2), связаны таким образом:

$$\begin{aligned} 1 &= \frac{\beta_V}{\beta_S} + \frac{C_V}{C_P} = \frac{K_S}{K_T} + \frac{l_T^{(V)}(T, P)}{m_V(V, P)} = \frac{C_P}{C_V} + \frac{l_T^{(V)}(T, P)}{m_V(V, P)} = \\ &= \frac{C_V}{C_P} + \frac{l_T^{(P)}(T, V)}{m_P(V, P)} = \frac{K_T}{K_S} + \frac{l_T^{(P)}(T, V)}{m_P(V, P)} = \frac{C_P}{C_V} + \frac{\alpha_P}{\alpha_S} \end{aligned} \quad (3)$$

Полученные соотношения (1)-(3) наглядно демонстрируют нестандартную связь между дилатометрией и калориметрией среды. Очевидно, что использование данных выражений может найти применение в теории фазовых переходов, в частности, при описании аномальных (и близких к ним) явлений.

Данные связи получены авторами впервые и при этом не противоречат тому, что встречается в академической литературе.

Список литературы

1. Толпыго К. Б. Термодинамика и статистическая физика / К. Б. Толпыго – Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1966. – 364 с.
2. Базаров И. П. Термодинамика / И. П. Базаров – Москва: Высшая школа, 1991. – 376 с.
3. Червинский, Д. А. Соотношения между полным набором термодинамических коэффициентов, полученных исходя из их прямого определения / Д. А. Червинский, А. В. Христов, В. В. Шелест // Физика и техника высоких давлений. – 2024. – Т. 34, №1. – С. 55-76.
4. Червинский, Д. А. Нетривиальные соотношения между термодинамическими коэффициентами, полученными с использованием развернутой формы якобианов. Часть 1 / Д. А. Червинский, А. В. Христов, В. В. Шелест // Физика и техника высоких давлений. – 2024. – Т. 34, №3. – С. 73-104.
5. Червинский Д. А. Нетривиальные соотношения между термодинамическими коэффициентами, полученными с использованием развернутой формы якобианов. Часть 2. / Д. А. Червинский, А. В. Христов, В. В. Шелест // Физика и техника высоких давлений. – 2025. – Т. 35, №1. – С. 67-94.
6. Христов А. В. Нетривиальные соотношения между термодинамическими коэффициентами с использованием развернутой формы якобианов. Часть 3. / А. В. Христов, Д. А. Червинский, В. В. Шелест // Физика и техника высоких давлений. – 2025. – Т. 35, №2. – С. 47-70.
7. Христов А. В. Соотношения между термодинамическими коэффициентами, полученными с использованием развернутой формы якобианов / А. В. Христов, Д. А. Червинский, В. В. Шелест // Физика и техника высоких давлений. – 2025. – Т. 35, №3.

УДК 621.315.592

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Шалаев Р.В., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0003-1258-2434,
Изотов А.И.

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
sharos@donfti.ru

Введение. Многие десятилетия прогресс в электронике сопровождался уменьшением размеров отдельных элементов и увеличением их числа в полупроводниковом кристалле. Все это повышало энергопотребление и количество выделяемого схемой тепла, поэтому при переходе на более миниатюрные технологические процессы появлялись всё более сложные технологические задачи. Нарастание проблем вызывало некоторое сомнение в возможности использования традиционных

полупроводников (кремния, германия) в микроэлектронных схемах при приближении к пределу миниатюризации в единицы нанометра.

Углерод – это один из самых поразительных химических элементов, формирующий самые разнообразные структуры и аллотропные формы, обладающие многообразными свойствами. На острие исследований находятся не так давно обнаруженные фуллерены, углеродные нанотрубки (УНТ), а также графен, открытие которого дало новый импульс к созданию специализированной электроники. Сейчас в научном сообществе идет живое обсуждение возможности практического применения различных углеродных наноструктур в микроэлектронике как рабочих элементов полевых транзисторов, ячеек памяти, интегральных схем и пр. В настоящей работе рассмотрим основные направления использования наноструктурных углеродных материалов в электронной технике, оценим перспективы развития и применения углеродной электроники.

Электроника фуллеренов. Фуллерены, открытые в 1985 году, представляют собой целый класс углеродных молекул с уникальными структурными и электронными свойствами. Фуллерен представляет собой органический полупроводник с шириной запрещенной зоны $\sim 1,5\text{--}2$ эВ и проявляет сильные акцепторные свойства по отношению к большинству органических соединений.

Уже созданы многослойные органические полевые транзисторы, в которых фуллерен C₆₀ и управляемое светом соединение (спиропирановое SpO_x) образуют отдельные слои [1]. Исследование характеристик полученных приборов показывает, что при отсутствии облучения токи в фототранзисторах составляют менее 1 нА, а при облучении УФ-светом области зазора транзистора ток между стоком и истоком увеличивается на три порядка.

Перспективным является использование фуллереновой молекулы как готового наноразмерного объекта для создания приборов и устройств наноэлектроники (эксперименты проводились фирмой Bell). Например, молекулы фуллерена можно использовать для создания запоминающих устройств – размещать их на поверхности подложки специально заданным образом с помощью сканирующего туннельного или атомного силового микроскопа, и использовать это как способ записи информации. Для считывания информации применяется сканирование поверхности тем же зондом. При этом 1 бит информации – это наличие или отсутствие молекулы диаметром 0,7 нм, что позволяет достичь рекордной плотности записи информации.

Электроника углеродных нанотрубок. Открытие углеродных нанотрубок в 1991 году практически привело к возникновению новой области физики твердого тела, так как УНТ, сочетающие в себе как свойства отдельных молекул, так и твердого тела, в целом представляют собой некое уникальное промежуточное состояние материи.

Первые полевые транзисторы на углеродных нанотрубках были получены в конце 20 века, и технологии их производства продолжают совершенствоваться [2]. При использовании в транзисторах углеродных нанотрубок с полупроводниковыми свойствами удастся достичь более высокой скорости срабатывания транзисторного перехода и, соответственно, работы на более высоких частотах. Также для транзисторов на основе УНТ отсутствует предел миниатюризации, характерный для кремниевых полупроводников, т.е. они уже сейчас обладают размерами меньше кремниевых. Это дает широкие возможности миниатюризации устройств на их основе. Ученые Стенфордского университета еще в 2013 году создали простой процессор всего из 178 транзисторов на углеродных нанотрубках.

Использование УНТ также дает возможность разработки различных вариантов компьютерной флеш-памяти, с возможностью заметного прироста емкости на единицу поверхности из-за небольшого размера самих нанотрубок [3].

Одностенные углеродные нанотрубки также могут использоваться в качестве электродов в OLED-дисплеях на органических светодиодах и светоизлучающих транзисторах [4], работающих при низком напряжении, с низкой рассеиваемой мощностью и высокой светосилой в трех основных цветах. Такие OLED-дисплеи могут быть чрезвычайно гибкими и прозрачными из-за высокой прочности нанотрубок и сверхмалой толщины электродной матрицы

Электроника графена. Графен, открытый в 2004 году, это слой углеродных атомов в гексагональной двумерной решетке, а фактически – углеродная пленка толщиной в один атом со строго упорядоченной кристаллической структурой. Подвижность электронов в графене в десятки раз выше, чем в классических кремниевых полупроводниках, поэтому такой материал перспективно использовать для создания электронных схем, пригодных для работы на терагерцовых частотах.

Графен привлек к себе большое внимание сразу же после своего открытия в качестве материала для создания полевых транзисторов [5]. Первый экспериментальный полевой транзистор на графене был получен в том же году. Также графен перспективен для построения различных типов памяти [6], в том числе высокопроизводительной энергонезависимой памяти. А первая интегральная схема на основе графена была создана еще в 2011 году сотрудниками подразделения IBM Research [7]. Это был макет смесителя частоты, работающий на частотах до 10 ГГц и выполненный на основе графенового транзистора.

Заключение. Как мы видим, перспективные углеродные соединения уже могут заменять кремний и прочие классические полупроводники во многих областях электронной отрасли. Значительная часть современных микро- и нанoeлектронных компонентов может быть реализована на базе

графена и/или углеродных нанотрубок. С другой стороны, полностью отказываться от кремния всё ещё преждевременно. Маловероятно, что за ближайшее десятилетие традиционные полупроводники будут полностью заменены углеродными структурами в микрочипах.

Список литературы

1. Tuktarov, A. R. Photocontrolled organic field effect transistors based on the fullerene C60 and spiropyran hybrid molecule / A. R. Tuktarov, R. B. Salikhov, A. A. Khuzin, N. R. Popod'ko, I. N. Safargalin et al. // RSC Adv. – 2019. – V. 9. – P. 7505–7508. – DOI: 10.1039/C9RA00939F
2. Wang, C. Wafer-Scale Fabrication of Separated Carbon Nanotube Thin-Film Transistors for Display Applications / C. Wang, J. Zhang, K. Ryu, A. Badmaev, L. G. D. Arco, C. Zhou // Nano Lett. – 2009. – V. 9, №12. – P. 4285–4291. – DOI: 10.1021/nl902522f
3. Rinkio, M. High-Speed Memory from Carbon Nanotube Field-Effect Transistors with High-K Gate Dielectric / M. Rinkio, A. Johansson, G.S. Paraoanu, P. Torma // Nano Lett. – 2009. – V. 9, №2. – P. 643–647. – DOI: 10.1021/nl8029916
4. McCarthy, M.A. Low-Voltage, Low-Power, Organic Light-Emitting Transistors for Active Matrix Displays / M. A. McCarthy, B. Liu, E.P. Donoghue, I. Kravchenko, D.Y. Kim, F. So, A.G. Rinzler // Science. – 2011. – V. 332. – P. 570–573. – DOI: 10.1126/science.1203052
5. Свинцов, Д. А. Туннельные полевые транзисторы на основе графена / Д. А. Свинцов, В. В. Вьюрков, В. Ф. Лукичѳв, А. А. Орликовский, А. Буренков, Р. Охснер // Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47(2). – С. 244–250.
6. Hong, A. Graphene flash memory / A. Hong, E. B. Song, H.S. Yu, M.J. Allen, J. Kim, J.D. Fowler et al. // ACS nano. – 2011. – V.5(10). – P. 7812–7. – DOI: 10.1021/nn201809k
7. Lin, Yu-M. Wafer-Scale Graphene Integrated Circuit / Yu-M. Lin, A. Valdes-Garcia, S.-J. Han, D. Farmer et al. // Science. – 2011. – V. 332. – P. 1294–1297. – DOI: 10.1126/science.1204428

УДК 669.3:539.89

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ГИДРОЭКСТРУЗИИ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ МЕДИ

Яшарова Е.В.^{1,2}, ORCID 0009-0002-8780-0918,

Суловицкий В.Д.¹, ORCID 0009-0009-0722-4035

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

yasharova.liza@yandex.ru

Введение. Медь обладает целым рядом положительных качеств: коррозионной стойкостью, тепло- электропроводностью, ковкостью и высокой пластичностью. Благодаря этим качествам нашла широкое применение в электротехнике, машиностроении, химической промышлен-

ности и других отраслях [1]. Повышение прочностных свойств меди для расширения области ее применения является актуальной задачей.

Как известно, перевод материала в ультрамелкозернистое (УМЗ) состояние позволяет в значительной мере поднять прочностные свойства материалов [2]. С этим с легкостью справляются методы интенсивной пластической деформации, такие как кручение под давлением и равноканальное угловое прессование [3]. При этом, данные методы в первую очередь направлены на улучшение структуры материала и не решают вопросы, связанные с формообразованием. Для этого необходимо применять традиционные методы обработки давлением, например, гидроэкструзию (ГЭ). Более того, применение ГЭ для последующей обработки УМЗ материала способно дополнительно повысить его прочность [4-5]. Однако вопрос рациональных режимов обработки УМЗ меди ГЭ исследован недостаточно.

Цель данной работы определить рациональный режим гидроэкструзии ультрамелкозернистой меди для повышения прочностных свойств материала.

Основная часть. В качестве исследуемого материала использовалась бескислородная медь марки М06. Для перевода её в УМЗ состояние, была выполнена предварительная обработка интенсивной пластической деформацией методом равноканального углового прессования с суммарной накопленной деформацией $\epsilon_{\text{РКУП}}=12$. Предварительная деформация сформировала однородную равноосную УМЗ структуру с размерами зёрен 0,2-0,3 мкм.

Исследование режимов ГЭ осуществлялось на установки с рабочим диаметром контейнера 22 мм. Заготовки с УМЗ структурой продавливались через коническую матрицу ($2\alpha=20^\circ$) диаметром $d_m=11$ мм с величиной разовой деформации $e_{\text{ГЭ}} = \ln(d_z^2/d_m^2) = 0,3, 0,6, 0,9, 1,2$, где d_z – исходный диаметр заготовки. Длина образцов во всех экспериментах составляла $l_3=100$ мм.

Основными параметрами фиксируемыми в процессе ГЭ было давление, которое контролировалось за счет датчика размещенного в гидросистеме пресса (100 т.с.) и по манометру. Также определялась температура адиабатического разогрева заготовки от работы деформации. Для УМЗ меди температура начала динамической рекристаллизации находится на уровне 450К и превышение данной температуры может привести к снижению прочностных характеристик УМЗ меди, а следовательно, снизить эффективность обработки [6]. Оценку адиабатического повышения температуры проводили по известному соотношению: $\Delta T = \beta P / (\rho c_p)$, где P – давление ГЭ; ρ – плотность меди (8960 кг/м³); c_p – удельная теплоемкость меди (385 Дж/(кг·К)); $\beta = 0,95$ – параметр учитывающий, долю перехода энергии деформации в тепловую [7].

На рис. показано влияние деформации ГЭ на параметры процесса. Для удобства график изменения давления построен от перемещения

заднего торца заготовки. В поведении кривых можно выделить две характеристики давления ГЭ, пикового давления и давление стабильной стадии протекания процесса. С увеличением деформации ГЭ с $\epsilon_{ГЭ} = 0,3$ до $\epsilon_{ГЭ} = 1,2$ пиковое давление возрастает с 448 МПа до 909 МПа, давление стабильного протекания процесса возрастает с 419 до 800 МПа рис. 1, а.

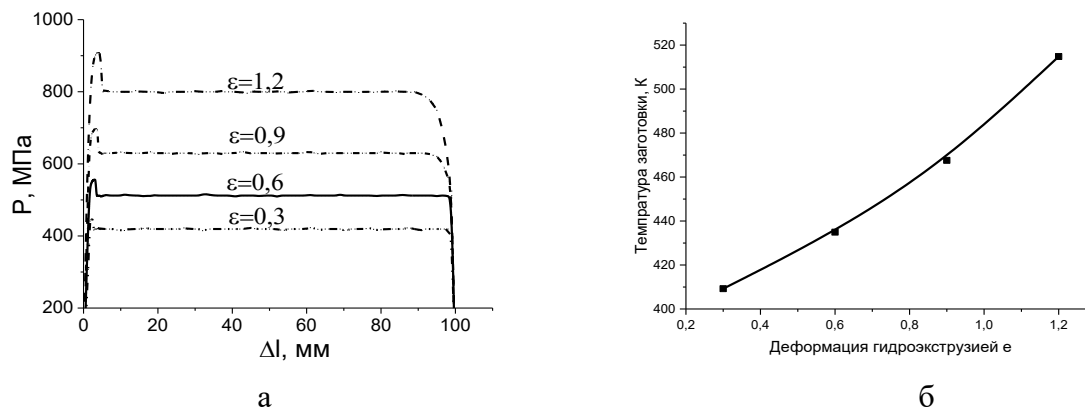


Рис. 1. Влияние деформации гидроэкструзией на параметры процесса:
а – давление, б – температуру нагрева заготовки

График зависимости температуры разогрева заготовки оценен для давления ГЭ в стабильной стадии процесса с учетом комнатной температуры (293К) заготовки перед ГЭ рис. 1, б. Видно, что с увеличением деформации ГЭ с $\epsilon_{ГЭ} = 0,3$ до $\epsilon_{ГЭ} = 1,2$ оценочная температура разогрева заготовки повышается с 410К до 515К, при этом при $\epsilon_{ГЭ} = 0,9$ температура нагрева немного превышает температуру начала рекристаллизации, что может привести к падению прочности заготовок из УМЗ меди.

Влияние деформации ГЭ на прочность УМЗ меди при растяжении (ГОСТ 1497–84) представлено в таблице. Видно, что прочность активно повышается с ростом деформации до $\epsilon_{ГЭ} = 0,6$ и достигает практически максимального значения, в интервале деформаций $\epsilon_{ГЭ} = 0,6-0,9$ величина прочности практически не меняется, т.е. эффект упрочнения от ГЭ нивелируется эффектом разупрочнения связанным с динамической рекристаллизацией вследствие разогрева. При $\epsilon_{ГЭ} = 1,2$ процесс разупрочнения значительно усиливается, что приводит к падению прочности до уровня исходных значений.

Таблица

Влияние деформации ГЭ на прочность УМЗ меди

Деформация ГЭ $\epsilon_{ГЭ}$	0	0,3	0,6	0,9	1,2
Предел прочности σ_b , МПа	434	459	476	477	432

Заключение. Наиболее рациональный режим гидроэкструзии ультрамелкозернистой меди для повышения прочностных свойств материала находится в интервале деформаций $\epsilon_{ГЭ} = 0,6-0,9$. Режим обеспечивает дополнительно повышение почти на 10 %

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились в рамках государственного задания FREZ-2024-0001.

Список литературы

1. Morales, M., Mechanical Characterization of Copper-Copper Wires Joined by Friction Welding Using Instrumented Indentation Technique / M. Morales, E. Xuriguera, M. Marti 'nez, J. A. Padilla, J. Molera, N. Ferrer, M. Segarra, and F. Espiell // J. Mater. Eng. Perform., 2014, 23. – P. 3941– 3948. DOI:10.1007/s11665-014-1204-4.
2. Edalati K. Nanomaterials by severe plastic deformation: review of historical developments and recent advances / K. Edalati, A. Bachmaier, V. A. Beloshenko, Y. Beygelzimer et al. // Materials Research Letters. – 2022. – V. 10. N 4. – P. 163-256. DOI: 10.1080/21663831.2022.2029779.
3. Valiev, R. Z. Using severe plastic deformation to produce nanostructured materials with superior properties / R. Z. Valiev, B. Straumal, T. G. Langdon // Annual Review of Materials Research. 2022. V. 52. P. 357–382. DOI: 10.1146/annurev-matsci-081720-123248.
4. Гангало, А. Н. Влияние гидропрессования на механические свойства ультрамелкозернистой меди / А. Н. Гангало, Е. В. Яшарова, Л. Ф. Сенникова, В. Д. Суровицкий, В. В. Бурховецкий, В. А. Глазунова // Деформация и разрушение материалов. – 2025. – №10. –С. 19-27. DOI: 10.31044/1814-4632-2025-10-19-27.
5. Сенникова, Л. Ф. Влияние разовой степени деформации гидроэкструзией на механические свойства сплава АМц, предварительно обработанного равноканальным угловым прессованием / Л. Ф. Сенникова, А. Н. Гангало, Е. А. Свиридова, С. В. Васильев, В. М. Ткаченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 4 (87). – С. 71-76. EDN:EWQYCU.
6. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С. С. Горелик. – М.: МИСиС, 2005. – 432 с.
7. Pachla, W. Enhanced strength and toughness in ultra-fine grained 99.9 % copper obtained by cryo-hydrostatic extrusion / W. Pachla, M. Rulczyk, J. Smalc-Koziorowska, S. Przybysz, M. Wroblewska, J. Skiba, M. Przybysz // Materials Characterization. – 2018. – V. 141. – P. 375–387. DOI: 10.1016/j.matchar.2018.04.048.

Радиофизика и инфокоммуникационные технологии

УДК 621.372.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН НА БПЛА

Алексейчик Л.В., д-р физ.-мат. наук, проф., *Дайуб Али,*

Курушин А.А., канд. техн. наук, доц.

ФГБОУВО «НИУ «Московский энергетический институт», г. Москва, РФ

kurushin@mail.ru

Введение. В работе исследуются основные характеристики антенной решетки на сдвоенных диэлектрических резонаторах (ДР), установленных на корпусе беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Антенные системы на беспилотных летательных аппаратах представляют в настоящее время сложные конструкции, которые выполняют роль приема, передачи и обработки данных, связывающих БПЛА с командным пунктом, с навигационными системами, находящимися на спутниках, самолетах наведения, а также слежения за поражающими объектами, объектами противодействия во время ведения боя и др. функции [1–3]. Увеличение скорости передачи данных предполагает переход в диапазон см и мм волн, вплоть до диапазонов Ka и W.

Одни из первых практических реализаций антенн на диэлектрических резонаторах были предложены в работах [4–5]. В качестве излучающих элементов антенн использовались цилиндрические, прямоугольные, а также составные диэлектрические структуры. Интенсивные исследования антенн и антенных решеток заложили основы для дальнейшего совершенствования антенн на диэлектрических резонаторах (ДРА) [6–7].

Основная часть. В докладе приводятся результаты численного моделирования антенной решетки, расположенной на корпусе БПЛА. ДР выполнены в виде прямоугольных призм с размерами 2*2*4 мм из керамики с относительной диэлектрической проницаемостью равной 20.

При подаче сигнала на вход коаксиального порта, электрическое поле его внутреннего проводника, установленного над металлической пластиной в области размещения двух ДР, возбуждает электромагнитные резонансные колебания в ДР в виде токов поляризации, обеспечивающих эффективное излучение их электромагнитной энергии за счет увеличения объема токов поляризации при использовании системы из двух ДР. При этом на поверхности металлической пластины, выполняющей роль «электрической стенки» частично наводятся токи проводимости, усиливающие эффективность излучения.

За счет изменения расстояния между двумя ДР достигается широкий выбор режимов возбуждения ДР при разных значениях коэффициента взаимной связи между ДР, как докритического, критического и закритического, при которых достигается формирование трех видов АЧХ антенны, подобных АЧХ двухзвенного фильтра. Таким образом микроволновая антенна-фильтр на двух ДР дополнительно обладает свойствами полосно-пропускающего фильтра, что улучшает её избирательность и упрощает настройку.

Диаграмма направленности антенны (3D-диаграмма излучения дальнего поля) дает информацию об эффективности излучения антенны, которая определяется как отношение излучаемой мощности ко входной мощности антенны. При возбуждении прямоугольных ДР рекомендуется использование в качестве рабочих мод низшие типы колебаний [4]. При этом ДР на модах $H_{11\delta}$ и $HE_{11\delta}$ излучает как магнитный диполь, а на моде $E_{11\delta}$ излучает как электрический диполь.

Характеристики устанавливаемых на корпусе беспилотного летательного аппарата элементов антенной решетки (рис. 1) изменяются под влияние нескольких факторов: искривления отражающей поверхности, влияния корпуса летательного аппарата, который может быть как металлическим, так и из композитного материала, а также из-за взаимного влияния отдельных элементов ФАР.

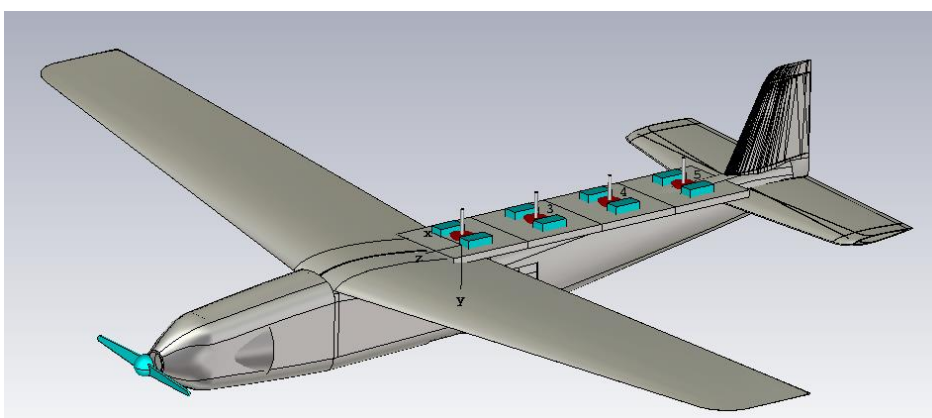


Рис. 1. БПЛА «Грант» [1,8] и установленная на его корпусе антенная решетка из 4-х пар ДР

Рассчитанные ДН при синфазном возбуждении элементов ФАР показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при увеличении кол-ва элементов ФАР имеет место сужение диаграммы направленности в направлении, перпендикулярном линии, соединяющей сдвоенные ДР, что характерно для линейной антенной решетки из двух излучателей. Однако, в случае сдвоенных ДР используется единственный источник возбуждения, что существенно отличает антенну на сдвоенных ДР от антенной решетки из двух излучающих элементов с двумя источниками возбуждения.

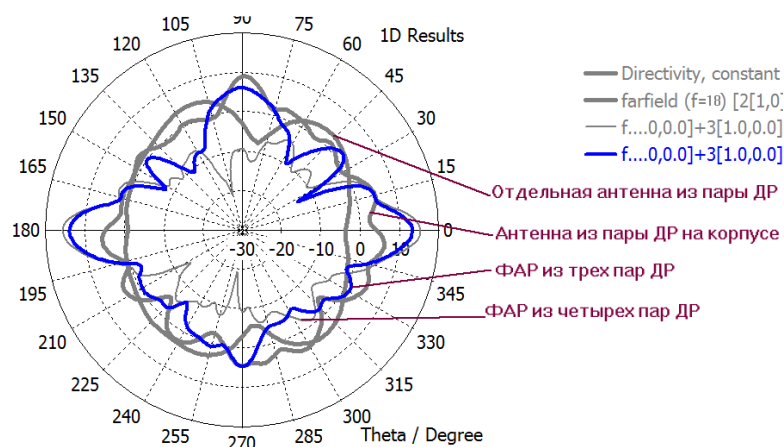


Рис. 2. Сечения ДН в азимутальной плоскости различных вариантов антенн, устанавливаемых на корпусе БПЛА

Заключение. Проведено численное моделирование основных электродинамических характеристик антенной решетки, расположенной на корпусе БПЛА и возбуждаемых коаксиальным зондом для разных его положений относительно ДР. Показано, что антенна на двух ДР дополнительно обладает свойствами полосно-пропускающего фильтра, что улучшает ее избирательность. Полученные результаты представляют интерес при разработке современных миниатюрных микроволновых антенн и антенных решеток, предназначенных для применения в широком диапазоне СВЧ частот, включая изделия поколения 5-G, в том числе для использования в современных автономных летательных аппаратах.

Список литературы

1. Чистяков Н. В. Главный конструктор ДПЛА «Пчела» / Н. В. Чистяков. – М., 2008. – 120 с.
2. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) / С. И. Макаренко. – М., 2020.
3. Литвин Ю. И. Основы применения беспилотных летательных аппаратов в артиллерийских подразделениях / Ю. И. Литвин, Н. В. Макчук, В. Е. Уткин. – М., 2023.
4. Алексейчик Л. В. Исследование миниатюрных диэлектрических СВЧ резонаторов в качестве антенных СВЧ элементов / Л. В. Алексейчик, В. М. Геворкян, Е. И. Калугин // Труды МЭИ. – 1981. – Вып. 528. – С. 31-40.
5. Long, S. A., McAllister M. W., and Shen L. C. The resonant cylindrical dielectric cavity antenna, IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – Vol. 31, No. 3, 406 – 412, May 1983.
6. Luk K. M. and Leung K. W., Eds. Dielectric Resonant Antenna, Research Studies Press, 2003.
7. Coulibaly, Y., Denidni T. A., and Boutayeb H. 'Broadband microstrip-fed dielectric resonator antenna for X-band applications,' IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 7, 341-345, 2008.
8. Дайуб А. Моделирование навигационной антенны с круговой поляризацией, расположенной на БПЛА / А. Дайуб, А.А. Курушин, А.А. Силкин // «Вестник Донецкого национального университета». Серия Г: Технические науки. – № 1/2025. – С. 26-36.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕННЫ НА СДВОЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ

Алексейчик Л.В., д-р физ.-мат. наук, проф.,

Курушин А.А., канд. техн. наук, доц.

ФГБОУВО «НИУ «Московский энергетический институт», г. Москва, РФ

kurushin@mail.ru

Введение. Представлены результаты моделирования основных электрических характеристик микроволновой антенны на сдвоенных диэлектрических резонаторах (ДР), установленных на металлической пластине и симметрично возбуждаемых коаксиальным зондом. Приведены характеристики излучения антенны на низшем магнитном типе колебаний ДР.

В работе исследуются основные характеристики антенного элемента на сдвоенных диэлектрических резонаторах (ДР), установленных на металлической пластине при их возбуждении коаксиальным зондом, предназначенного для создания антенн и антенных решеток.

Диэлектрические резонаторы выполнены из высокочастотных термостабильных материалов с повышенным значением диэлектрической проницаемости. Технической задачей предложенной конструкции антенны являлось улучшение избирательности её частотных характеристик и повышение эффективности излучения при упрощении настройки антенны, а также возможность обеспечения целенаправленности антенны на внешний источник возбуждения.

Тот факт, что открытые ДР могут излучать электромагнитную энергию в свободное пространство был хорошо известен гораздо раньше, в частности при разработках малогабаритных микроволновых фильтров [1], в конструкциях которых требовались меры по экранированию.

Одни из первых практических реализаций антенн на диэлектрических резонаторах были предложены в работах [2, 3]. В качестве излучающих элементов антенн использовались цилиндрические, прямоугольные и полусферические ДР, а также составные диэлектрические структуры [4, 5].

Основная часть. В докладе приводятся результаты численного моделирования антенны при размещении проводника коаксиального зонда симметрично относительно двух ДР между ними. ДР выполнены в виде прямоугольных призм с размерами 2*2*4 мм из диэлектрического материала с относительной диэлектрической проницаемостью равной 20 и установлены на металлической пластине (рис. 1).

При подаче сигнала питания на вход коаксиального порта, электрическое поле его внутреннего проводника, установленного над металлической пластиной в области размещения двух ДР, возбуждает

электромагнитные резонансные колебания в ДР в виде токов поляризации, обеспечивающих эффективное излучение их электромагнитной энергии за счет увеличения объема токов поляризации при использовании системы из двух ДР. При этом на поверхности металлической пластины, выполняющей роль «электрической стенки» частично наводятся токи проводимости, усиливающие эффективность излучения. При этом за счет изменения расстояния между двумя ДР достигается широкий выбор режимов возбуждения ДР при разных значениях коэффициента взаимной связи между ДР, как докритического, критического и закритического, при которых достигается формирование трех видов АЧХ антенны, подобных АЧХ двухзвенного фильтра. Таким образом микроволновая антенна на двух ДР дополнительно обладает свойствами полосно-пропускающего фильтра, что улучшает ее избирательность и упрощает ее настройку. Оптимальное согласование антенны достигается в области частот 18–19 ГГц, где имеет место возбуждение ДР на низшем магнитном типе колебаний $H_{11\delta}$. При этом силовые линии магнитного поля ориентированы вдоль наибольшего размера ДР, как показано на рис. 2 и, следовательно, векторы магнитных моментов двух ДР направлены в противоположные стороны относительно друг друга.

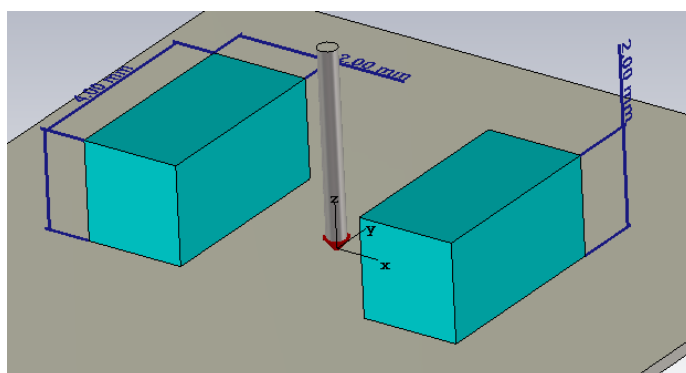


Рис. 1. Конструкция микроволновой антенны на сдвоенных ДР

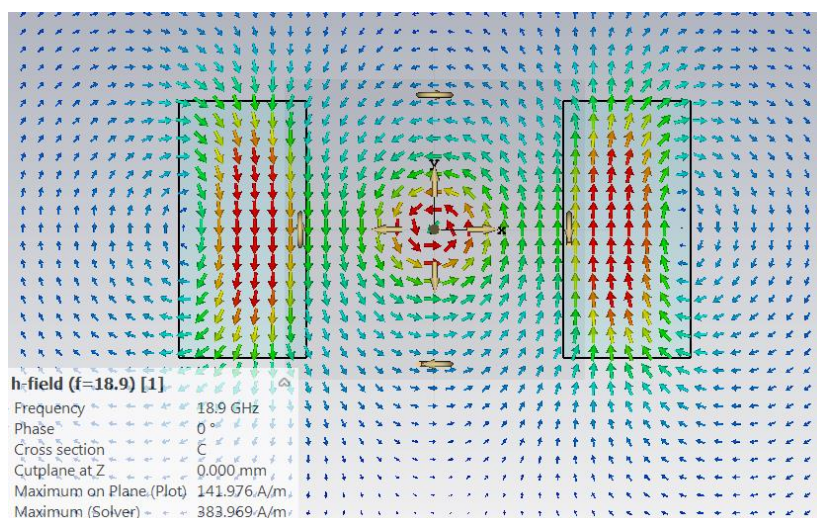


Рис. 2. Распределение векторов магнитного поля в плоскости, параллельной отрагательной пластине

Расположение проводника зонда относительно ДР позволяет выбирать предполагаемый возбуждаемый тип колебаний ДР, а электромагнитную связь можно оптимизировать, регулируя как длину, так и высоту проводника зонда.

Диаграмма направленности антенны (3D-диаграмма излучения дальнего поля) дает информацию об эффективности излучения антенны, которая определяется как отношение излучаемой мощности ко входной мощности антенны. При возбуждении прямоугольных ДР рекомендуется использование в качестве рабочих мод низшие типы колебаний [1]. При этом ДР на модах $H_{11\delta}$ и $HE_{11\delta}$ излучает как магнитный диполь, а на моде $E_{11\delta}$ излучает как электрический диполь.

Заключение. Проведено численное моделирование основных электродинамических характеристик микроволновой антенны на сдвоенных ДР, установленных на металлической пластине и возбуждаемых коаксиальным зондом для разных его положений относительно ДР. Определены типы колебаний ДР и их вариации при изменении геометрии ДРА. Подтверждается, что при смещении положения зонда возбуждения к краям ДР имеет место возбуждение низшего магнитного типа колебаний, более близкого к «идеальному типу колебаний $H_{11\delta}$ », при этом однонаправленные магнитные моменты (и линии векторов Н-поля) перпендикулярны наибольшей грани каждого ДР, что подтверждается картинками векторов поля. Показано, что антенна на двух ДР дополнительно обладает свойствами полосно-пропускающего фильтра, что улучшает ее избирательность. Полученные результаты представляют интерес при разработке современных миниатюрных микроволновых антенн и антенных решеток, предназначенных для применения в широком диапазоне СВЧ частот, включая изделия поколения 5-G.

Список литературы

1. Алексейчик Л. В. Исследование миниатюрных диэлектрических СВЧ резонаторов в качестве антенных СВЧ элементов/ Л. В. Алексейчик, В. М. Геворкян, Е. И. Калугин // Труды МЭИ. – 1981. – Вып. 528. – С. 31-40.
2. Long, S. A., McAllister M. W., and Shen L. C., The resonant cylindrical dielectric cavity antenna, IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – Vol. 31, No. 3, 406»412, May 1983
3. Luk K. M. and Leung K. W., Eds. Dielectric Resonant Antenna, Research Studies Press, 2003.
4. Coulibaly, Y., Denidni T. A., and Boutayeb H., 'Broadband microstrip-fed dielectric resonator antenna for X-band applications, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 7, 341-345, 2008.
5. Dielectric Resonator Antennas: Designs and Advances, Dipali Soren1, *, Rowdra Ghatak, Rabindra K. Mishra 3, and Dipak R. Poddar. // Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 60, 195-213, 2014

ТЕСТИРОВАНИЕ API-ИНТЕРФЕЙСОВ GraphQL

Бабичева М.В., канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

m.babicheva@donnu.ru,

Введение. GraphQL, язык запросов API, позволяет пользователю точно указать, какие данные он хочет получить в ответе, помогая избежать больших объектов ответа и множественных вызовов, которые характерны для REST API. В GraphQL есть только одна конечная точка (endpoint), через которую отправляются все запросы, как правило методом POST и запрашиваются только нужные данные [1].

Поскольку API GraphQL является довольно сложной технологией и часто применяется разработчиками в виде готовых библиотек, то тестирование API GraphQL, а главное понимание нюансов его работы, помогает выявлять проблемы на ранних этапах разработки и предоставлять безопасный API. Целью данной работы является рассмотрение и практическая реализация методов тестирования интерфейсов GraphQL на уязвимости.

Постановка задачи. Необходимо разработать несколько тестовых приложений, получающих данные по GraphQL, провести экспериментальное исследование уязвимостей, предложить методику безопасной разработки с применением API GraphQL.

Разработка уязвимых приложений и проведение атак. Уязвимые приложения разрабатывались на языке PHP версии 8.2, в данном случае значение играет использование самой технологии, а не языка. Было разработано 7 приложений, для проведения следующих атак:

1. Доступ к закрытым сообщениям GraphQL через схему и перебор полей;
2. Раскрытие приватных полей GraphQL через запрос интроспекции;
3. Обнаружение конечной точки API, раскрытие запросов и мутаций, с последующим удалением аккаунта пользователя от имени администратора;
4. Обход защиты от перебора GraphQL через длинные запросы при помощи мутации с псевдонимами;
5. Выполнение эксплойтов CSRF через GraphQL через запросы с html;
6. Получение скрытого поля через изучение запроса интроспекции;
7. Получение информации о схеме, через ошибку обработки запроса GraphQL.

В качестве инструментов использовался прокси BurpSuite с расширениями GraphQL Raider, InQL и GraphQL Playground, graphql-

visualizer, которые позволили облегчить поиск и эксплуатацию уязвимостей [2].

В результате проведения тестовых атак были получены пароли пользователей и администратора, полный доступ к их аккаунтам, конфиденциальная информация, предназначенная только легитимным пользователям, что подтвердило опасность такого рода уязвимостей (рис.).

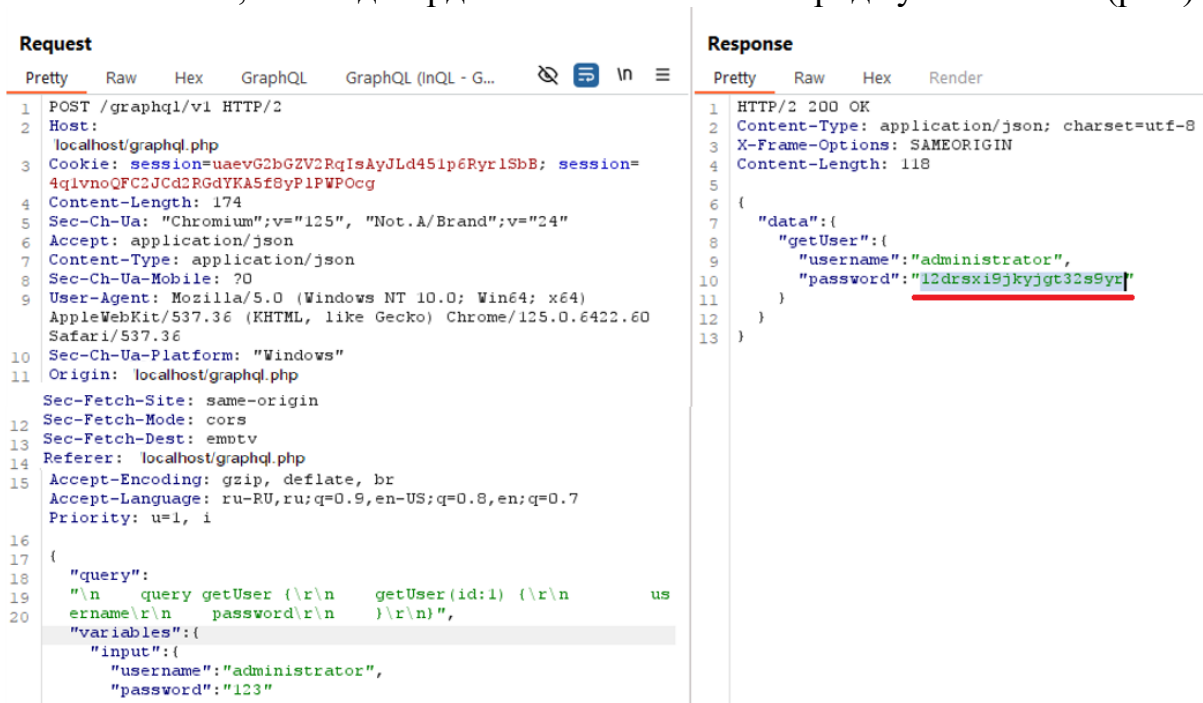


Рис. Получение пароля администратора в результате раскрытия частных полей GraphQL через запрос интроспекции на тестовом стенде

Выводы и рекомендации разработчикам. По результатам исследования главный вывод, который автор может сделать это то, что подход к защите и тестированию на уязвимости GraphQL API в значительной степени зависит от того, является ли он широкодоступным или используется исключительно внутри приложения. В зависимости от этого будут разные подходы к защите.

Общие рекомендации:

1. Ограничить количество запросов или операций, которые могут быть выполнены на конечной точке в течение определенного периода времени;
2. Использовать ограничители скорости и блокировку IP-адресов для предотвращения атак методом подбора;
3. Запретить обработку запросов не в формате json;
4. Запретить длинные запросы;
5. Удалить типы интроспекции из схемы или использовать промежуточное ПО для блокировки запросов интроспекции;
6. Осуществить тестирование приложения на все типы web-уязвимостей, включая CSRF, XSS, SQL-injection и т. д.

Во внутренних GraphQL API:

1. Изменить стандартные названия конечных точек, чтобы только разработчик смог ими манипулировать;
2. Закрыть доступ к схеме;
3. Запретить интроспекцию;
4. Строго ограничить белым списком запросы на извлечение полей и мутации;

Во внешних GraphQL API:

1. Реализовать управление доступом, чтобы гарантировать, что только авторизованные пользователи могут выполнять определенные запросы или мутации;
2. Фильтровать запросы по спискам сомнительных запросов, составленным после тестирования;
3. Все входящие данные проверить на соответствие схеме, чтобы предотвратить вредоносный ввод.
4. Использовать определенные типы данных GraphQL и пользовательские валидаторы для обеспечения строгих правил валидации;
5. Обрабатывать ошибки, выдаваемые в ответ на неправильные запросы;
6. Избегать принимать запросы с Content-Type x-www-form-urlencoded.

Поскольку инструменты Burp Suite, такие как, InQL или GraphQL Raider в процессе исследования оказался очень результативными и удобными, то автор рекомендует использовать их для тестирования. Следуя этим рекомендациям, можно значительно повысить безопасность своего API GraphQL и защитить его от распространенных уязвимостей и атак.

Результаты работы будут полезны разработчикам web-приложений, а также широкому кругу лиц, интересующихся проблемами информационной безопасности. Разработанные программы и методика будут внедрены в учебный процесс как материал для лекций и лабораторных работ по курсу «Анализ безопасности web-проектов».

Список литературы

1. Бэнкс А. GraphQL. Язык запросов для современных веб-приложений / А. Бэнкс, Е. Порселло. – СПб.: Питер, 2019. – 240 с.
2. Тестирование GraphQL: подходы, инструменты, автоматизация [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://telegra.ph/Testirovanie-GraphQL-podhody-instrumenty-avtomatizaciya-12-27-2>, свободный.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ В НАВОДОРОЖЕННЫХ МЕТАЛЛАХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Варюхин В.Н.¹, д-р физ.-мат. наук, проф., ORCID 0000-0001-7717-8745,
Малашенко В.В.^{1,2}, д-р физ.-мат. наук, проф., ORCID 0000-0001-7073-8762,
Малашенко Т.И.³

¹ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

²ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

³ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, РФ

malashenko@donfti.ru

Введение. Водородная обработка функциональных материалов является одним из перспективных направлений современного материаловедения. Это обусловлено, с одной стороны, весьма значительным влиянием водорода на механические свойства металлов и сплавов, с другой, перспективами водородной энергетики, которую многие исследователи считают энергетикой будущего по причине её экологичности и огромным запасам используемого исходного сырья [1]. Для успешного развития водородной энергетики необходимо решить ряд сложных фундаментальных задач, и их решение требует тщательного изучения взаимодействия водорода с металлами и их сплавами. Особый интерес как с фундаментальной, так и практической точки зрения представляет влияние водорода на различные процессы в металлах, в которых растворимость водорода достигает огромных значений. Это прежде всего палладий, а также ниобий, ванадий и тантал. В процессе обработки и использования металлы могут испытывать высокие внешние нагрузки, в результате действия которых происходит высокоскоростная пластическая деформация используемых металлов [2-4]. Такая деформация имеет ряд специфических особенностей, поскольку при этом начинают работать мощные коллективные эффекты, существенно изменяющие характер динамических процессов. Анализ этих процессов выполнен в рамках развитой нами теории динамического взаимодействия дефектов [5, 6]. В частности, коллективный характер динамического взаимодействия способен влиять на стабильность пластической деформации. Из-за неоднородности и немонотонности пластической деформации на поверхности металлических образцов появляются особые полосы [7]. Авторы [7] в качестве одной из причин возникновения неустойчивости пластической деформации назвали отрицательную скоростную зависимость деформирующих напряжений, порождающую динамическую неустойчивость дислокационного движения.

Целью настоящей работы является исследование влияния водорода на неустойчивость высокоскоростной деформации металлов группы палладия.

Основная часть. Задача решается с использованием результатов теории ДВД.

Скольжение краевой дислокации может быть описано неоднородным волновым уравнением

$$m \left\{ \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right\} = b \sum_i \sigma_{xy}^i \quad (1)$$

Здесь m – масса единицы дислокационной длины, b – модуль вектора Бюргерса, в правой части уравнения содержится сумма всех напряжений, создаваемых внутренними и внешними источниками на линии дислокации. Считая малыми колебания дислокации, мы можем применить теорию возмущений. Разлагаем выражение для силы торможения дислокации атомами водорода до второго порядка и производим усреднение по случайному распределению этих атомов

$$F_H = \left\langle \frac{\partial \sigma_{xy}^H}{\partial X} \iint dt' dz' G(z - z', t - t') \frac{b}{m} \sigma_{xy}^H(z', t') \right\rangle \quad (2)$$

Усреднение выполняется следующим образом

$$\langle F(r_i) \rangle = \frac{1}{L} \int_L dz \int_V F(r_1) \frac{dr_1}{V} \cdot \int_V F(r_2) \frac{dr_2}{V} \int_V F(r_3) \frac{dr_3}{V} \dots \int_V F(r_N) \frac{dr_N}{V}, \quad (3)$$

Здесь V – объем кристалла, N – число атомов водорода в металле, L – длина дислокации. Выполняя процедуру усреднения, мы устремляем к бесконечности величины N и V , отношение этих величин равно объёмной концентрации водородных атомов.

Функцию Грина G находим стандартным образом, её Фурье-образ имеет следующий вид

$$G(\omega, q_z) = \frac{1}{\omega^2 + i\beta\omega - \Delta_{dis}^2 - \Delta_H^2 - c^2 q_z^2} \quad (4)$$

Для устранения нефизической расходимости вычисляемых интегралов используем плавное обрезание упругого поля атома водорода на малых расстояниях порядка постоянной решётки

$$\sigma_{ik}^H(\mathbf{r}) = \mu R^3 \chi^H \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_k} \frac{1 - e^{-r/R}}{r} \quad (5)$$

Динамический предел текучести вычисляем по формуле

$$\tau_H = \frac{n_V^H b}{8\pi^2 m} \int d^3 q |q_x| \cdot |\sigma_{xy}^H(\mathbf{q})|^2 \delta(q_x^2 v^2 - \omega^2(q_z)), \quad (6)$$

Здесь n_V^H – объёмная концентрация атомов водорода, $\sigma_{xy}^H(\mathbf{q})$ – Фурье-образ компоненты тензора напряжений, созданных атомом водорода, $\omega(q_z)$ – спектр поперечных колебаний дислокации.

Выполняя вычисления, находим границы области динамической неустойчивости. Левая граница определяется скоростью

$$v_1 = c(n_H \chi_H^2)^{1/4} \quad (7)$$

Правую границу определяет скорость

$$v_{\min} = \chi_H \sqrt{\frac{n_H \mu b c}{B}} \quad (8)$$

Заключение. Высокая концентрация водорода существенно влияет на динамические процессы в металлах группы палладия в условиях высоких нагрузок. Из-за динамической неустойчивости движения дислокации возникает нестабильность пластической деформации.

Список литературы

1. Алефельд, Г. Водород в металлах. Основные свойства / Г. Алефельд, М. Фелькль. – М.: Наука, 1981. – 475 с.
2. Sabzi, H. Composition and process parameter dependence of yield strength in laser powder bed fusion alloys / H. Sabzi, P. Rivera-Díaz-del-Castillo // *Materials & Design*. – 2020. – V. 195. – Art. № 109024. DOI:10.1016/j.matdes.2020.109024
3. Daniel, N. Dislocation drag and its influence on elastic precursor decay / N. Daniel, Blaschke, J. Darby, Luscher // *International Journal of Plasticity*. – 2021. – V. 144. – P. 103030. DOI:10.1016/j.ijplas.2021.103030.
4. Singla, A. Hugoniot Elastic Limit of Single-Crystal Tantalum at Normal and Elevated Temperatures Subjected to Extreme Strain Rates / A. Singla, A. Ray // *Physical Review B*. – 2022. – V. 105. – P. 064102-064107. DOI: 10.1103/PhysRevB.105.064102.
5. Малашенко, В. В. Влияние плотности дислокаций на динамический предел текучести облученных металлов с гигантской магнитострикцией / В. В. Малашенко // *Физика твёрдого тела*. – 2024. – Т. 66. – № 8. – С. 1403-1407. DOI: 10.61011/FTT.2024.08.58607.60.
6. Malashenko, V. V. The Influence of Collective Effects on the Concentration Dependence of the Yield Stress of Alloys under High-Energy Impacts / V. V. Malashenko // *Technical Physics Letters*. – 2020. – V. 46. – № 9. – P. 925–927. DOI: 10.1134/S1063785020090242.
7. Сарафанов, Г. Ф. Низкотемпературная нестабильность пластической деформации в металлах, обусловленная взаимодействием дислокаций с точечными дефектами / Г. Ф. Сарафанов, И. С. Павлов, Е. Н. Разов // *Вестник научно-технического развития*. – 2019. – Т. 148. – № 12. – 31-37.

УДК 004.7

ОБЗОР КОНЦЕПЦИЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LI-FI

Веселова А.А., Мухаметзянов О.А., ORCID 0009-0009-8186-4663

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева», г. Казань, РФ

anna.veselova.03@bk.ru, vision_void@mail.ru

Интернет на сегодняшний день является неотъемлемой частью жизни человека. Каждый день люди получают или загружают информацию

из различных интернет-ресурсов. Таким образом, развитие технологий передачи данных является перспективной областью для изучения. Одной из таких технологий является Li-Fi (Light Fidelity) – технология, которая делает доступным высокоскоростной интернет с помощью световых сигналов.

Цель работы – проанализировать основные сведения о практическом применении технологии Li-Fi в настоящее время.

Li-Fi – это двуправленная беспроводная система связи, которая способна передавать данные, встроенные в луч света. Эту технологию называют системой связи видимого света (Visible Light Communication – VLC). Li-Fi позволяет преобразовать электрические сигналы в лучи света на передающей стороне, а на приёмной стороне осуществляется обратное преобразование [1].

Чтобы обеспечить передачу данных на основе технологии Li-Fi необходимы светодиод и фотодетектор. Фотодетектор является приёмником для светового сигнала и преобразователем его в электрический ток. Аналогично, для передачи светового сигнала используется светодиод, который преобразует цифровой сигнал в световой.

Свет, который используется для передачи информации с помощью технологии Li-Fi имеет некоторые особенности. Интенсивность света меняется вместе с напряжением, которое характеризует принимаемый сигнал. Из-за этого лампы начинают светиться неровным, колеблющимся светом, испуская его частицы, которые и принимают различные гаджеты. Человеческому глазу такой свет дискомфорта не доставляет, так как частота мерцания света очень высока [2].

В июле 2023 года был утверждён новый стандарт беспроводной связи IEEE802.11bb. Исходя из него скорость передачи данных Li-Fi может достичь отметки в 224 Гбайт/с в идеальных условиях [3].

Скорость передачи данных – одно из наиболее известных преимуществ технологии Li-Fi, однако, также к известным плюсам этой технологии можно отнести безопасность (за счёт ограниченности пространства для распространения света), отсутствие электромагнитного излучения, увеличенная пропускная способность и невысокая задержка, совместимость с Интернетом вещей (IoT – Internet of Things).

Рассмотрим сферы применения Li-Fi.

Таким образом данная технология применима для обеспечения бесперебойной координации между военнослужащими на различных уровнях командования. Sathya Vignesh R. et al. разработали модель шпионского бота для обеспечения безопасной передачи данных среди солдат. Для передачи данных с бота на наземную станцию они использовали комбинацию Li-Fi и Wi-Fi. Фотодиод Li-Fi передатчика направляет данные с наземной станции для хранения в облачной платформе [4].

Li-Fi может быть использован и в авиации. Например, возможно использование светодиодов внутри салона самолёта для организации беспроводной связи. В своей работе Leccese F. and Spagnolo G. S. предлагают концепт беспроводной системы связи на основе технологии Li-Fi для создания широкополосной сети внутри самолёта (рисунок), которая позволит увеличить безопасность обмена данными между членами экипажа, предоставит пассажирам свободный доступ в интернет и избавит от помех бортовое оборудование [5].

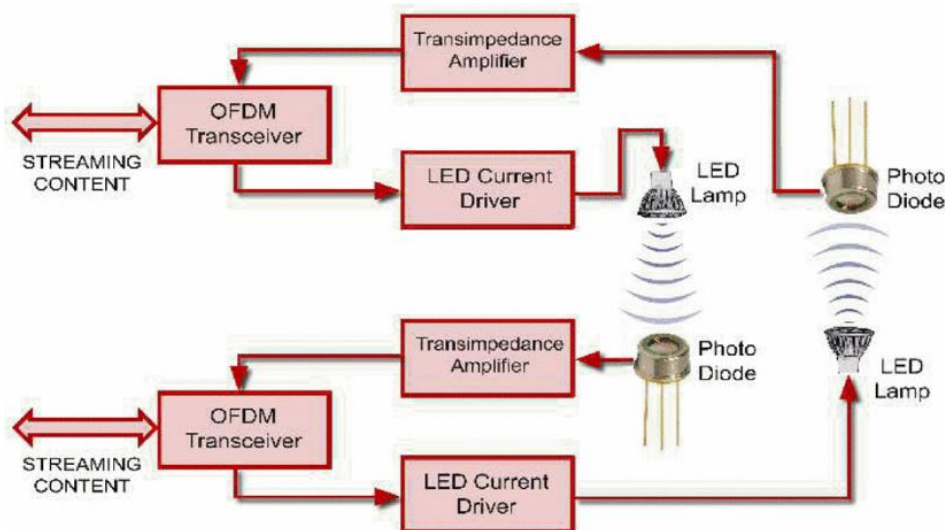


Рис. Li-Fi система связи для самолёта [5]

В современной телемедицине часто используют технологии беспроводной передачи данных с целью обеспечить людей лечением вовремя, повысить качество медицинского обслуживания, облегчить сбор медицинских данных. Li-Fi актуален для решения этих задач, в частности, в задаче обеспечения отсутствия электромагнитных помех для медицинского оборудования. Ezilarasan M. R., Leung M. F., Dai X. разработали систему передачи данных по Li-Fi на основе микроконтроллера PIC16F877A для усовершенствования цифровой системы здравоохранения. Данные о сердцебиении, дыхании и температуре пациентов преобразуются в цифровой сигнал и затем передаются с помощью светодиодов на фотодетекторы. [6].

Передача информации будет усовершенствована в местах с загруженными сетями при поддержке технологии Li-Fi, ведь дома, офисы и другие общественные локации всегда будут нуждаться в высокоскоростной и качественной передачи данных. Chinchawade A. and Sujatha P. в своём исследовании разработали систему голосовой связи на основе технологии Li-Fi в рамках домашней или офисной сети [7].

В заключение можно сказать, что Li-Fi является технологией беспроводной передачи данных с потенциалом развития и интегрирования её в разных сферах жизни.

Список литературы

1. Коровин И. В. Перспективы развития беспроводных сетей связи на примере технологии Light Fidelity (Li-Fi) / И. В. Коровин, И. С. Саранов, К. И. Брагин // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2020. – С. 16-19
2. Оразова М. Скорость технологии Li-Fi / М. Оразова, М. Якубов // European science. – 2022. – №. 1 (63). – С. 5-8.
3. Khorov E. Current status and challenges of li-fi: IEEE 802.11 bb / E. Khorov, I. Levitsky // IEEE Communications Standards Magazine. – 2022. – Vol. 6. – №. 2. – Pp. 35-41.
4. Sathya Vignesh R. et al. Model Spy Bot Using Li-Fi Technology // 2023 International Conference on Research Methodologies in Knowledge Management, Artificial Intelligence and Telecommunication Engineering (RMKMATE). – IEEE, 2023. – С. 1-4.
5. Leccese F., Spagnolo G. S. Design of Wireless Optical System for Data Transmission inside the Aircraft Cabin // 2024 11th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace). – IEEE, 2024. – С. 443-448.
6. Ezilarasan M. R., Leung M. F., Dai X. Design and Implementation of Telemedicine System Using Light Fidelity and PIC16F877A Microcontroller // 2024 14th International Conference on Information Science and Technology (ICIST). – IEEE, 2024. – С. 938-943.
7. Chinchawade A., Sujatha P. Li-Fi Based Audio Transmission With Home/Office Automation System // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 5. – №. 7 – Pp. 12533-12540.

УДК 615.849

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Галимова С.Р., ORCID 0009-0007-2554-4353,

Сандаков В.Д., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0003-1088-3978

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, РФ
gsabinarim2004@gmail, vitalysandakov@gmail.com

Введение. Цифровизация в энергетике представляет собой одно из ключевых направлений развития современной промышленности. Интеллектуальные системы управления, цифровые датчики, умные сети (smart grid), технологии больших данных и искусственный интеллект становятся частью инфраструктуры энергетических предприятий. Эти инструменты позволяют повысить эффективность, снизить затраты, улучшить прогнозирование спроса и минимизировать потери энергии.

Однако активное внедрение цифровых технологий сопровождается ростом уязвимостей и рисков. Энергетические системы становятся объектами повышенного интереса со стороны киберпреступников, так как сбой или остановка их работы может вызвать серьезные последствия для экономики и социальной сферы. Уже сегодня фиксируются примеры атак на энергетические объекты в разных странах, что подтверждает

необходимость разработки надёжной системы защиты данных и оборудования.

Цель данной работы заключается в анализе современных угроз кибербезопасности цифровых энергетических систем, рассмотрении факторов уязвимости, а также выявлении основных направлений и мер по повышению защищённости энергетической отрасли в условиях цифровизации.

Основная часть. Тенденции и вызовы цифровизации в энергетике. Современная энергетическая отрасль активно внедряет концепцию «Индустрия 4.0», где информационные технологии тесно интегрируются с производственными процессами. В энергетике это выражается через:

- внедрение «умных» сетей (smart grid), позволяющих в режиме реального времени управлять потоками энергии;
- использование Интернета вещей (IoT), объединяющего миллионы устройств в единую систему;
- развитие облачных технологий и центров обработки данных, в которых хранится информация о состоянии энергосистем;
- применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования потребления и выявления аварийных ситуаций [3].

Эти процессы открывают широкие возможности, но одновременно создают новые уязвимости. Чем сложнее система, тем больше точек потенциального доступа для злоумышленников.

Основные угрозы кибербезопасности в энергетике. Современные угрозы в области кибербезопасности энергетических систем можно условно разделить на несколько категорий:

- Несанкционированный доступ. Взлом систем управления энергосетями или отдельных устройств может привести к нарушению стабильности работы сети.
- Атаки на промышленные системы управления (SCADA). Вредоносное ПО способно вмешиваться в технологические процессы, создавая аварийные ситуации.
- Манипуляции с данными. Подмена или искажение информации от датчиков и интеллектуальных счётчиков искажает картину состояния сети и может привести к неверным управленческим решениям.
- Социальная инженерия. Киберпреступники нередко используют психологическое давление и методы обмана для получения доступа к конфиденциальным данным.
- Комплексные атаки. Совмещение технических и социальных методов значительно повышает вероятность успешного воздействия на систему [5].

Факторы уязвимости цифровых энергетических систем. Уязвимость энергетической инфраструктуры во многом связана с её спецификой.

1. Наличие устаревшего оборудования, не предназначенного для работы в условиях современных киберугроз.

2. Гетерогенность технологий, что затрудняет создание единой системы защиты.

3. Масштаб и сложность энергетических сетей, которые делают практически невозможным полный контроль всех точек доступа.

4. Рост объёмов данных, передаваемых через сеть, что увеличивает нагрузку на системы защиты.

5. Недостаточная квалификация персонала, который не всегда обладает достаточными знаниями в области кибербезопасности [1].

Методы обеспечения кибербезопасности. Для снижения рисков необходимо внедрение комплекса мер технического, организационного и образовательного характера:

1. Технические меры – использование современных средств шифрования, систем обнаружения и предотвращения атак, межсетевых экранов, а также сегментация сетей для снижения риска распространения угроз.

2. Организационные меры – разработка стандартов и регламентов по обеспечению безопасности, контроль за доступом сотрудников к системам, регулярные проверки и тестирования систем.

3. Обучение и подготовка персонала – проведение тренингов, повышение уровня киберграмотности, отработка сценариев действий при атаках [2].

4. Международное сотрудничество – обмен опытом и создание единых подходов к защите критической энергетической инфраструктуры.

5. Внедрение цифровых двойников – создание виртуальных моделей энергетических объектов для отработки сценариев атак и оценки последствий.

6. Применение искусственного интеллекта – использование алгоритмов машинного обучения для обнаружения аномалий в работе систем, прогнозирования возможных атак и их предотвращения [4].

Заключение. Кибербезопасность цифровых энергетических систем становится важнейшей задачей современной науки и практики. От надёжности защиты зависит не только устойчивость работы энергетической отрасли, но и безопасность всего общества. В условиях глобальной цифровизации энергетика должна развиваться с учётом новых рисков, а её цифровая инфраструктура – обладать высоким уровнем устойчивости к киберугрозам.

Комплексный подход, включающий технические инновации, подготовку персонала, разработку единых международных стандартов, а также использование передовых технологий искусственного интеллекта и цифровых двойников, позволит обеспечить надёжную защиту энергетических систем будущего. Только так можно минимизировать угрозы и обеспечить устойчивое развитие энергетики в условиях цифровой трансформации.

Список литературы

1. Горбачев В. В. Цифровизация энергетики и проблемы кибербезопасности / В. В. Горбачев // Энергетическая политика. – 2020. – № 4. – С. 45–52.
2. Гусев А. И. Smart Grid и вопросы информационной безопасности / А. И. Гусев, Д. Е. Платонов // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2019. – № 6. – С. 27–34.
3. Кузнецов С. М. Информационная безопасность критической инфраструктуры: проблемы и решения / С. М. Кузнецов. – М.: Наука, 2021. – 240 с.
4. Шишкин А. А. Защита информационных систем в энергетике: современные подходы и технологии / А. А. Шишкин // Вестник энергетики. – 2022. – № 2. – С. 15–23.
5. International Energy Agency. Cybersecurity in the Energy Sector: Challenges and Solutions. – Paris: IEA, 2020. – 54 p.

УДК 65.011.56:681.5.08

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ В АСУ И АСНИ

*Данилов В.В., д-р техн. наук, проф.,
Третьяков И.А., канд. техн. наук, доц.,
Подлесный В.Ю., Джанджгава К.Г.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
ut5iv@mail.ru

Введение. Устойчивый рост использования автоматизированных систем управления (АСУ) и автоматизированных систем научных исследований (АСНИ) в современных производственных процессах невозможен без постоянного качественного повышения характеристик их информационно-измерительных и управляющих систем и подсистем [1-5], особенно где критически важна точность обрабатываемых данных.

Процесс преобразования сообщений, функций непрерывного времени $\lambda(t)$ в виде функций дискретного времени λ_i , как совокупности координат, представляет собой дискретное представление непрерывных величин, по значениям которых может быть получена оценка исходного непрерывного сообщения $\lambda^*(t)$ [4, 5].

Основная часть. Дискретное представление непрерывного сообщения $\lambda(t)$ на интервале T совокупностью координат сообщения $\lambda_0, ..., \lambda_{N_K}$ и последующее восстановление по ним исходного сообщения $\lambda^*(t)$ представим в виде: $(\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_{N_K}) = A\lambda(t)$; $\lambda^*(t) = B(\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_{N_K})$, где A – оператор представления; B – оператор восстановления; $\varepsilon_{np} = \lambda_i(t) - \lambda_i^*(t)$ –

текущая погрешность дискретного представления. Операторы A и B в общем случае, могут быть как нелинейными, так и линейными, причем с одним и тем же оператором представления могут быть использованы разнообразные операторы восстановления, и наоборот. При линейном представлении и восстановлении, которыми далее и ограничимся, операторы примут следующий вид:

$$A\lambda(t) = \int_T V_i(t)\lambda(t)dt = \lambda_i; \quad i = 0, 1, 2, \dots, N_k \quad (1);$$

$B(\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{N_k}) = \sum_{i=0}^{N_k} \lambda_i W_i(t) = \lambda^*(t) \quad (2)$, где $V_i(t)$, $W_i(t)$ – соответственно весовые и базисные (координатные) функции, которые должны быть всегда нормированы так, чтобы произведение $[V_i(t), W_i(t)]$ имело размерность, обратную времени t .

В зависимости от выбора системы весовых функций $V_i(t)$ в координаты сообщения (рис. а) могут представлять собой:

- коэффициенты некоторого ряда λ_i (рис. б), при этом по (2) определяется обобщенное дискретное представление, в частном случае $V_i(t) \equiv W_i(t)$;

- текущие мгновенные значения (выборки) $\lambda(t_i)$ когда $V_i(t) = \delta(t - t_i)$, где $\delta(t - t_i)$ – дельта-функции Дирака, при этом по (1) определяется дискретное представление по выборкам (рис. в);

- конечные разности: $\Delta^N \lambda(t_i) = \sum_{k=0}^N (-1)^k C_N^k \lambda(t_i + kT_0) \quad (3)$, при

$$V_i(t) = \sum_{k=0}^N (-1)^k C_N^k \delta(t - t_i + kT_0) \quad (4), \text{ т. е. } V_i(t) \text{ является линейной комбинацией}$$

функций Дирака. При этом выражение (1) определяет дискретное разностное представление [4]. Представление разностями 1-го порядка ($N=1$), для которого согласно (3), (4) иллюстрируется на рис. з, д.

Процесс восстановления сообщения согласно (2) осуществляется при всех представлениях в виде полинома $\lambda^*(t)$ степени N_k , который по отношению к исходному сообщению $\lambda_i(t)$ аппроксимирующий (приближающий). В отдельном случае, когда в качестве координат используются выборки, а базисные функции выбраны так, что значения аппроксимирующего полинома совпадают со значениями выборок в моменты их отсчета, этот полином – интерполирующий (рис. е). При разностных представлениях восстановление выполняется, в два этапа: вначале по разностям вычисляются значения последовательных выборок, а затем по выборкам строится аппроксимирующий (или чаще интерполирующий) полином [5]. Восстановление (2) можно рассматривать также как линейную фильтрацию с импульсными функциями $W_i(t)$.

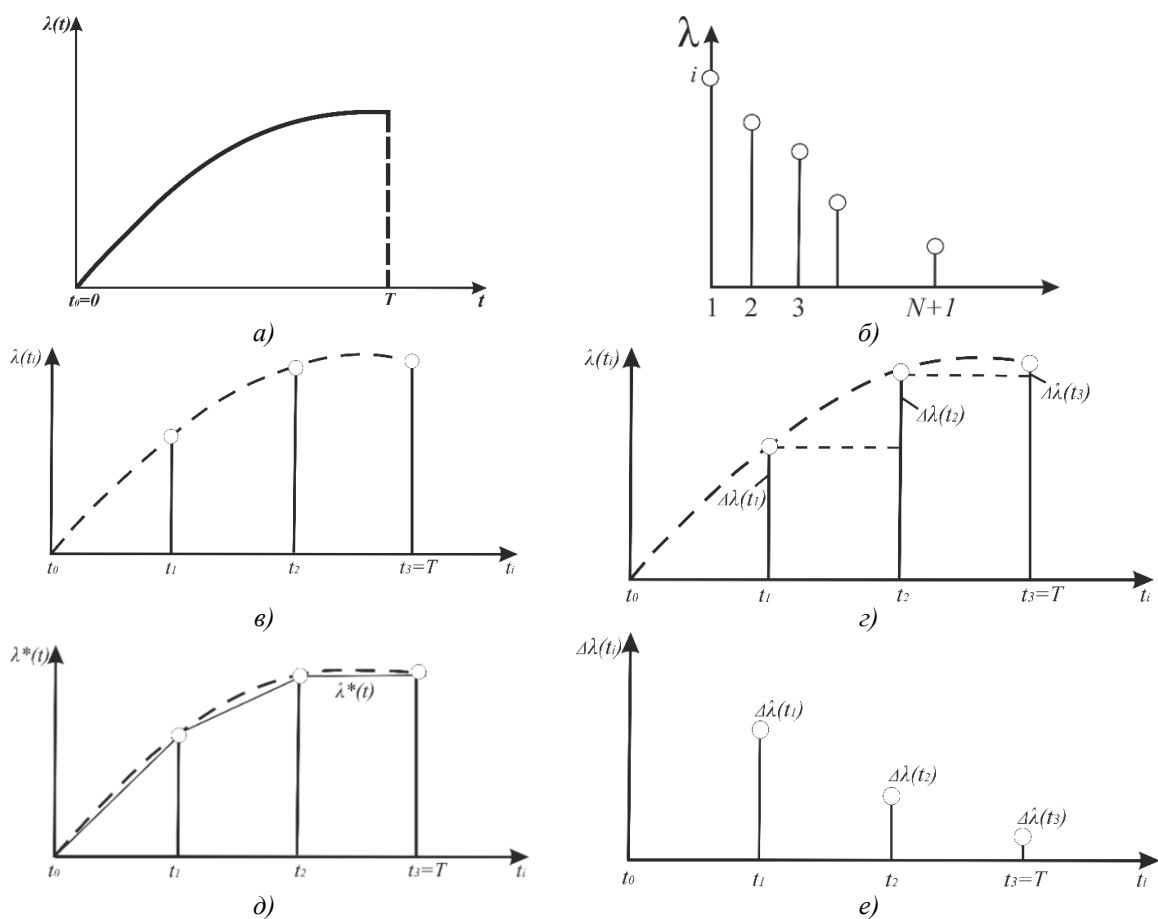


Рис. Дискретные представления непрерывного измерительного сообщения:

- а) исходное сообщение на интервале представления Т б) представление коэффициентами ряда
в) представление регулярными выборками г) формирование конечных разностей первого порядка
д) представление конечными разностями первого порядка е) восстановление исходного сообщения по выборкам путем интерполяции полиномами первого порядка (линейная интерполяция)

Заключение. Таким образом, дискретное представление непрерывных измерительных процессов показало, что при оптимальном выборе методе представления задача восстановления сводится к выбору аппроксимирующего или интерполирующего оператора. Обычно при обобщенном дискретном представлении восстановление ведется на основе аппроксимации, а при дискретном представлении выборками и разностных представлениях – путем интерполяции;

Список литературы

1. Обеспечение эффективности информационно-измерительных и управляющих систем / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, М. Н. Крамм, В. В. Шерстнев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4(34). – С. 5-16. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-1. – EDN JXMQIW.
2. Полтавский, А. В. Модель управления состоянием оптико-электронного тракта информационно-измерительных и управляющих систем / А. В. Полтавский, Н. А. Кузин, Н. К. Юрков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2023. – № 3(45). – С. 5-15. – DOI 10.21685/2307-5538-2023-3-1. – EDN ZBTOQU.
3. Синтез методов цифровой регистрации в системах сбора и обработки измерительной информации для обеспечения достоверности в информационно-управляющих

- системах / Ж. У. Севинов, Б. М. Темербекова, У. Б. Маманазаров, Б. М. Бекимбаев // Потомки Аль-Фаргани. – 2024. – №4. – С. 91-96. – DOI 10.5281/zenodo.14555403.
4. Оптимальное дискретное представление непрерывных измерительных процессов в АСУ и АСНИ / В. Ю. Подлесный, В. В. Данилов, И. А. Третьяков [и др.] // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 52-62. – DOI 10.5281/zenodo.14514529. – EDN VEQGYZ.
5. Процедура восстановления непрерывных сообщений в измерительных процессах в АСУ и АСНИ / В. Ю. Подлесный, И. А. Третьяков, В. В. Данилов [и др.] // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2025. – № 1. – С. 112-120. – DOI 10.5281/zenodo.15056709. – EDN MFJTTH.

УДК 537.622.6, 537.635

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПЛЁНОК ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА НА ВЕЛИЧИНЫ ПОЛЕЙ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Деллалов В.С., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0009-0007-0862-6832,
Непочатых Ю.И., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0002-0824-9885,
Мухин А.Б., ORCID 0009-0009-8392-0892

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ
nero@bk.ru, vladdell61@yandex.ru

Эпитаксиальные пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ) представляют значительный интерес для разработки высокочувствительных сенсоров магнитного поля. Данные предыдущих работ [1], [2] указывают на критическую роль анизотропии в управлении магнитной динамикой пленок, что порождает необходимость более глубокого изучения взаимосвязи между формой образца и его магнитоанізотропными параметрами. Для решения этой задачи был применён метод ферромагнитного резонанса (ФМР) на специализированном спектрометре, позволивший детально исследовать магнитные режимы и направления легкого намагничивания в прямоугольной ЖИГ-пленке.

В эксперименте исследовалась плёнка ЖИГ на подложке гадолиний-галлиевого граната прямоугольной формы размером $1.5 \times 6 \text{ мм}$, и толщиной 10 мкм . В процессе эксперимента обнаружено что в плёнке ЖИГ прямоугольной формы резонансное поле ФМР зависит от того куда направлено внешнее магнитное поле вдоль длинной или короткой стороны плёнки. При этом следует отметить что пленка была полностью намагничена поскольку внешнее магнитное поле было намного больше поля насыщения, а значит вектор намагниченности практически совпадал по направлению с вектором магнитного поля. Максимальное значение резонансное поле ФМР достигает, когда внешнее магнитное поле направлено вдоль короткой стороны плёнки, при этом разница между

резонансными полями ФМР соответственно поперек и вдоль плёнки составила 13 Ое. Данное явление можно объяснить различными значениями компонентов размагничивающего фактора, обусловленных конечными размерами плёнки.

Предложена теоретическая модель расчёта резонансных полей ФМР по методу [3, 4] с учётом конечных размеров образца. При расчёта коэффициентов размагничивания N_x, N_y, N_z использовались формулы [5] для эллипсоида в предельном случае когда $a > b \gg c$, где a, b, c – полуоси эллипсоида, а в нашем случае это половина длины, ширины и толщины плёнки. Представленная теория хорошо согласуется с экспериментом и позволяет рассчитать резонансные поля ФМР в зависимости от размеров плёнки. Из рис. видно, что прямоугольная плёнка имеет одноосную анизотропию с легкой осью, лежащей в направлении длинной стороны плёнки.

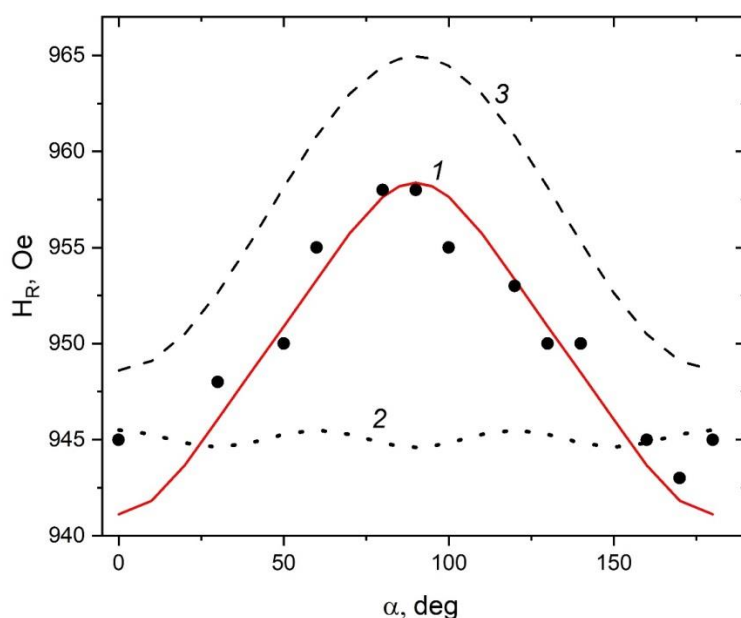


Рис. Расчётные угловые зависимости резонансных полей ФМР от угла α в плоскости плёнки. 1 – результат расчета по формулам, точки на графике – эксперимент, 2 – расчёт полей ФМР без учета размагничивающего фактора, 3 – расчёт полей ФМР когда учитывается размагничивающий фактор, но не учитывается кубическая анизотропия

Это согласуется с общими положениями магнитостатики, в частности согласно методу фиктивных магнитных зарядов, магнитные заряды концентрируются на краю плёнки и тем самым создают внутреннее магнитное поле, направленное против внешнего магнитного поля, поэтому для того чтобы получить резонансное условие ФМР необходимо приложить большее магнитное поле, и оно тем больше чем ближе магнитные заряды или чем меньше размер плёнки. Так подставляя соответствующие размеры образца в формулы [5] получаем

$$\frac{N_x}{4\pi} = 7.684 \times 10^{-4}, \frac{N_y}{4\pi} = 6.38 \times 10^{-3}, \frac{N_z}{4\pi} = 0.993.$$

Длина образца $a = 6 \text{ mm}$ а соответствующая компонента размагничивающего фактора N_x имеет наименьшее значение. Ширина образца равна $b = 1.5 \text{ mm}$ что на два порядка больше толщины плёнки, а соответствующая компонента размагничивающего фактора N_y на два порядка меньше N_z . В результате поле одноосной анизотропии в плоскости (обусловленное фактором размагничивания) тоже на два порядка отличается от внешнего магнитного поля. Отсюда следует, что для увеличения влияния анизотропии формы надо уменьшить поперечный размер плёнки. Это свойство может пригодится при конструировании и разработке датчиков магнитного поля на основе ЖИГ материалов.

Представленные в работе экспериментальные данные и теоретическая модель позволяют глубже понять роль энергии размагничивания в эпитаксиальных пленках ЖИГ конечных размеров, открывая новые перспективы для проектирования высокочувствительных магнитных сенсоров на их основе. В частности, геометрия образца существенно влияет на магнитную анизотропию формы: например, формирование узкой полосы может индуцировать выраженную легкую ось намагничивания вдоль её длинной стороны, тем самым управляя чувствительностью сенсора в заданном направлении. Такой геометрический контроль магнитных свойств представляет собой дополнительный инструмент оптимизации сенсорных характеристик без изменения химического состава материала. При этом ФМР сохраняет ключевую роль как один из наиболее информативных и точных методов исследования анизотропных магнитных состояний в таких микроструктурированных системах.

Список литературы

1. Николаенко, Ю. М. Сенсор изменений малых величин и направлений постоянного магнитного поля / Ю. М. Николаенко, Н. И. Мезин, Н. Б. Эфрос, В. И. Каменев // Физика и техника высоких давлений. – 2014. – Т. 24, № 3-4. – С. 73–81.
2. Николаенко, Ю. М. Влияние формы плёнок железо-иттриевого граната на доменную структуру и характеристики магнитных сенсоров / Ю. М. Николаенко, А. Б. Мухин, Н. И. Мезин // Физика и техника высоких давлений. – 2023. – Т. 33, № 1. – С. 86-92.
3. Smit, J. Ferromagnetic resonance of nickel and nickels alloys / J. Smit, H.G. Beljers // Philips Research Reports. – 1955. – Vol. 10, № 2. – P. 113-130. DOI 10.1.1.638.2101
4. Suhl, H. Origin and Use of Instabilities in Ferromagnetic Resonance / H. Suhl // Physical Review. – 1955 – Vol. 97, № 2. – P. 555-557. DOI. 10.1103/PhysRev.97.555
5. Osborn, J.A. Demagnetizing Factors of General Ellipsoid / J.A. Osborn // Physical Review – 1945. – Vol. 67, № 11-12, P. 351-357. DOI 10.1103/PhysRev.67.351

ПРИМЕНЕНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Дяченко А.С., ORCID 0009-0009-5362-4726, Тимофеев Б.И.

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет»,

г. Мелитополь, Запорожская обл., РФ

anna.dyachenko597@mail.ru, GooseShelter@yandex.ru

Введение. Блокчейн-технологии приобретают всё более значимую роль в современной сетевой инфраструктуре, обеспечивая децентрализованное хранение данных, прозрачность операций и повышение безопасности цифровых систем. Их внедрение открывает новые возможности для управления ресурсами и автоматизации процессов в распределённых сетях.

Целью работы является анализ применения блокчейн-технологий в сетевой инфраструктуре, выявление преимуществ и ограничений их использования, а также выработка рекомендаций по повышению безопасности и эффективности сетевых систем.

Основная часть. Современная сетевая инфраструктура развивается стремительными темпами, сталкиваясь с растущими требованиями к безопасности, масштабируемости и управлению данными. В этом контексте блокчейн-технологии выступают как инновационный инструмент, способный обеспечить децентрализованное хранение информации, защиту от несанкционированного доступа и прозрачность транзакций в распределённых системах. Как отмечается в исследованиях, «блокчейн формирует доверительную среду за счёт децентрализации и криптографической защиты данных, обеспечивая неизменность записей и возможность их независимой проверки всеми участниками сети» [1]. Основным принцип блокчейна – создание неизменяемой цепочки записей, каждая из которых проверяется с помощью алгоритмов консенсуса, что обеспечивает высокий уровень доверия между участниками сети без необходимости централизованного управления [2].

Внедрение блокчейн-технологий в сетевые системы открывает новые возможности для организации распределённых вычислительных и коммуникационных платформ. Использование децентрализованных реестров позволяет повысить устойчивость сетевой инфраструктуры к сбоям и внешним атакам, а также автоматизировать процессы управления ресурсами и аутентификации пользователей. Эти технологии обеспечивают целостность и прозрачность транзакций, минимизируя риски мошенничества и ошибок. По мнению исследователей, «применение смарт-контрактов в сетевых системах не только автоматизирует выполнение операций, но и минимизирует человеческий фактор, повышая прозрачность и предсказуемость процессов за счёт чётко заданных условий

их исполнения» [3]. Такие технологии создают условия для реализации «умных сетей», где мониторинг и контроль операций выполняются в режиме реального времени, снижая риски человеческого фактора и повышая эффективность эксплуатации.

Анализ существующих решений показывает, что блокчейн активно используется для оптимизации работы дата-центров, систем распределённого хранения данных и облачных платформ. Смарт-контракты обеспечивают автоматическое выполнение сетевых операций и управление доступом к ресурсам, а распределённые регистры фиксируют все изменения конфигураций и состояния устройств. Примеры внедрения блокчейна включают платформы для управления интернетом вещей, защищённые корпоративные сети и системы обмена данными между облачными сервисами, где обеспечивается целостность, прозрачность и отслеживаемость операций.

Эффективность применения блокчейн-технологий напрямую связана с их интеграцией в существующую сетевую архитектуру и адаптацией алгоритмов консенсуса под требования конкретных задач. Для крупных распределённых систем важным аспектом является баланс между скоростью обработки транзакций и безопасностью сети, что требует комплексного подхода к проектированию инфраструктуры. Одновременно блокчейн стимулирует развитие новых протоколов передачи данных и механизмов взаимодействия узлов сети, способствуя формированию более гибких и адаптивных систем.

Практическая значимость внедрения блокчейна в сетевую инфраструктуру проявляется в повышении устойчивости и прозрачности сетевых процессов, а также в возможности создания инновационных сервисов на основе децентрализованных технологий. Разработка и внедрение блокчейн-решений позволяют организациям оптимизировать управление данными, минимизировать риски потери информации и повысить доверие пользователей к цифровым сервисам. В долгосрочной перспективе это открывает путь к формированию интеллектуальных сетевых экосистем, где безопасность, автоматизация и прозрачность операций становятся ключевыми факторами эффективности.

Таким образом, блокчейн-технологии выступают не только инструментом обеспечения безопасности и прозрачности данных, но и драйвером инноваций в сетевой инфраструктуре, создавая возможности для более эффективного распределения ресурсов, автоматизации процессов и интеграции современных распределённых систем. Их применение в сетевых системах постепенно формирует новую парадигму управления и взаимодействия, где децентрализация и надёжность данных становятся центральными элементами архитектуры.

Применение блокчейн-технологий в сетевой инфраструктуре характеризуется рядом очевидных преимуществ, среди которых

децентрализация управления данными, повышение прозрачности операций и улучшение защиты информации. Благодаря распределённому хранению и неизменяемости записей, блокчейн снижает риски утечек и фальсификаций данных, а внедрение смарт-контрактов позволяет автоматизировать процессы распределения ресурсов и управления доступом. Вместе с тем, использование блокчейна сталкивается с ограничениями, включая высокие требования к вычислительным мощностям, возможные задержки при обработке транзакций и сложности масштабирования для крупных сетевых систем. Эти факторы требуют тщательного анализа и адаптации технологий под конкретные сценарии эксплуатации.

Для успешного внедрения блокчейна важно учитывать архитектуру систем и цели проекта, интегрировать децентрализованные реестры поэтапно, настраивать консенсус под нагрузку, обеспечивать совместимость с протоколами и оптимизировать шифрование и смарт-контракты, что повышает надёжность и управляемость инфраструктуры.

Заключение. В результате анализа установлено, что блокчейн повышает безопасность и прозрачность сетевых систем, автоматизируя управление данными и ресурсами. Локально это усиливает устойчивость инфраструктуры, ускоряет обработку данных и повышает надёжность. Глобально технология развивает научную базу децентрализованных решений и укрепляет доверие к цифровым сервисам. Перспективы связаны с оптимизацией алгоритмов, созданием новых протоколов и расширением интеграции в цифровые экосистемы.

Список литературы

1. Аннаева А. Р. Инновационные подходы к кибербезопасности: обзор и анализ / А. Р. Аннаева, А. Д. Оразгулыева, А. Б. Тойлыева, С. Г. Абдурахманов // CETERIS PARIBUS. – 2024. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-podhody-k-kiberbezopasnosti-obzor-i-analiz> (дата обращения: 11.08.2025).
2. Исаева Д. Г. О блокчейн-технологии / Д. Г. Исаева // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2024. – № 10-1 (116). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-blokcheyn-tehnologii> (дата обращения: 12.08.2025).
3. Петренко С. А. Модель квантовых угроз безопасности информации для национальных блокчейн-экосистем и платформ / С. А. Петренко, А. А. Балябин // Вопросы кибербезопасности. – 2025. – № 1 (65). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-kvantovyh-ugroz-bezopasnosti-informatsii-dlya-natsionalnyh-blokcheyn-ekosistem-i-platform> (дата обращения: 13.08.2025).

ГИБРИДНОЕ ГОМОМОРФНОЕ ШИФРОВАНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Евстифеева Е.А., 0009-0002-4428-8870

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
г. Астрахань, РФ
el_solitario@bk.ru

Введение. Беспроводные сенсорные сети (БСС) являются ключевым компонентом Интернета вещей и поддерживают широкий спектр приложений, включая мониторинг среды обитания, предотвращение стихийных бедствий, автоматическое управление и безопасность инфраструктуры. БСС состоят из сенсорных узлов, которые собирают данные из окружающей среды. Из-за ограниченной дальности связи и вычислительной мощности узлов в беспроводных сенсорных сетях обычно применяют специальные алгоритмы маршрутизации. Традиционные сетевые протоколы, а также их функции безопасности, не подходят для этих условий и не могут быть использованы для снижения угроз в БСС [1]. Для решения данной проблемы разработаны различные алгоритмы маршрутизации, обеспечивающие эффективную передачу данных в БСС. Однако они остаются уязвимыми для таких угроз безопасности, как лавинные атаки и прослушивание [2]. Выбор правильного криптографического метода имеет важное значение в беспроводных сенсорных сетях. Криптографические методы для БСС должны быть разработаны с учетом ограничений сенсорных узлов, принимая во внимание размер кода, объем данных, время обработки данных и энергопотребление.

Существует два основных типа криптографических методов: симметричное шифрование, использующее общий секретный ключ для шифрования и дешифрования, и асимметричное шифрование, использующее пару ключей (открытый и закрытый).

Симметричное шифрование включает в себя шифрование открытого текста с применением математического алгоритма с секретным ключом. Полученные зашифрованные данные (шифротекст) передаются получателю, который затем расшифровывает их обратно в открытый текст, используя тот же секретный ключ [3]. Если несанкционированный пользователь получит доступ к ключу, он сможет расшифровать шифротекст и раскрыть исходные данные. Симметричное шифрование широко используется в безопасности Интернета вещей для защиты передачи данных в сети и часто интегрируется с другими криптографическими методами для обеспечения дополнительных уровней безопасности. Такой подход помогает обеспечить конфиденциальность, целостность и подлинность передаваемых данных.

Асимметричное шифрование основано на паре ключей: открытом и закрытом. Пользователь генерирует эту пару ключей, при этом открытый ключ используется для шифрования данных, а закрытый ключ – для их расшифровки. Преимуществом асимметричного шифрования является то, что оно устраняет необходимость в безопасном распределении ключей, что является распространённой проблемой при симметричном шифровании [4]. Однако асимметричное шифрование, как правило, медленнее и требует больших вычислительных ресурсов по сравнению с симметричным. Асимметричное шифрование часто используется вместе с другими методами безопасности, такими как симметричное шифрование, хэш-функции и цифровые подписи, для создания многоуровневого подхода к безопасности.

Гибридное гомоморфное шифрование. Рассматриваемое в статье гибридное гомоморфное шифрование для защиты данных в беспроводных сенсорных сетях состоит из четырех этапов:

Этап 1 – передача исходных идентификационных данных и генерация защищенного канала. На данном этапе пользователь отправляет исходные идентификационные данные поставщику ключей идентификации и создает защищенный канал. Для этого используется алгоритм Диффи-Хеллмана. Данный алгоритм рассматривается как математический алгоритм, который помогает двум системам сгенерировать идентичный секретный ключ, передаваемый обеими системами. Однако эти системы не взаимодействуют друг с другом. Передаваемый секретный ключ используется для безопасной трансляции криптографического ключа шифрования. Этот алгоритм эффективен для шифрования данных в сети на основе протокола SSL или TLS. Кроме того, этот алгоритм обеспечивает развертывание протокола SSH. После завершения безопасной передачи симметричного ключа данные шифруются и устанавливается безопасное соединение.

Этап 2 – генерация и передача виртуальной идентификации. Поставщик ключевой идентификации предоставляет пользователю свой поставщик идентификации и закрытый ключ. Кроме того, он отправляет открытый ключ и идентификатор в БСС. На данном этапе используется метод гомоморфного шифрования для шифрования данных. Такой метод обеспечивает надежность работы с зашифрованной информацией и сохранение фактических результатов операций над базовыми открытыми текстовыми операндами. Этот подход включает в себя ряд приложений и применяется для выполнения вычислений над зашифрованными данными на основе скрытых от него данных. Для управления шифротекстом и для его извлечения применяется гомоморфное шифрование, позволяя проводить вычисления и обработки непосредственно в беспроводной сети. Выходные данные предоставляются пользователям в виде шифротекста. При таком подходе нет необходимости в регулярном шифровании и дешифровании между БСС и пользователями. Это приводит к снижению объема передаваемых данных и вычислительных затрат.

Этап 3 – безопасность данных. На данном этапе зашифрованные данные передаются в беспроводную сенсорную сеть. Далее БСС получает открытый ключ и идентификатор от поставщика идентификаторов, а также закрытый ключ от пользователя. Затем сеть сосредотачивается на расшифровке обоих ключей и сохранении данных.

Этап 4 – расшифровка данных. После завершения выбранных вычислений с зашифрованными данными результаты генерируются в зашифрованном виде. Владелец данных, ответственный за владение ключом дешифрования, может расшифровать результат для получения конечного результата. Гомоморфное шифрование состоит из различных уровней, определяющих виды операций, подходящих для сохранения шифрования. Более того, доступны также методы частично гомоморфного шифрования, такие как шифрование Пайе и т.д. Однако эти методы включают лишь ограниченное количество операций, таких как сложение и умножение, а полностью гомоморфные методы шифрования могут быть использованы для выполнения сложных вычислений.

Заключение. Производительность беспроводных сенсорных сетей страдает от утечек данных и проблем безопасности. Поэтому для обеспечения мер безопасности и конфиденциальности поставщики услуг уделяют особое внимание использованию методов криптографии, методов аутентификации и виртуализации. Важным шагом для обеспечения безопасности БСС является устранение рисков безопасности и сохранение конфиденциальности. В данной работе предложена схема на основе гомоморфного шифрования, которая будет менее сложной и более безопасной для распространения сертификатов. Предлагаемый метод основан на алгоритме Диффи-Хеллмана и является более эффективным по сравнению с существующей моделью шифрования на основе идентификаторов для обеспечения безопасности данных в БСС.

Список литературы

1. Identity-Based Encryption for Cloud Computing/ J. Li, L. Zhang, D. S. Wong // Proceedings of the IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom). – 2013. – P. 387-394.
2. Attribute-Based Encryption with Privacy Preserving in Cloud Computing/ S. Yu, C. Wang, K. Ren, W. Lou, // Proceedings of the IEEE INFOCOM. – 2010. – P. 1-9.
3. Authorized Private Keyword Search over Encrypted Data in Cloud Computing / M. Li, S. Yu, N. Cao, W. Lou // Proceedings of the IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS). – 2010. – P. 383-392.
4. Identity-Based Encryption with Outsourced Revocation in Cloud Computing / X. Li, M. Li, S. Chen // Proceedings of the IEEE International Conference on Cloud Computing (CLOUD). – 2012. – P. 730-737.

ПРЕДИКТИВНАЯ КАТЕГОРИЗАЦИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СТИЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ АРХИТЕКТУР ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Захаров В.А., ORCID 0009-0008-1978-2993,
Савотченко С.Е., д-р физ.-мат. наук, проф., ORCID 0000-0002-7158-9145
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе», г. Москва, РФ

Введение. Эффективная категоризация конфиденциальной информации становится стратегически важной из-за роста неструктурированных текстовых данных. Традиционные методы, основанные на лексическом анализе, ограничены и требуют постоянного обновления правил, а человеческий фактор остается основным источником уязвимостей. Машинное обучение, особенно глубокое, сосредоточено на семантическом анализе и не позволяет осуществлять проактивное прогнозирование. Перспективным направлением является стилометрия, анализирующая стиль текста, так как авторы используют различные стилистические паттерны в зависимости от уровня секретности информации, что делает стилометрию высокоинформативным инструментом для предиктивной категоризации.

Цель работы – систематизация и анализ теоретических и методологических основ стилометрической предиктивной категоризации конфиденциальных документов с использованием глубокого обучения.

Основная часть. Стилометрия эволюционировала от атрибуции текстов до цифровой криминалистики, идентифицируя авторов в открытых и закрытых коммуникациях. В цифровую эпоху её применяют для анализа анонимных угроз и в судебной экспертизе, фокусируясь на стилистических различиях в разных контекстах. В отличие от классической стилометрии, наш подход выявляет стилистические инварианты, связанные с уровнем конфиденциальности документов.

Психолингвистическая гипотеза стилистической маркировки утверждает, что когнитивные и эмоциональные состояния, связанные с обработкой секретной информации, влияют на язык. Работа с важной информацией вызывает повышенную умственную напряженность, формальность стиля, структурную ригидность и использование специализированной терминологии [1, 2]. Социально-ролевой контекст также влияет на стиль, формируя специфический «жанровый» подход, отличный от других форм коммуникации.

Мы предполагаем, что существует устойчивая корреляция между уровнем конфиденциальности и набором стилистических характеристик, которые можно выявить статистическими методами. Этот подход позволяет категоризировать информацию на основе её стилистических

особенностей, что особенно важно для проактивной безопасности и защиты корпоративных и государственных данных.

Развитие стилометрии от классических статистических методов к глубоким нейронным архитектурам знаменует переход от поиска лингвистических маркеров к автоматическому выявлению скрытых стилистических инвариантов. В данной главе проводится сравнительный анализ трёх ключевых классов глубоких нейронных сетей: свёрточных нейронных сетей (CNN), рекуррентных нейронных сетей (RNN/LSTM) и трансформеров, которые доказали свою эффективность в анализе авторского стиля.

Свёрточные нейронные сети (CNN): Эти сети адаптированы для анализа текстов через матричное представление контекстуализированных векторных представлений слов, выявляя локальные стилистические микропаттерны, такие как характерные сочетания служебных слов и лексические конструкции. CNN обладают устойчивостью к шуму, высокой вычислительной эффективностью и инвариантностью к позиции паттернов, что делает их эффективными для задач авторской атрибуции, хотя они не способны моделировать глобальные контекстуальные зависимости.

Рекуррентные нейронные сети (RNN) и их модификации (LSTM, GRU) обрабатывают последовательные данные, сохраняя информацию о предыдущих элементах в скрытом состоянии, что позволяет выявлять стилистические характеристики, такие как ритм и синтаксическая сложность. Эти архитектуры эффективны в моделировании долгосрочных зависимостей и учёте порядка слов, но склонны запоминать содержание текста, что ограничивает их обобщающую способность и требует значительных вычислительных ресурсов.

Трансформеры, включая модель BERT, революционизировали обработку естественного языка благодаря механизму самовнимания, который формирует контекстуализированные векторные представления слов, содержащие семантическую и стилистическую информацию. Эти модели обладают высокой производительностью в задачах авторской атрибуции, но имеют высокую вычислительную сложность и требуют больших объёмов данных для предобучения, а также вызывают сложности в интерпретации стилистических паттернов.

Стилометрический анализ обладает значительным потенциалом для предиктивной категоризации, но сталкивается с фундаментальными вызовами. Основные из них – разделение стиля и содержания текста, а также нехватка крупных, размеченных и конфиденциальных данных. Методологические проблемы включают отделение стилистических особенностей от семантического наполнения. Перспективные подходы включают контрастное обучение и состязательные архитектуры, а также методы синтетической генерации данных и федеративное обучение [3].

В критически важных областях, таких как безопасность, необходимо объяснять решения стилометрических моделей, чтобы избежать использования «черного ящика». Для этого применяются методы Explainable AI, такие как визуализация механизмов внимания и пост-хок методы. Модели также подвержены риску состязательных атак, поэтому важно использовать аугментацию данных и регуляризацию.

Этические и правовые аспекты внедрения систем анализа стиля требуют разработки четких регламентов и соблюдения принципов минимальной достаточности и прозрачности. Нарушение приватности сотрудников и восприятие анализа стиля как формы слежки могут вызвать серьезные этические риски.

Перспективные направления включают создание гибридных и мультимодальных моделей, динамический анализ и адаптацию к изменениям в стиле, а также кросс-доменное и few-shot обучение. Эти подходы помогут улучшить точность и применимость стилометрических методов в различных условиях и областях [4].

Заключение. Анализ интеграции стилометрии и глубокого обучения выявляет переход от реактивной к проактивной категоризации конфиденциальной информации, акцентируя внимание на стилистических паттернах вместо только содержания текстов. Современные методы позволяют выявлять чувствительные документы до полного семантического анализа, подтверждая корреляцию между стилем и уровнем конфиденциальности. Трансформеры показывают наибольший потенциал среди архитектур глубокого обучения

Список литературы

1. Сальников Е. А. Применение стилометрии для определения сгенерированных текстов / Е. А. Сальников, А. А. Бонч-Осмоловская // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Красноярск, 25–28 сент. 2023 г.). – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2023. – С. 176–182.
2. Алиева О. В. Delta Берроуза для древнегреческих авторов: опыт применения / О. В. Алиева // Scholē. Философское антиковедение и классическая традиция. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 693–705. .
3. Tran A. T. A comprehensive survey and taxonomy on privacy-preserving deep learning / A. T. Tran, T. D. Luong, V. N. Huynh // Neurocomputing. – 2024. – Vol. 576. – P. 127345. – DOI: 10.1016/j.neucom.2024.127345.
4. Alshammari R. S. Privacy-Preserving Deep Learning Framework Based on Restricted Boltzmann Machines and Instance Reduction Algorithms / R. S. Alshammari, Y. S. Alotaibi, M. M. Hassan // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – Art. No. 1224. – DOI: 10.3390/app14031224.

УПРАВЛЕНИЕ РЕПУТАЦИОННЫМИ РИСКАМИ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ: МОДЕЛЬ РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Иванова А.А., Корепанова Е.Г.

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, РФ
nnmlkv161102@gmail.com

Введение. В современном бизнесе активное взаимодействие с цифровыми технологиями обуславливает повышение уязвимости к различным видам рисков. В условиях стремительной цифровизации собственники организаций сталкиваются с многочисленными угрозами, способных существенно повлиять на репутацию и финансовое состояние компании. Для минимизации рисков критически важно своевременно и корректно реагировать на инциденты ИБ (информационной безопасности).

Цель данной статьи заключается в разработке универсального протокола для служб ИБ, направленного на сокращение репутационного ущерба в результате утечек информации.

Основная часть. На сегодняшний день большинство современных организаций все чаще переходят в цифровую среду. Компании используют CRM-системы для оптимизации бизнес-процессов, социальные сети для взаимодействия с потребителями и продвижения на рынке, облачные платформы для хранения и обработки данных. Эти инструменты позволяют повысить эффективность и работоспособность компании, что способствует росту конкурентоспособности и устойчивому развитию бизнеса. Однако, именно цифровые технологии зачастую являются центром притяжения для киберпреступников и хакерских атак. Так в 2014 году хакеры взломали систему Starwood Preferred Guest, где хранились данные о клиентах отелей Marriott [1]. В результате данной атаки сеть отелей Marriott International была вынуждена заплатить 124 миллиона долларов штрафа за утечку данных, около 500 миллионов клиентов стали жертвами инцидента, а компания получила серьезный удар по своей репутации.

Репутация выступает одним из решающих конкурентных преимуществ в эпоху цифровых коммуникаций. Даже малейший инцидент в области ИБ способен нанести весомый ущерб компании.

Руководитель Ernst & Young Global в области информационных технологий и ИТ-рисков Пол Ван Кессел заявил: «На формирование торговой марки и деловой репутации могут уйти годы, в то время как всего лишь один инцидент в области ИБ может нанести им существенный ущерб или даже привести к непоправимым последствиям» [2]. Слова Пол Ван

Кессела подчеркивают, что обеспечение ИБ для современного бизнеса – это не техническая задача, а стратегическая необходимость для защиты главного актива бизнеса: доверия клиентов, партнеров и инвесторов.

Кроме того, Елена Бочерова, исполнительный директор IT-компании «Киберпротект», рассуждает о том, что даже самые защищенные организации страдают от успешных кибератак. Внимание к ИБ уменьшает шансы проведения кибератаки, а в случае достижения злоумышленниками своих целей – грамотные действия служб ИБ позволяют восстановить деятельность организации быстро и без существенных потерь [3]. Таким образом, обостренное внимание к вопросу обеспечения ИБ повышает вероятность сокращения хакерских атак и сохранения репутации компании. Это подтверждает необходимость комплексного и проактивного подхода к управлению информационными рисками.

Разработка и внедрение протокола служб ИБ, а также создание модели реагирования, направленной на оперативное выявление и нейтрализацию угроз, является необходимым элементом стратегического управления ИБ бизнеса в современных реалиях. Предлагаемый нами протокол состоит из пяти ключевых этапов, содержащих конкретные шаги и ожидаемые результаты. Этапы данного протокола рекомендуется реализовывать сразу же после обнаружения утечки данных.

Этап 1: Первичная идентификация и классификация инцидента. Необходимо провести мониторинг систем безопасности, выявить факт утечки или нарушения информации, классифицировать инцидент по степени критичности. В результате служба ИБ должна получить чёткое понимание первичной картины инцидента.

Этап 2: Локализация и сдерживание угрозы. На данном этапе техническим специалистам необходимо остановить утечку и предотвратить дальнейшее распространение данных.

Этап 3: Анализ и устранение уязвимостей. Третий этап предполагает проведение детального расследования инцидента, а также реализацию мер по устранению уязвимостей. В результате будут устранены причины повторения подобных инцидентов, а также повысится уровень ИБ.

Этап 4: Разработка и реализация коммуникационной стратегии – ключевой фактор управления репутацией. В случае успешной реализации будет сохранено или восстановлено доверие аудитории, минимизирован репутационный ущерб через активное управление информацией.

Этап 5: Пост-инцидентное восстановление и оценка. Компания переходит к фазе восстановления нормального функционирования информационной системы. Завершающим этапом будет проведение операций, направленных на извлечение опыта. В результате бизнес-процессы компании будут восстановлены, повысится эффективность системы защиты и готовности к будущим инцидентам.

Пошаговая инструкция предлагаемого протокола представлена на рисунке. Разработанный протокол представляет структурированный

подход к управлению репутационными рисками при ИБ-инцидентах. Реализация каждого этапа обеспечивает не только технологическую защиту, но и стратегическую готовность к непредвиденным ситуациям.



Рис. Модель реагирования на инциденты информационной безопасности

Заключение. В условиях стремительной цифровизации и роста киберугроз обеспечение ИБ становится важнейшей составляющей стратегического управления любой современной организацией. Внедрение предложенного протокола реагирования на ИБ-инциденты позволят не только эффективно противостоять киберпреступникам, но и снизить репутационные потери, укрепляя доверие клиентов и партнеров, а также демонстрируя свою надежность и высокий уровень профессионализма.

Список литературы

1. Американская ежедневная газета The New York Times [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nytimes.com/2018/12/11/us/politics/trump-china-trade.html> (дата обращения: 24.09.2025).
2. РИА Новости [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20081015/153245697.html> (дата обращения: 24.09.2025).
3. Киберпротект [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberprotect.ru/> (дата обращения: 25.09.2025).
4. Вострецова Е. В. Основы информационной безопасности: учебное пособие для студентов вузов / Е. В. Вострецова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 204 с.
5. Козлова Н. П. Особенности формирования деловой репутации современной компании / Н. П. Козлова. – Литрес, 2016. – 442 с.

УЯЗВИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ШАБЛОНОВ НА СТОРОНЕ СЕРВЕРА

Киселёв Г.О., Бабичева М.В., канд. техн. наук, доц.
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
georgiykiselov@outlook.com, m.babicheva@donnu.ru

Введение. Небезопасное внедрение пользовательского ввода в шаблоны приводит к возникновению уязвимости внедрения шаблона на стороне сервера (Server-Side Template Injection) – часто критически важной уязвимости, которую очень легко спутать с межсайтовым скриптингом (XSS) или вообще пропустить. В отличие от XSS, внедрение шаблона может использоваться для прямых атак на внутренние компоненты веб-серверов и часто приводит к удалённому выполнению кода (RCE), превращая каждое уязвимое приложение в потенциальную точку атаки. Внедрение шаблонов может происходить как по ошибке разработчика, так и в результате преднамеренного раскрытия шаблонов в попытке предоставить богатую функциональность, как это часто бывает в блогах, маркетинговых приложениях и системах управления контентом [1].

Эксплуатация уязвимости внедрения шаблонов. Целью работы является анализ механизмов внедрения шаблонов на стороне сервера, методов эксплуатации уязвимостей SSTI и защиты от них. Было проведено экспериментальное исследование эксплуатации данной уязвимости на различных шаблонизаторах и языках программирования PHP, Python, Java, Java Script. Для экспериментов использовались написанные авторами тестовые приложения на перечисленных языках программирования, а также приложения со сторонних ресурсов для специалистов по информационной безопасности [2]. Всего исследованы 8 web-приложений написанных на языках Python, Ruby, Java, JavaScript, PHP с применением шаблонизаторов Jinja2, Tornado, ERB, Freemake, Handlebars, Twig. Разработаны задания для соревнований ctf с возможностью демонстрации эксплуатации уязвимостей ssti. Основным результатом успешной атаки считалось получение RCE, то есть возможности исполнять произвольные команды на удаленном сервере. Если удавалось скачать секретный файл с сервера или удалить пользователя, атака также считалась успешной.

Результаты. В ходе практической части работы было исследовано 8 приложений на различных языках, фреймворках и шаблонизаторах с ssti уязвимостями, которые были проэксплуатированы и получен доступ к системным вызовам или удаленному исполнению команд на сервере. Результаты тестирования представлены в таблице.

Результаты тестирования уязвимых веб-приложений

№	Шаблонизатор	Язык	Тестовый шаблон	Особенности, приводящие к SSTI	Результат тестирования
1	Flask Jinja2	Python	{{7*7}}	Передача ввода в шаблон напрямую без фильтрации	Доступ к секретному документу через RCE
2	ERB	Ruby	<%=7*7%>	Передача содержимого напрямую в GET параметр	Вызов метода system() ведущий к RCE
3	Tornado	Python	user.name}} {{7*7}}	Отсутствие фильтрации параметров POST запроса	RCE через параметр POST запроса
4	Freemaker	Java	\${7*7} #{7*7}	Создание произвольных объектов при помощи функции new()	RCE через создание класса Execute()
5	Handlebars	Java Script	Определение шаблонизатора через ошибку ввода	Вызов метода exec() через дочерний процесс метода require()	Создание RCE при помощи известного эксплойта
6	Django	Python	{% debug %}	Вывод отладочной информации, который в production отключать	Получение секретного ключа через встроенные механизмы отладки
7	Freemaker	Java	\${7*7}	Построение цепочки вызовов методов через доступный метод шаблонизатора product-classloader- new instance-execute	Чтение секретного файла через метод шаблонизатора Execute()
8	Twig	PHP	user.setAvatar()	Внедрение функции загрузки изображений в параметр POST запроса, игнорирование сервером реального mime типа загружаемых изображений	Чтение серверных файлов через функцию загрузки аватаров, анализ кода, вызов функций из кода с другими параметрами

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Первоочередное значение имеет определение шаблонизатора и языка программирования. Для тестирования использовались специальные наборы шаблонов [3]. Даже если шаблоны не срабатывают, можно определить шаблонизатор по сообщениям об ошибках.

2. После обнаружения SSTI и параметра, куда ее можно внедрить изучается логика работы приложения, используемые методы, функции и классы, анализируется документация на фреймворк и сам шаблонизатор.

3. В большинстве случаев цель атаки – получение RCE, с последующим выполнением произвольных команд на сервере. Однако иногда через вызов методов шаблонизатора или фреймворка можно исполнить необходимую команду.

4. Все проведенные атаки стали возможны благодаря невнимательному использованию шаблонизаторов разработчиками или отсутствию тестирования приложений на уязвимость к ssti.

Методы защиты. Для предотвращения уязвимостей SSTI предлагаются следующие методы: по возможности избегать динамического рендеринга шаблонов, не использовать готовые решения из интернета без тестирования и анализа кода, тщательно проверять и фильтровать пользовательские входные данные для предотвращения внедрения вредоносного кода в шаблоны, кодировать все введенные пользователем данные перед их отображением в шаблоне, чтобы предотвратить выполнение вредоносного кода, применять sandbox для безопасного рендеринга шаблонов, если фреймворк это позволяет, использовать брандмауэр веб-приложений (WAF), для обнаружения и блокирования подозрительных запросов, обновлять программное обеспечение и платформы с помощью последних исправлений безопасности, чтобы предотвратить использование известных уязвимостей, информировать разработчиков об опасностях атак SSTI и принимать участие в отечественных программах BugBounty.

Разработанные программы и методика будут внедрены в учебный процесс как материал для лекций и лабораторных работ по курсу «Web-программирование», «Анализ безопасности web-приложений» а также для тренировок к играм ctf.

Список литературы

1. SSTI exploitation [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://telegra.ph/SSTI-exploitation-05-02>, свободный.
2. Server Side Template Injection [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://portswigger.net/web-security/server-side-template-injection>, свободный
3. SSTImap Extra Plugins [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://github.com/vladko312/extras>, свободный.

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ В RFID-СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ АСУ: АНАЛИЗ УГРОЗ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ

Колесник Е.В., Данилов В.В., д-р техн. наук, проф.
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
ketrinkilli@yandex.com, ut5iv@mail.ru

Введение. Промышленные автоматизированные системы управления (АСУ) широко применяются в металлургии, энергетике, транспорте и логистике [1-3]. Внедрение RFID-технологий в эти системы позволяет автоматизировать учет и контроль, однако это сопряжено с дополнительными уязвимостями [4-6].

Как отмечается в работе Бельского В.С. и др. [5], RFID-системы часто не соответствуют требованиям безопасности из-за отсутствия криптографических механизмов, особенно в пассивных метках с ограниченными ресурсами.

Цель – проанализировать методы поиска и устранения уязвимостей в RFID-системах промышленных АСУ.

Основная часть. Путем анализа структуры RFID-систем в разносферных АСУ, были выявлены уязвимости и угрозы безопасности, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Выявленные в АСУ с RFID уязвимости безопасности

Уязвимость	Причина	Последствия	Решения
Перехват данных	Отсутствие шифрования в протоколах (MODBUS, EPC Gen2)	Кража данных, несанкционированный доступ	Шифрование (TLS 1.3 для MODBUS/TCP), метки NXP UCODE DNA (AES-128)
Подделка меток	Клонирование ID пассивных меток (отсутствие динамической аутентификации).	Мошенничество, кража грузов	Уникальный TID + динамическая аутентификация, сертификация
Коллизии	Одновременное считывание >100 меток (ограничения EPC Gen2).	Потеря данных, сбои в учёте	Антиколлизийные алгоритмы (Impinj Octane SDK, EPC Gen2)
Атаки на протоколы	Уязвимости в EPC Gen2/MODBUS (отсутствие проверки целостности).	Отказ системы, искажение данных.	Переход на OPC UA с шифрованием, конвертеры протоколов (MODBUS → OPC-UA)

Продолжение таблицы 1

Влияние металла	Экранирование радиосигнала (снижение дальности до 30%).	Снижение дальности считывания.	Метки с диэлектрической прослойкой
Высокие температуры	Повреждение меток при +85°C.	Отказ системы учёта.	Термостойкие метки (керамика, до +1700°C), охлаждение считывателей.
Электромагнитные помехи	Работа рядом с мощным оборудованием (дуговые печи, сварочное оборудование).	Ложные срабатывания считывателей.	Экранирование антенн, фильтрация сигнала

Также помимо описанных выше уязвимостей существуют проблемы совместимости стандартов и протоколов (табл. 2).

Таблица 2

Проблемы совместимости стандартов и протоколов RFID-систем

Стандарт/Протокол	Ограничения	Последствия
ГОСТ ISO/IEC 15963-1-2021	Неполная совместимость с EPC Gen2 (различия в антиколлизийных алгоритмах).	Дополнительные затраты на адаптацию ПО.
EPC Gen2	Ограниченная поддержка в отечественных АСУ.	Необходимость конвертеров протоколов.
MODBUS	Не все RFID-считыватели поддерживают промышленные протоколы.	Сложности интеграции с АСУ.
Profibus	Требуется дополнительных шлюзов для связи с RFID.	Увеличение задержек в передаче данных.

Основные атаки на RFID-системы:

1. Клонирование (уязвимость пассивных меток позволяет злоумышленникам получить доступ к системам учёта).
2. Relay-атаки (перехват и ретрансляция сигналов, злоумышленник может ретранслировать сигнал легитимной метки, обманывая систему контроля доступа).
3. Атаки на протоколы (уязвимости в EPC Gen2 и MODBUS позволяют модифицировать данные без аутентификации).

Исходя из обозначенных уязвимостей и угроз, а также на основе изложенного в [5, 6] составлена таблица 3 о методах защиты RFID-систем в промышленных АСУ.

Таблица 3

Методы защиты RFID-систем в промышленных АСУ

Метод защиты	Описание	Применение для RFID-систем
Сегментация сети	Разделение сети на зоны с разным уровнем доступа.	Разделение трафика RFID-считывателей и корпоративной сети.
Межсетевые экраны (NGFW)	Фильтрация трафика на уровне приложений.	Блокировка несанкционированных запросов к RFID-считывателям.
Мониторинг аномалий	Использование SIEM-систем (например, IBM QRadar).	Обнаружение аномальной активности RFID-меток (например, неожиданное считывание).
Резервирование оборудования	Дублирование критичных узлов.	Резервные RFID-считыватели для повышения отказоустойчивости.
Обновление прошивок	Регулярное обновление ПО контроллеров.	Обновление прошивок RFID-считывателей (например,).
Криптографическая защита	Использование AES-128, PRESENT, SIMON (ISO 29167-11, ISO 29167-21).	Защита данных на метках и в канале передачи.
Протоколы distance-bounding	Учет времени распространения сигнала для защиты от relay-атак.	Реализация в считывателях для критичных зон (например, СКУД).

Заключение. В ходе анализа выявлены ключевые уязвимости RFID-систем в промышленных АСУ (табл. 1, табл. 2). Предложены следующие меры защиты:

- технические – шифрование (TLS 1.3, AES-128), антиколлизийные алгоритмы (EPC Gen2), протоколы distance-bounding;
- системные – сегментация сети, мониторинг аномалий (SIEM), резервирование оборудования;

Отмечена необходимость стандартизации (переход на OPC UA, использование меток с уникальным TID и сертификацией). Реализация предложенных решений позволит повысить надежность и безопасность АСУ с интегрированными RFID-системами.

Список литературы

1. Махов С. М., Интеграция блокчейн-технологий и умной упаковки в цепочку поставок пищевой промышленности / С. М. Махов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – №7-2(106). – С.242-246.
2. Эргашев Б. А. Эволюция методов прослеживаемости пищевой продукции от бумажных журналов к цифровым реестрам / Б. А. Эргашев // Экономика и социум. – 2025. – №5(132). – С.1600-1603.
3. Хамзаев Д. И. О процессе маркировки мешков готовой продукции на предприятии АО «Farg'onaazot»/ Д. И. Хамзаев, С. М. Абдурахмонов, И. Х. Хамзаев // Universum: Технические науки. – 2023. – № 7(112). – С. 40-43.
4. Жинкина, А. С. Уязвимости радиочастотной идентификации в системах безопасности / А. С. Жинкина, К. Г. Джанджава, И. А. Третьяков // Донецкие чтения 2021: Мат. VI Межд. науч. конф. (Донецк, 26-27 октября 2021 г.). – Том 2:

- Физические и технические науки. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2021. – С. 160-162. – EDN LOKOLH.
5. Безопасность RFID-систем / В. С. Бельский, Е. С. Грибоедова, К. Д. Царегородцев, А. А. Чичаева // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – V. 9, № 9. – С. 1-20.
6. Волошина Н. В., Алгоритм обнаружения RFID-дубликатов / Н. В. Волошина, А. А. Лавринович // Научно-технический вестник ИТМО. – 2022. – Т. 22. – № 1. – С. 67–73.

УДК 621.396

К ПРИМЕРАМ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С НИЗКОЙ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИЕЙ

Кузнецов А.А., ORCID 0009-0006-6790-2043,

Карловский А.П., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0006-1074-3221
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет –
Казанский авиационный институт им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, РФ
artkuz2017@gmail.com, apkarlovskiy@kai.ru

Введение. В данной работе продолжено исследование техник реализации систем множественного доступа с кодовым разделением сигналов, в частности – псевдослучайных последовательностей; реализован алгоритм генерации ансамблей Голда и Касами.

Основная часть. Ознакомившись [1, 2] с системами множественного доступа с кодовым разделением (CDMA) и разработав в [1] программный генератор последовательности максимальной длины (м-последовательности), предметом моего интереса стало изучение более совершенных подходов в этой области. Ограничиваясь рассмотрением решений для CDMA, основной ценностной характеристикой псевдослучайных последовательностей в этой области является низкая взаимная корреляция (ВК) таких кодов, позволяющая эффективно реализовывать системы с низкой толерантностью к ошибкам. Таким образом, предметом изысканий становится:

1. Получение кодов с минимальной ВК
2. Максимизация количества таких кодов

На сегодняшний день существует большое количество решений, удовлетворяющих обоим вышеуказанным условиям; остановимся же мы на двух из них – ансамблях Голда и Касами.

Ансамбль Голда – это семейство псевдослучайных кодов, получаемое на основе одной м-последовательности. Очевидно, это подразумевает кратное увеличение числа каналов, для которых мы сможем реализовать кодовое разделение.

Механизм получения:

- Первым кодом Голда в ансамбле является исходная m -последовательность. Затем производится её децимация (взятие каждого d -ого элемента исходной последовательности) с индексом децимации d , взаимно простым с периодом m -последовательности, циклически, так, чтобы размер новой последовательности совпадал с размером исходной. Это – второй код ансамбля.

- Третья последовательность формируется поэлементным сложением по модулю 2 двух предыдущих кодов.

- Последующие $2^n - 2$ (n – длина регистра сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС), создающего исходную m -последовательность) кодов также формируются поэлементным суммированием по модулю двух, но уже исходной последовательности с её циклически сдвинутой децимацией.

Общее число кодов в ансамбле обусловлено, очевидно, количеством возможных циклических перестановок децимации и равно $2^n + 1$.

Генерация ансамбля Касами на принципиальном уровне не сильно отличается от Голда, но такие коды имеют некоторые ощутимые различия в итоговых свойствах.

- Возьмем m -последовательность с чётной длиной РСЛОС (она будет первым кодом), а также её децимацию с $d = 2^{\frac{n}{2}} + 1$

- d не является взаимно простым с периодом m -последовательности; период децимации, таким образом, будет равным $L = 2^{\frac{n}{2}} - 1$

- Теперь L кодов Касами периода $2^n - 1$ так же, как и в случае с ансамблем Голда, формируются поэлементным суммированием по модулю двух исходной последовательности с циклически сдвинутой децимацией.

Нетрудно заметить, что число кодов Касами равно $L + 1$. Проигрыш в количестве по сравнению с ансамблем Голда в данном случае компенсируется выигрышем в уровне корреляционного пика в несколько дБ [2].

Описываемые алгоритмы были реализованы в среде MATLAB, примеры семейств корреляционных функций (КФ) для ансамблей Голда и Касами с длиной РСЛОС 6 и 10 представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

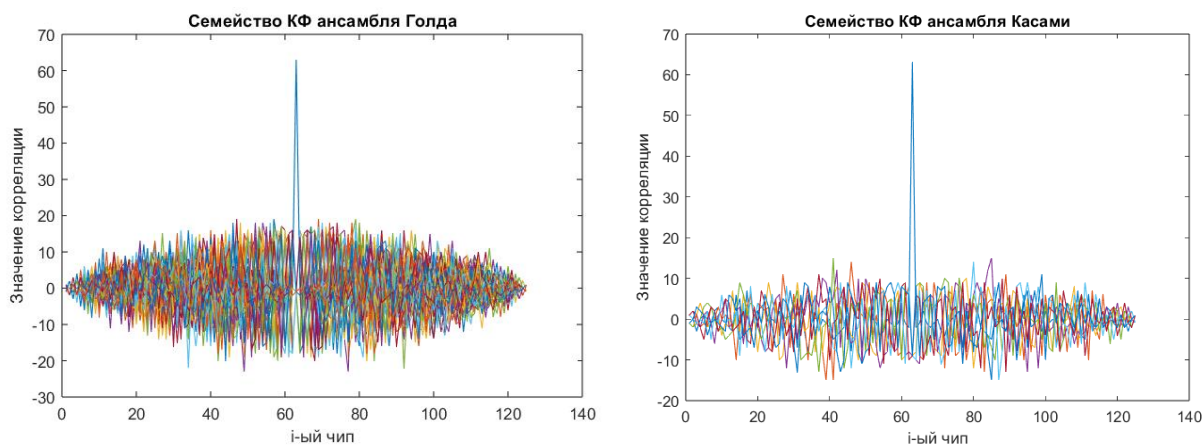


Рис. 1. Семейства КФ для $n = 6$

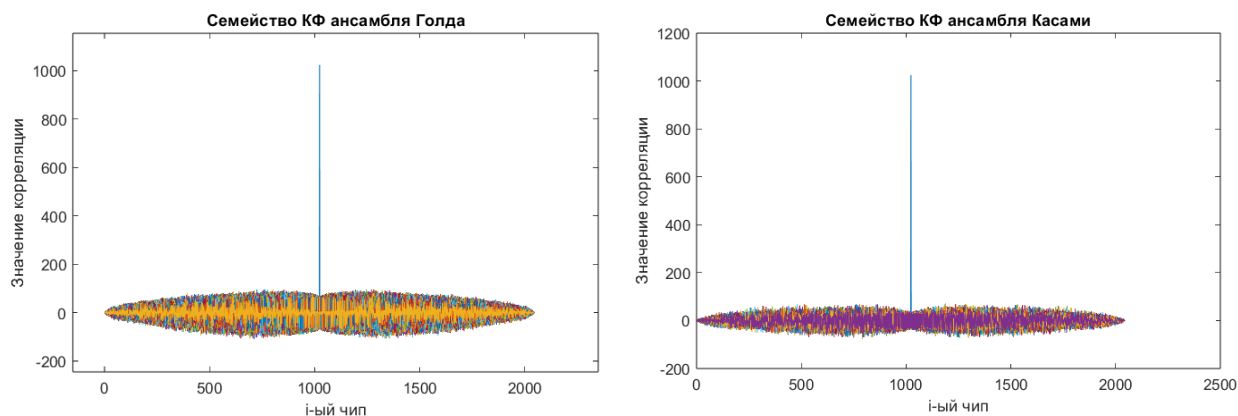


Рис. 2. Семейства КФ для $n = 10$

Закключение. Предложенные методы решают проблему количества различных модуляционных кодов в CDMA-системах.

Список литературы

1. Пример программной реализации генератора псевдослучайной последовательности максимальной длины [Текст] / А. А. Кузнецов [и др.] // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: сб. науч. работ. – Тольятти: Изд-во Тольяттинского гос. ун-та, 2025. (в печати)
2. Ипатов, В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения [Текст]: монография / В. П. Ипатов. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с. – DOI 10.1002/0470091800.

УДК 621.396

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ В КАНАЛАХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

Кузнецов А.А., ORCID 0009-0006-6790-2043,

Мухаметзянов О.А., ORCID 0009-0009-8186-4663

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, РФ
artkuz2017@gmail.com, vision_void@mail.ru

Введение. Определение и формирование подходящей схемы моделирования рассеяния в системах широкополосной связи является актуальной проблемой ввиду ряда причин. Во-первых, в зависимости от параметров и желаемых характеристик конкретной развёртываемой сети решающими факторами в процессе разработки становятся различные особенности такой сети. Они будут определять, на чём будет акцентировано внимание инженера и то, какая модель будет применена. Во-вторых, удобство применения в каждом конкретном случае также является немаловажным параметром выбора. Зачастую нет никакой

необходимости усложнять аппроксимации на порядки, так как улучшение результатов будет незначительным.

Основная часть. В рамках этой работы рассмотрены некоторые модели, разработанные для описания характеристик распространения радиосигнала при пространственном разнесении и в решениях с использованием умных антенн.

В общем случае, существуют три типа источников рассеяния. Первый – рассеиватели около базовой станции. Их характеристики варьируются в зависимости от конкретной конфигурации: в микросотах базовая станция находится ниже среднего уровня крыш зданий, следовательно, существует значительный разброс угла прихода сигнала на станцию. В макросотах ситуация обратная, отчего разброс угла прихода и задержек относительно мал. Второй тип – рассеиватели около мобильной станции. Таковыми считаются объекты сравнимых высот с мобильными станциями, следовательно, здесь также присутствует значительный угловой разброс. Третий – рассеяние от удалённых объектов. Это возможный вариант во внегородских сценариях распространения. Характеризуется малыми значениями углового разброса и большими временными задержками, а также значительным разбросом их значений.

Перейдём к описанию существующих моделей рассеяния.

В кольцевой модели расположения рассеивателей (рис. 1) применены следующие допущения: базовая станция (БС) находится на некоторой значимой высоте, отчего не подвержена влиянию близлежащих источников рассеяния, в то время как для мобильной станции (МС) справедливо обратное, причем рассеиватели расположены вкруг около неё. Приняв за D расстояние между станциями и за R радиус кольца, получим соотношение для дискретного угла прихода [1]:

$$\theta_k = \frac{R}{D} \sin\left(\frac{2\pi}{N} k\right), \quad k = 1, \dots, N$$

Изначально модель применялась для оценки корреляции сигнала как функции расположения элементов антенны.



Рис. 3. Кольцевая модель рассеивателей

Существует группа моделей, для которых характерно представление рассеивателей с помощью функции их пространственного распределения. Плотности распределения вероятностей времени и угла прибытия,

соответствующих каждому источнику рассеяния, определяются здесь исходя из местоположения источника, причём считается, что при прохождении сигнала от БС к МС имеет место только одно отражение.

Модель макросоты предполагает, что рассеиватели расположены в пределах радиуса R вокруг МС (рис. 2).



Рис. 2. Модель макросоты

Такая модель даёт высокую вероятность компонент многолучевой интерференции, поэтому она предпочтительна к использованию в случаях крупных сот, где все такие компоненты имеют незначительно малый угловой разброс. Оптимальный выбор радиуса расположения рассеивателей при моделировании определяется окружающей средой и может быть подстроен под конкретные условия.

Гауссовская в широком смысле стационарная некоррелированная (ГШССН) модель рассеяния строится на предположении о том, что все различные компоненты многолучевой интерференции независимы. Тогда предположения о стационарности и некоррелированности рассеяния позволяют нам описывать радиоканал с точки зрения и времени, и частоты. Здесь многолучевая интерференция неразрешима в рамках кластера, и рассматривается лишь результирующее его влияние. Некоррелированность рассеивателей физически обычно интерпретируется представлением их как группы кластеров (рис. 3). Такой подход используется и в более продвинутых моделях [2].

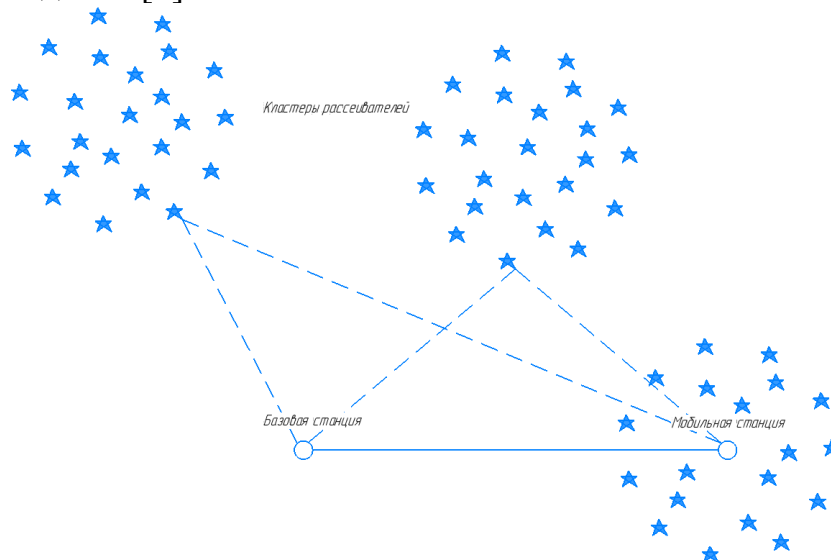


Рис. 3. ГШССН модель рассеяния

Заключение. Предложенные способы моделирования рассеяния могут быть использованы при разработке систем радиосвязи. Логичным продолжением дальнейших исследований может стать изучение подобных моделей в MIMO (multiple-input multiple-output) системах.

Список литературы

1. Цуолос, Д. MIMO System Technology for Wireless Communications [Текст]: монография / George Tsoulos. Boca Raton: CRC Press, 2018. – 400 с. – ISBN 9781420005929 – DOI: 10.1201/9781315222011.
2. Яльден, Н. Analysis and Modelling of Joint Channel Properties from Multi-site, Multi-Antenna Radio Measurements [Текст]: дис. PhD / Niklas Jalden. – Stockholm: Kungliga Tekniska hogskolan, 2010. – 242 с. – ISBN 978-91-7415-565-5.

УДК 004

БЛОКЧЕЙН КАК ОСНОВА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТОВ

Кулигин М.Л.¹, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-0695-4780,

Ремесник Е.С.^{1,2}, канд. экон. наук, доц., ORCID 0000-0001-5360-3778

¹ФГБОУ ВО «Херсонский технический университет», г. Генічеськ, Херсонська обл., РФ

^{1,2}ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»,
г. Симферополь, РФ

al4emic@yandex.ru, es2704@mail.ru

Введение. Со времени появления технология блокчейн в России, согласно терминологии кривой Гартнера, уже успела пережить «пик чрезмерных ожиданий», спуститься в «пропасть разочарования» и начать постепенно подниматься по «склону просветления». Многие компании стремились вставить в своё название модное слово «блокчейн», только на январь 2018 г. в России насчитывалось 50 подобных зарегистрированных юридических лиц [1]. В ходе экспериментов и применения данной технологии выявлялись принципы, особенности и проблемы её использования, ажиотаж вокруг блокчейна стал постепенно спадать [2–4]. Следует отметить, что в силу уникальности блокчейн-технология имеет потенциал в определенных направлениях. Одним из них является проект Центрального банка РФ по созданию цифровой валюты на базе блокчейна [5]. Это позволит ускорить платежи, снизить издержки и повысить прозрачность расчетов как для граждан, так и для бизнеса и государства. Основой для инновации выступают смарт-контракты.

Цель данной статьи – разработать концептуальную модель и представить практические сценарии интеграции смарт-контрактов на блокчейне с корпоративным порталом Битрикс24, направленные на

значительное повышение информационной безопасности проектов за счет обеспечения целостности данных, автоматизации контрактных обязательств и создания надежной, прозрачной системы учета и контроля.

Основная часть. В последние годы в компаниях различной формы собственности для оптимизации, цифровизации и автоматизации бизнес-процессов внедряют CRM-системы, ERP-системы, системы управления проектами. Среди различных инструментов выгодно отличается корпоративный портал Битрикс24 [6]. Функционал помогает решать основные задачи бизнеса любого масштаба. Как корпоративный портал данный сервис служит основой совместной работы. Взаимосвязь с клиентами обеспечивают CRM функции. Кроме того, функционал позволяет ставить задачи сотрудникам, управлять проектами, автоматизировать бизнес-процессы. Готовые инструменты позволяют легко настроить проекты в Битрикс24 по различным методологиям, например, в виде Скрам либо Канбан-доски. Рассмотрим следующую ситуацию. Компания, у которой установлен портал Битрикс24, производит заказ на выполнение проекта у Подрядчика. Проект разбивается на определенные этапы. Предполагается, что за каждый выполненный этап проекта Заказчик обязуется произвести определенный платеж. Для сформулированной ситуации можно обозначить следующие проблемы:

- со стороны Заказчика: необходимость вручную отслеживать выполнение этапов проекта, инициировать платежи, беспокойство о невыполненных обязательствах после оплаты;
- со стороны Подрядчика: риск не получить оплату после выполнения работы, задержки платежей, необходимость постоянно напоминать о себе;
- общие: отсутствие прозрачности и автоматизации в процессе оплаты по вехам проекта, необходимость участия посредников (банков, платежных систем) с комиссиями и задержками.

Решением данных проблем является интеграция смарт-контракта с платформой Битрикс24, способная создать прозрачную, автоматизированную и доверительную систему оплаты за проектные этапы. Битрикс24 выступает как интерфейс управления проектом, а смарт-контракт обеспечивает надежность и автоматизацию финансовых обязательств, концептуальная схема представлена на рисунке.

Рассмотрим сценарий работы системы автоматизированных выплат Подрядчикам за выполнение проектных этапов через Битрикс24 с использованием смарт-контрактов. Основные архитектурные компоненты:

1. Модули портала Битрикс24: «Задачи», «Сделки», «Проекты», «CRM», «Кастомные поля», «Вебхуки», «REST API»;
2. Промежуточный сервис, написанный, например, на Node.js и развернут на сервере. Использует Web3.js (для Ethereum) или аналогичные библиотеки для взаимодействия с блокчейном. Слушает вебхуки от

Битрикс24. Отправляет запросы к REST API Битрикс24. Использует подписание транзакций.

3. Блокчейн-сеть: например, Ethereum.

4. Смарт-контракт (Solidity): разработанный смарт-контракт типа «Escrow» или «Multi-sig Project Payment».



Рис. 1. Концептуальная схема интеграции смарт-контракта с платформой Битрикс24

Краткое описание сценария:

1. Создание Проекта в Битрикс24.
2. Инициализация смарт-контракта.
3. Депонирование средств Заказчиком.
4. Выполнение этапа проекта.
5. Выплата для этапа проекта.
6. Завершение сделки.

Таким образом интеграция смарт-контракта на блокчейне с инструментом Битрикс24 обеспечивает прозрачность и доверие между сторонами проекта. Все транзакции и взаимодействия фиксируются в блокчейне и могут быть проверены, обеспечивая безопасность сделки. Промежуточный сервис может также реализовать механизмы аудита, чтобы гарантировать, что все действия соответствуют заранее установленным условиям и требованиям.

Заключение. Смарт-контракты значительно расширяют перспективы использования блокчейн-технологии в различных сферах с точки зрения информационной безопасности. Следует отметить определенные угрозы и проблемы использования смарт-контрактов. Например, ошибки в программировании, логике контракта могут стать причиной уязвимости. Поэтому необходимо проводить тестирование и аудит контракта до его запуска. Ещё одной проблемой является наличие квалифицированных кадров для использования данной технологии, так как требуются компетенции не только в области программирования, но и понимание основ блокчейна, компетенции в области информационной безопасности.

Список литературы

1. Блокчейн в России [Электронный ресурс] // Tadviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Блокчейн_в_России (Дата обращения 04.08.2025)
2. Платонов В. В. Проблемы и перспективы использования блокчейн-технологий в деятельности предприятий / В. В. Платонов, Г. И. Спиридонов // Известия СПбГЭУ.— 2021.— №3 (129). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-i-perspektivy-ispolzovaniya-blokcheyn-tehnologiy-v-deyatelnosti-predpriyatiy> (дата обращения: 04.08.2025).
3. Смирнова А. А. Проблемы и перспективы использования технологии блокчейн в цифровой экономике России / А. А. Смирнова, Д. Р. Вялитова // Экономика и предпринимательство.— 2023.— № 7. URL: <https://search.rads-doi.org/showfile/ru/46562> (дата обращения: 04.08.2025).
4. Дудин В. С. Перспективы и проблемы применения блокчейн-технологий в транспортной логистике // Современная экономика: проблемы и решения. – 2024. DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2024/10/75-87.
5. Цифровой рубль [Электронный ресурс] // Tadviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Цифровой_рубль (Дата обращения 04.08.2025)
6. Битрикс24. Официальный сайт. URL: <https://www.bitrix24.ru/> (Дата обращения 04.08.2025)

УДК 796.092

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНАЭРБНОГО И ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ПОРОГОВ

Малахов П.С., ORCID 0009-0007-6526-3134,

Красильников А.А., ORCID 0009-0007-8260-0649,

Коробков А.А., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-0885-8218,

Овчинников А.Л., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0005-0892-5686

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, РФ

malakhovps@stud.kai.ru

Введение. Аппаратный контроль показателей потребления кислорода (ППК) и выделения углекислого газа (ПКВУ) во время тестирования спортсменов является одним из наиболее объективных методов определения предельной физической нагрузки, энергообеспечение которой обеспечивается в основном аэробным путем [1]. Время появления анаэробного и вентиляционного порогов, являющихся маркерами наступления предельной нагрузки, фиксируется по характерным точкам на кривых, описывающих изменение этих показателей во времени [2, 3]. Точка перегиба на кривой ППК соответствует времени появления

анаэробного порога, а точки пересечения кривых ППК и ПКВУ – времени появления вентиляционный порога. Недостатком данного метода является сильная чувствительность точности определения характерных точек на кривых к качеству измерения указанных показателей. Высокий уровень шумов измерений и случайных помех, обусловленных движением спортсмена в процессе тестирования, существенно затрудняет определение указанных маркеров в процессе тестирования спортсменов. Поэтому требуется провести предварительную обработку результатов измерений ППК и ПКВУ для повышения точности определения времени появления анаэробного и вентиляционного порогов.

Цель. Разработка методов фильтрации шумов и случайных помех для повышения точности определения появления анаэробного и вентиляционного порогов.

Основная часть. Использование частотно-избирательной фильтрации для обработки результатов измерений не эффективно, т.к. могут привести к искажению информации, из-за неравномерности спектра и высокого уровня помех и шума. Наиболее оптимальным для рассматриваемого случая является использование цифровой обработки сигналов. В докладе обосновывается применение для обработки результатов измерений двух фильтров: скользящего среднего и медианного. Медианный фильтр позволяет эффективно подавлять кратковременные случайные помехи, вызванные движениями спортсмена. Фильтр скользящего среднего используется для подавления высокочастотного случайного шума.

Авторами было проведено исследование влияния порядка фильтров и последовательность их включения на результат обработки данных. Качество фильтрации оценивалось по точности определения характерных точек на кривых ППК и ПКВУ и их соответствия истинным значениям времени появления анаэробного и вентиляционного порогов, которые были определены предварительно в ручном режиме.

Для исследования использовались результаты реальных измерений ППК и ПКВУ, которые были получены в рамках анонимного нагрузочного тестирования более 20 спортсменов-гребцов с различным уровнем физической подготовки.

Заключение. Результаты проведенных исследований доказали высокую эффективность предложенного метода. Применение дополнительной обработки сигналов позволяет существенно уменьшить количество проводимых измерений, необходимых для определения предельной физической нагрузки спортсменов по сравнению с традиционными подходами. Показано, что точность определения точки перегиба кривой ППК и точки пересечения кривых ППК и ПКВУ не зависит от порядка включения фильтров. Наиболее оптимальные результаты фильтрации при этом были достигнуты для фильтра скользящего среднего 7 порядка и медианного фильтра 7 порядка.

Список литературы

1. Ходанович, А. Н. Порог анаэробного обмена: эволюция методов диагностики и протоколов тестирования / А. Н. Ходанович // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2024. – Т.9, №4. – С.59-65. DOI 10.47475/2500-0365-2024-9-4-59-65.
2. Nishijima H. et al. New method for the mathematical derivation of the ventilatory anaerobic threshold: a retrospective study // BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – С. 10. DOI 10.1186/s13102-019-0122-z
3. Мавлиев, Ф. А. Особенности аэробной работоспособности спортсменов в условиях неспецифического тестирования / Ф. А. Мавлиев и др. // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. – 2017. – №. 3. – С. 111-115.

УДК 621.311

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Мельник О.Е., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-7517-6815,

Войцеховский А.Н., канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Херсонский технический университет», г. Геническ, Херсонская обл., РФ
olgaemelnik@gmail.com, alexandervoitsexovski49@gmail.com

Введение. Проблема повышения энергоэффективности и энергетической безопасности, в том числе за счет цифровизационных процессов, актуальна на новых территориях Российской Федерации. В частности, Херсонской области, которая насчитывает огромное количество объектов генерации, распределения и передачи, из которых менее 38 % имеют дистанционную систему управления и, соответственно, еще более низкий уровень цифровизации этих объектов.

Цель нашего исследования представляет собой анализ текущего состояния цифровой трансформации в энергосистеме для формирования предложений по возможностям внедрения стратегий развития уровня цифровизаций на электроэнергетических предприятиях новых регионов Российской Федерации.

Основная часть. Для начала наметим объемы цифровизации в новых регионах Российской Федерации. В общей сложности насчитывается:

- Около 120 объектов генерации электроэнергии (включая АЭС, ТЭС, ТЭЦ, ГАЭС, ВИЭ и др.)
- Общая протяженность линий 0,4 – 10 кВ около 40 тыс км, 35–110 кВ около 1 млн км
- Около 250 подстанций и около 450 ед. трансформаторов
- Насчитывается около 300 активных поставщиков электроэнергии

- Насчитывается около 1,2 млн потребителей

Однако, из перечисленного выше, 10 % трансформаторов перегружены, 29 % трансформаторов изношены, из 250 подстанций 54 % являются дистанционно управляемыми, из которых около 20 % работают на устаревших системах управления. Из 1,2 млн потребителей только 15 % снабжены smart metering счетчиками [3].

При этом процесс цифровизации в новых регионах имеет свои специфические черты, обусловленные экономическими, политическими и техническими условиями [4].

Для дальнейшего анализа сформируем ряд критериев, по которым будем сравнивать (с помощью GAP-анализа) разрывы между электроэнергетикой и информационно-коммуникационными технологиями (ИКТ) [1]. Отрасль ИКТ выбираем в качестве примера, так как это передовая отрасль в применении новых технологий, а также, опираясь на существующие технологии ИКТ, есть возможность имплементировать их в отрасль электроэнергетики [2]. В соответствии с выбранными критериями сформирована таблица сравнения уровня цифровизации в электроэнергетике с ИКТ с помощью метода GAP-анализа [1].

Таблица

Сравнение уровня цифровизации в электроэнергетике с ИКТ

Критерий	Цифровизация в энергетике	Цифровизация в ИКТ	GAP-анализ
Цель	Улучшение эффективности производства, распределения, потребления	Создание новых технологий для обработки, передачи и сохранения информации	Существенные, ИКТ создаёт новые технологии, энергетика догоняет во внедрении
Инструменты	Интеллектуальные счетчики, SCADA, комплексы, smart grid	Облачные вычисления, искусственный интеллект, аналитика, блокчейн, 5G и 6G связь	Разрывы есть в возможностях технологий
Инфраструктура	Разветвленная, объединенная в систему, негибкая, требует надежности и стабильности	Адаптивная к изменениям, беспроводные технологии связи, требует надежности и стабильности	Существенные, в энергетике должен быть обеспечен баланс, новые технологии должны пройти испытания, ИКТ более адаптивна к изменениям
Экономический аспект	Снижение потерь на производство и распределение, интеграция с новыми видами энергии (нетрадиционными)	Новые бизнес модели и инвестиции, улучшение управленческих процессов	Разрывы незначительны, однако, отрасль КТ приносит больше экономике, чем энергетика

Безопасность	Один из ключевых параметров при интеграции цифровизации в систему	Является основной проблемой в кибербезопасности	Обе отрасли нуждаются в киберзащите
Влияние инноваций	Инновации воплощаются постепенно	Двигатель прогресса	Существенные, ИКТ генерирует технологии, в энергетику Ик воплощают значительно позже
Воздействие в целом	Уменьшение выбросов CO ₂ в воздух благодаря оптимизации энергосистемы	Существенное влияние на общество, доступ к технологиям позволяет человечеству учиться, работать, получать различные услуги	Существенные, так как это разные отрасли

Закключение. По результатам анализа общероссийской практики, а также общих подходов, можно сказать, что электроэнергетика может использовать достояния ИКТ отрасли, которые были проанализированы в текущем исследовании. Однако, поскольку эти две отрасли достаточно разные, необходимо, опираясь на существующие технологии ИКТ, имплементировать их в отрасль электроэнергетики. Согласно вышеприведенному считаем, что процесс цифровизации необходимо начинать с нижнего уровня объектов – подстанций – и постепенно подниматься вверх, а с точки зрения объектов генерации следует начать с таких объектов как СЭС и ВЭС, поскольку они строятся с нуля и на этапе проектирования нужно заложить требования по уровню цифровизации этих объектов.

Список литературы

1. Каранец С. М. GAP-метод определения риска // БИТ. – 2021. – №4(20). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gap-metod-opredeleniya-riska>
2. Хоботова Л. В. Стратегия цифровой трансформации: оценка цифровой зрелости электроэнергетической отрасли России / Л. В. Хоботова, Е. В. Непринцева, С. А. Шубин // Стратегические решения и рискменеджмент. – 2022. – 13(3). – С. 234–244. – DOI: 10.17747/2618-947X-2022-3-234-244.
3. Цифровая трансформация в энергетике. Вып. IV [Электронный ресурс]: материалы Четвертой Международной научной конференции / отв. ред. Т. И. Чернышова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023.
4. Цифровая трансформация электроэнергетики. (Аспирантура, Бакалавриат, Магистратура). Монография / Грабчак Евгений Петрович / КноРус 2025; ISBN · 978-5-466-09029-1:

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОТИВАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ

Петрущенко Т.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-1051-9469,

Сычев Е.В., ORCID 0009-0000-1311-8911

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени В. Даля», г. Луганск, РФ

ptvwork@mail.ru, slf_v_v@mail.ru

Введение. Современное высшее образование переживает эпоху цифровой трансформации, в ходе которой информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) становятся неотъемлемой частью образовательного процесса. Их внедрение открывает новые возможности для повышения мотивации студентов к обучению, активизации их познавательной деятельности и улучшения академических результатов. В частности, ИКТ позволяют создать интерактивную образовательную среду, стимулирующую самостоятельное освоение знаний, творческое мышление и критическую оценку информации. Эти технологии также помогают преподавателям адаптировать образовательные материалы под индивидуальные потребности студентов, что особенно важно в условиях многообразия аудитории.

Целью данной статьи является анализ роли ИКТ в мотивации познавательной деятельности студентов на основе современных исследований и практических подходов.

Основная часть. Информационно-коммуникационные технологии оказывают значительное влияние на мотивацию познавательной деятельности студентов, а именно:

1. **Повышение вовлечённости студентов.** Использование ИКТ способствует повышению уровня вовлечённости студентов в учебный процесс. Вовлечённость проявляется как в когнитивной, так и в эмоциональной сфере: студенты активнее осваивают материал, участвуют в дискуссиях и выполняют практические задания. Согласно исследованию [1, 2], когнитивно-мотивационная вовлечённость выступает посредником между применением ИКТ и улучшением академических достижений. Это подтверждает, что активное использование образовательных платформ, онлайн-тестов и интерактивных лекций способствует росту мотивации и успешности студентов. Примеры практического применения: использование систем электронного обучения (LMS), форумов для обсуждения учебного материала, интерактивных презентаций и видеоуроков. Все эти инструменты стимулируют студентов участвовать в образовательном процессе и развивают навыки самостоятельного поиска информации.

2. Геймификация обучения. Геймификация – это применение игровых элементов в учебном процессе для повышения мотивации студентов. Через ИКТ возможно интегрировать такие элементы, как баллы, уровни, награды, соревнования и виртуальные достижения. Исследование [3] показывает, что цифровые образовательные игры повышают когнитивную вовлечённость студентов и интерес к изучаемым дисциплинам. Игровой подход помогает студентам воспринимать обучение как увлекательный процесс, снижает тревожность и способствует более глубокому усвоению знаний. Примеры: платформы с интерактивными квизами, онлайн-соревнования между группами, симуляторы профессиональной деятельности. Такой подход особенно эффективен в STEM-дисциплинах, где визуализация процессов и мгновенная обратная связь делают обучение более наглядным.

3. Персонализация обучения. Адаптивные образовательные технологии, поддерживаемые ИКТ, позволяют персонализировать процесс обучения с учётом индивидуальных потребностей, уровня подготовки и интересов студентов. Consoli подчеркивает, что персонализированное обучение повышает внутреннюю мотивацию студентов, поскольку они ощущают контроль над своим образовательным процессом и получают материалы, соответствующие их уровню знаний [4]. Примеры применения: системы адаптивного тестирования, рекомендательные системы учебных материалов, цифровые помощники для самостоятельной работы. Персонализация также помогает преподавателю своевременно выявлять пробелы в знаниях и корректировать образовательный маршрут каждого студента.

4. Использование цифровых технологий для повышения учебной мотивации. Цифровые технологии, такие как электронное тестирование с немедленной обратной связью, позволяют студентам получать мгновенную оценку своих знаний и понимать, над чем необходимо работать. Регулярное применение таких технологий способствует улучшению качества знаний и росту учебной мотивации [5]. Возможность отслеживать собственный прогресс стимулирует студентов к активному освоению материала, повышает уверенность в своих силах и формирует привычку к самостоятельному обучению.

5. Влияние ИКТ на развитие познавательной активности. ИКТ играют ключевую роль в организации познавательной деятельности студентов. Они создают условия для самостоятельного поиска информации, анализа и синтеза знаний. Цифровые инструменты повышают познавательный интерес и активность студентов, развивают навыки критического мышления и позволяют проводить практические исследования даже в дистанционном формате [6]. Примеры: онлайн-лаборатории, виртуальные экскурсии, базы данных и интерактивные учебные порталы, которые стимулируют студентов к экспериментальной и исследовательской деятельности.

В тоже время несмотря на положительное влияние ИКТ, существуют определённые проблемы и ограничения: некоторые студенты испытывают трудности в адаптации к новым технологиям, что может негативно сказаться на мотивации; недостаток цифровой инфраструктуры и ресурсов в учебных заведениях ограничивает возможности эффективного использования ИКТ; неравномерная подготовка преподавателей к использованию ИКТ также снижает качество образовательного процесса.

Решение этих проблем требует комплексного подхода: обеспечения доступа к цифровым ресурсам, обучения преподавателей и поддержки студентов в освоении новых технологий.

Заключение. Информационно-коммуникационные технологии играют ключевую роль в мотивации познавательной деятельности студентов. Их интеграция в образовательный процесс способствует повышению вовлечённости, мотивации и академических достижений студентов. Однако для эффективного использования ИКТ необходимо учитывать индивидуальные особенности студентов, обеспечивать доступ к необходимым ресурсам и проводить обучение преподавателей.

Список литературы

1. Li, S. C., & Zhu, J. (2023). Cognitive-motivational engagement in ICT mediates the effect of ICT use on academic achievements: Evidence from 52 countries. *Computers & Education*, 204, 104871. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104871>
2. Zainudin, F. N. (2023). Gamification in Learning: Students' Motivation and Cognitive Engagement. *Asian Journal of University Education*, 19(4), 1-10. https://ajue.uitm.edu.my/wp-content/uploads/2023/12/18-DONE_F_NOREHAN.pdf
3. Li, Y., Li, Z., & Zhang, Y. (2024). The impact of digital educational games on student's motivation for learning. *Journal of Educational Psychology*, 116(2), 345-360. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10783726/>
4. Consoli, T. (2024). Quality of technology integration matters: Positive effects on student motivation. *Education and Information Technologies*, 29(1), 123-139. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-024-13118-8>
5. Шульгина Е. М. Мотивация познавательной деятельности студентов посредством технологий веб-квест / Е. М. Шульгина // CyberLeninka. 2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/motivatsiya-poznavatelnoy-deyatelnosti-studentov-posredstvom-tehnologii-veb-kvest> (дата обращения: 11.09.2025).
6. Павлов А. Ф. Опыт применения технологии адаптивного обучения в образовательном процессе высшего учебного заведения / А. Ф. Павлов // CyberLeninka. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-tehnologii-adaptivnogo-obucheniya-v-obrazovatelnom-protssesse-vysshego-uchebnogo-zavedeniya> (дата обращения: 11.09.2025).

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Рушечников Я.И.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
ya.rushechnikov@donnu.ru

Введение. Современная проблематика задач автоматизированного радиомониторинга может перенестись на информационные системы, основная задача которых не передача, а непосредственная обработка информации [1-3]. Такие системы в виде побочных электромагнитных излучений непреднамеренно распространяют информацию как о своём поведении, так и о своих внутренних процессах.

Цель. Построение и апробация архитектуры системы, способной в адаптивном режиме реагировать подавляющим воздействием на побочные электромагнитные излучения элементов вычислительной техники.

Описание функциональной схемы системы и принципа обратной связи. Поиск ПЭМИН при помощи алгоритма сопоставления сигнала с модельным и также средства подавления сигнала можно увязать в единую информационно-управляемую систему с обратной связью, состоящую из следующих элементов:

- Объект управления – процесс поиска и подавления ПЭМИН
- Датчик – перестраиваемый генератор.
- Сравнивающее устройство – компьютер, определивший или классифицировавший сигнал как ПЭМИН.
- Регулятор – микроконтроллер и генератор, реализующие концепцию адаптивного подавления.
- Обратная связь – канал, по которому информация о результате возвращается к регулятору.

Концептуальный вид системы представлен на рис. 1, содержащий схему, работающую по следующему алгоритму:

- На исследуемо-управляемом компьютере запускается воспроизведение модельного «Сигунд» сигнала.
- SDR система ищет частоты методом сканирования, записи и сопоставления сигнала с первообразной модельного сигнала.
- В случае классификации сигнала как ПЭМИН в момент сравнения с моделью происходит отправка команды генератору, чтобы тот инициировал процедуру подавления на определённой частоте.

Немаловажным этапом процесса подавления сигнала ПЭМИН является выработка механизма оценки характеристик качества подавления. Несмотря на то, что в результате трансляции сигнала подавления в

ближнюю зону действия ПЭМИН программное средство «TempestSDR» не в состоянии синхронизировать и воспроизвести картинку, происходящую на мониторе (то есть, по сути, сигнал подавлен), необходимо выработка механизма количественной оценки в виде коэффициента совпадения.

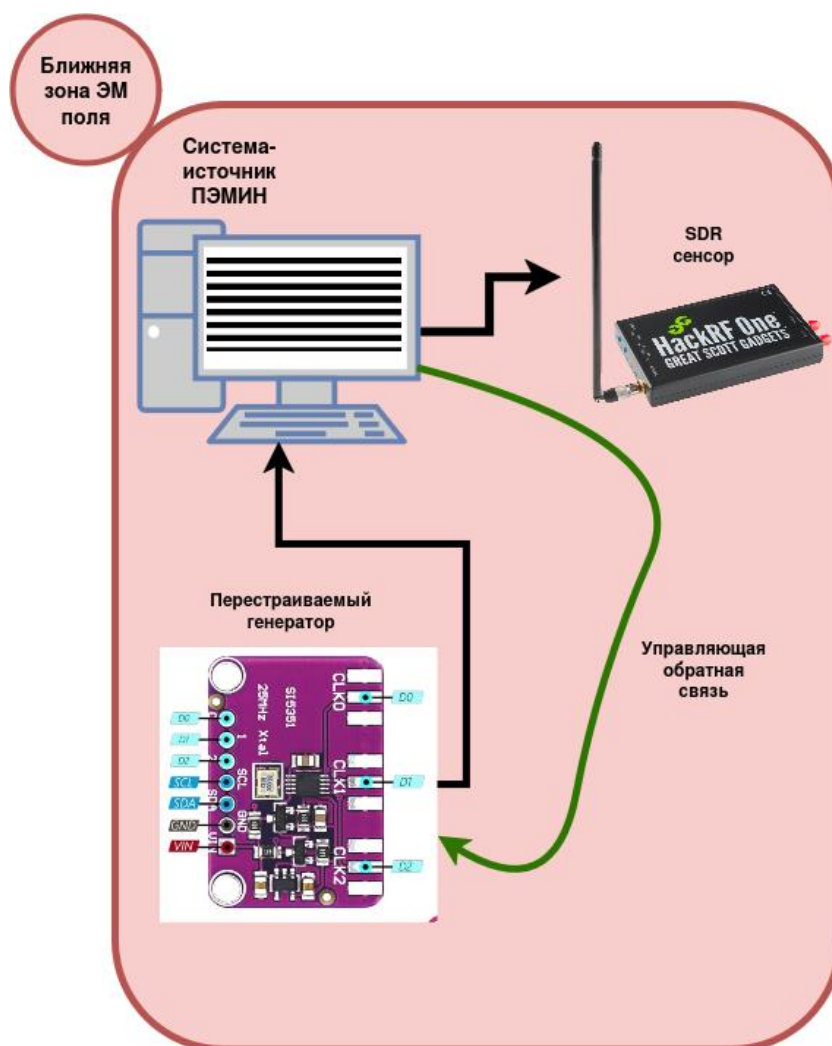


Рис. 1. Архитектура адаптивного подавителя сигнала ПЭМИН

В качестве такого коэффициента совпадения можно использовать результат корреляции записи модельного сигнала ПЭМИН с записью формата модельный сигнал + сигнал подавления. Такой коэффициент покажет, насколько оригинальный сигнал отличается от группового, и если такой коэффициент малоразмерный, то эффективность мероприятия по подавлению была высокая, и наоборот. Описанная задача уже многократно решена и имеет своё название «Получение и детерминация отпечатков звуковых файлов», а также имеет качественную, доступную и переносимую реализацию на языке Python.

Представленные на рис. 2 и 3 диаграммы совпадения, из которых можно взять глобальный максимум могут являться относительным индикатором качества мероприятий по подавлению, а сам выраженный

коэффициент имеет инверсный порядок (чем меньше размерность коэффициента, тем выше качество подавления)

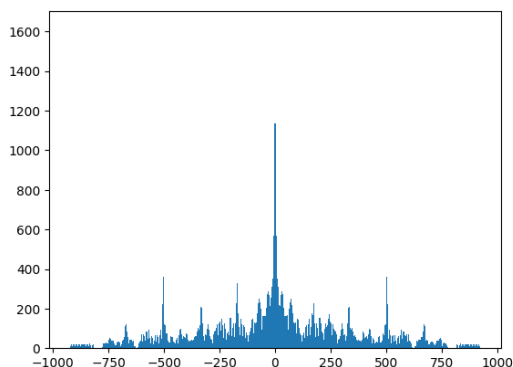


Рис. 2. Диаграмма сопоставления без влияния мешающего сигнала

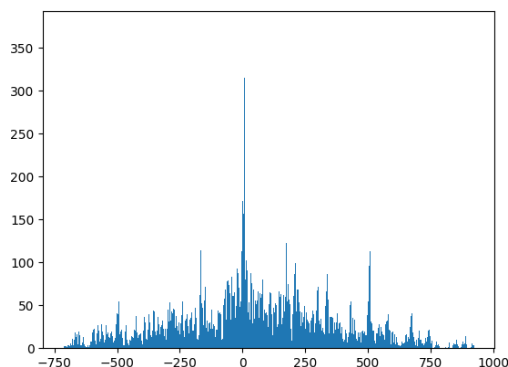


Рис. 3. Диаграмма сопоставления с мешающим сигналом на частоте ПЭМИН

Как видно из рисунков 2 без влияния мешающего сигнала размерность максимума диаграммы значительно выше, нежели на рисунке 3, что явным образом коррелирует с возможностью получения информационных составляющих ПЭМИН сигнала.

Закключение. В условиях постоянно не решённой задачи электромагнитной совместимости элементов ВТ, построение систем адаптивного подавления на общедоступных компонентах является актуальной и востребованной задачей.

Информация о финансовой поддержке: Исследование проводилось в рамках государственного задания (номер госрегистрации 124012400347-2).

Список литературы

1. Рушечников Я. И. Электромагнитные излучения элементов электронной вычислительной техники / Я. И. Рушечников, А. В. Яновский, А. С. Жинкина, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 2. – С. 25-35. – EDN TXLBMK.
2. Рушечников Я. И. Методика оценки побочных электромагнитных излучений посредством алгоритмической обработки массива экспериментальных спектрограмм / Я. И. Рушечников, В. В. Данилов, И. А. Третьяков, Д. Р. Зеленченко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 126-134. – DOI 10.5281/zenodo.14018656. – EDN DLEMAM.
3. Третьяков И. А. Компоненты автоматизированной системы научных исследований радиоканалов ПЭМИН / И. А. Третьяков, А. С. Куликова, Н. В. Долбещенкова, В. А. Ступак // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 94-100. – DOI 10.5281/zenodo.15586055. – EDN OAXXSW.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЭМИН

Рушечников Я.И., Третьяков И.А., канд. техн. наук, доц.,
Долбещенкова Н.В.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
i.tretiakov@mail.ru

Введение. Побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН) представляют собой совокупность спектральных компонентов, анализ которых позволяет оценить угрозу или возможность перехвата информации из цифровых систем, а исследование этого явления в условиях постоянно усложняющейся электромагнитной обстановки является актуальной задачей [1-4].

Основная часть. Основной задачей при анализе количественных характеристик ПЭМИН является точная локализация области с наибольшими уровнями мощности. В связи с особенностями современных SDR платформ, необходимо, чтобы эта область с максимальными мощностными характеристиками полностью попадала в полосу одновременного приёма. В случае с SDR HackRF One ширина полосы составляет 20 МГц, что соответствует ширине одновременного обзора приёмника.

Алгоритм, представленный на рис. 1, начинает обработку в частотном диапазоне от 1 МГц до 1000 МГц, который делится на две равные части. В каждом из них вычисляется коэффициент Пирсона для спектрограммы в ближней и дальней зоне электромагнитного поля. Часть, где коэффициент выше, переходит на следующую итерацию, и процесс повторяется. Алгоритм продолжается до тех пор, пока не будет найден участок шириной около 20 МГц, соответствующий спектру с максимальным количеством ПЭМИН. Для этого потребовалось всего 6 итераций. Хотя данный алгоритм не всегда позволяет точно локализовать участки с максимальным средним уровнем мощности, его скорость работы достаточно велика, и в случае схожих коэффициентов корреляции можно провести дополнительные исследования на таких участках.

Следующим этапом анализа после выполнения алгоритма итерационного поиска, представленного на рисунке 1 и получения спектров, содержащих ПЭМИН, является алгоритм понижения размерности и вычисления суммарной групповой мощности участков, содержащих ПЭМИН.

На рис. 2 эти этапы выделены заливкой синего цвета. Предложенный алгоритм условно можно формализовать, разделив его на следующие этапы:

1. Вычисление поэлементной разности между спектральными массивами в ближней и дальней зоне электромагнитного поля.

2. Установление порогового значения, ниже которого спектральные компоненты не учитываются. Составляющие спектра, которые имеют значение меньше порога, обнуляются.

3. Определение границ последовательностей с возрастающими и убывающими значениями, обладающих большей спектральной шириной.

4. Уплотнение спектра путём сохранения наиболее значимых последовательностей по мощности.

5. Расчёт итогового уровня мощности на предварительно уплотнённом спектре.

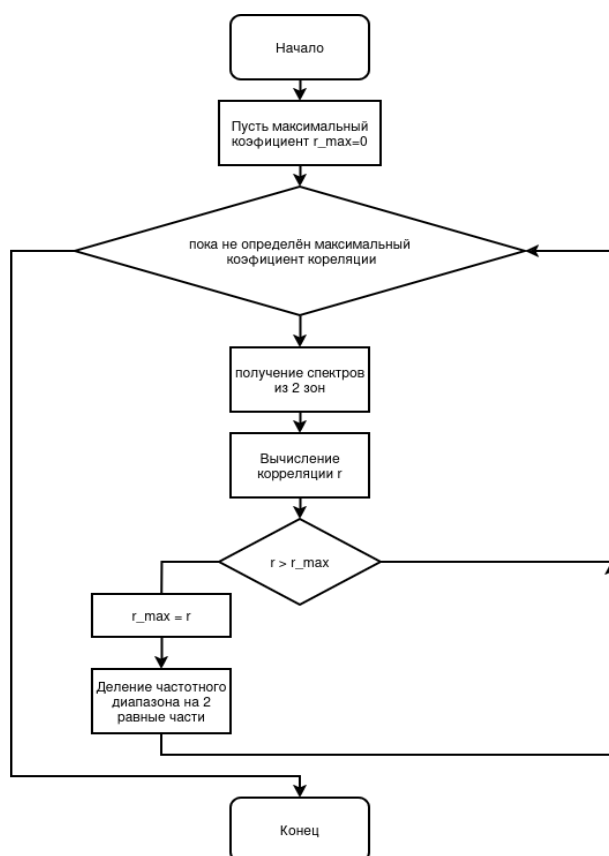


Рис. 1. Блок-схема алгоритма итерационного поиска участков ПЭМИН



Рис. 2. Общий алгоритм поиска и оценки характеристик ПЭМИН

Заключение. Таким образом, описанная процедура при помощи алгоритмической обработки спектров экспериментальных данных позволяет методом порогового выделения и уплотнения определить пространственные (на оси частот) характеристики мощности сигнала, содержащего побочные электромагнитные излучения и наводки в ближней и дальней зоне электромагнитного поля.

Информация о финансовой поддержке: Исследование проводилось в рамках государственного задания (номер госрегистрации 124012400347-2).

Список литературы

1. Шпилевой, А. А. О возможности аналитического обнаружения сигнала ПЭМИН в видеointерфейсах стандарта HDMI / А. А. Шпилевой, А. А. Персичкин // Вестник

- Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физ.-мат. и техн. науки. – 2022. – № 1. – С. 34-39. – EDN AWTJYC.
2. Паршуткин, А. В. Экспериментальные исследования возможности применения программно-реализуемых мер снижения информативности побочных электромагнитных излучений видеосистемы стандарта DVI / А. В. Паршуткин, М. Р. Неаскина, И. П. Степанов // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2023. – № 1(78). – С. 126-129. – EDN LAZWZX.
 3. Булгаков, О. М. Демонстрация утечки информации посредством побочных электромагнитных излучений и ее перехвата при обучении специалистов в области информационной безопасности / О. М. Булгаков, Е. В. Петрова // Вестник Краснодарского университета МВД России. – 2024. – № 3(65). – С. 110-114. – EDN QNHXEC.
 4. Рушечников, Я. И. Алгоритм автоматизированной оценки сигналов на принадлежность к ПЭМИН / Я. И. Рушечников, И. А. Третьяков, В. В. Данилов // Тихоновские чтения: тезисы докладов научной конференции (Москва, 28 октября–02 ноября 2024 г.). – Москва: ООО «МАКС Пресс», 2024. – С. 14. – EDN KTKVOL.
 5. Исследование электромагнитной безопасности кабелей передачи данных / Я. И. Рушечников, И. А. Третьяков, Н. В. Долбещенкова, А. С. Куликова // Интеллектуальные информационные системы: Труды Международной научно-практической конференции (Воронеж, 22–23 апреля 2025 г.). – Воронеж: ВГТУ, 2025. – С. 4-6. – EDN NDCCGA.

УДК 621.317

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРИГЕМИНИИ В ЭКГ-СИГНАЛАХ

Салдаева П.А., ORCID 0009-0003-7599-9904,

Мухаметзянов О.А., ORCID 0009-0009-8186-4663

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, РФ
saldaevvva@gmail.com

Введение. Тригеминия является распространённой формой аритмии, которая характеризуется нарушением ритма сердца. Её автоматическое выявление в электрокардиосигналах (ЭКГ-сигналах) остаётся важной задачей с точки зрения цифровой обработки сигналов.

Обнаружение тригеминии осуществляется на основе вычисления RR-интервалов. Считается, что RR-интервал перед искажённым сигналом сердцебиения отличается от предыдущих. Однако вследствие индивидуальных особенностей сердца человека нельзя исключать вариант, при котором RR-интервалы будут схожими.

Цель статьи – разработка алгоритма обнаружения тригеминии в электрических сигналах сердца на основе параметра, полученного методом численного интегрирования – площади под кривой, а также оценка

суммарной относительной погрешности для непосредственного выявления отклонений. Данный алгоритм позволит учесть случаи схожести RR-интервалов и эффективно обнаружить отклонения.

Основная часть. Тригеминия – форма аритмии, при которой два нормальных сердечных сокращения чередуются с одним искажённым. Её наличие связано с прогрессированием сердечно-сосудистых заболеваний, что подчеркивает актуальность разработки алгоритмов для выявления нарушений. Пример тригеминии показан на рис. 1.

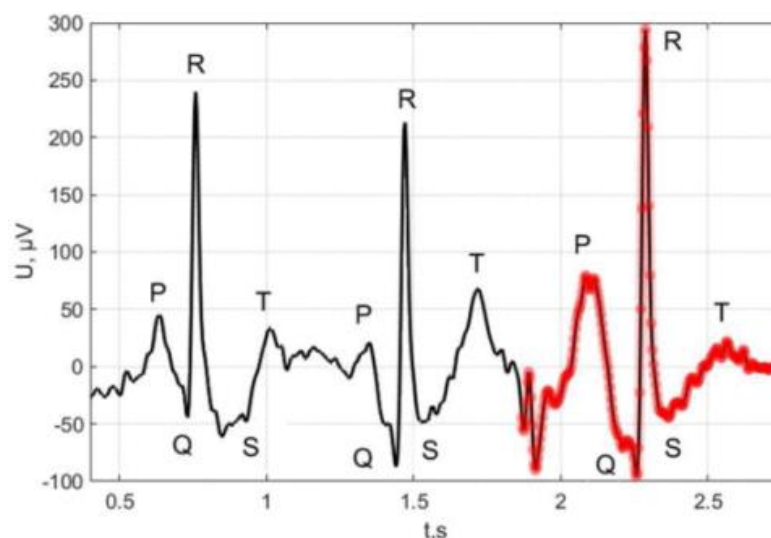


Рис. 1. Наличие тригеминии в ЭКГ-сигнале

Для исследования использовались 53 ЭКГ-сигналов из базы данных INCART (Санкт-Петербург) [1]. Анализ проводился на сигналах первого стандартного отведения ввиду простоты их регистрации. Частота дискретизации составляла 257 Гц, длительность каждого сигнала – 10 секунд. Работа выполнена в программной среде MATLAB.

Первичная обработка сигналов заключалась в применении полосового фильтра с частотами среза 2 Гц и 50 Гц. Нижняя частота способствовала устранению дрейфа изолинии, а верхняя – избеганию влияния сетевых помех (50 Гц). На втором этапе выполнено сглаживание сигналов.

Для выделения отдельных сигналов сердцебиения применялся алгоритм локализации R-пику (алгоритм Пана-Томпкинса) [2]. Временные интервалы анализа устанавливались симметрично относительно каждого R-пика с периодом $\pm 0,2$ секунды. Последовательности из трёх сигналов сердцебиения подвергались дальнейшему анализу. Для исключения отрицательных значений напряжений использовалось возведение в квадрат.

Ключевым этапом стало вычисление интегральных характеристик сигналов через определение площади под кривой с применением трапецеидального метода численного интегрирования [3]. Для расчёта использовалась формула (1).

$$AUC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{U_s(t_i) + U_s(t_{i+1})}{2} * (t_{i+1} - t_i), \quad (1)$$

где U_s – значение квадратичного сигнала, t – временные моменты (отсчёты).

Далее для каждой последовательности вычислялись:

1. Среднее значение площади под кривой в последовательности:

$$AUC_m = \frac{1}{3} * \sum_{j=1}^3 AUC_j. \quad (2)$$

2. Относительная погрешность для каждого сигнала сердцебиения:

$$\delta = \frac{|AUC_m - AUC|}{AUC_m}. \quad (3)$$

3. Суммарная относительная погрешность последовательности:

$$\delta_{sum} = \sum_{j=1}^3 \delta_j. \quad (4)$$

Полученные δ_{sum} для последовательностей с отклонением (тригеминия) и без такового проанализированы с помощью гистограмм с плотностями распределения вероятностей.

Распределения Райса, Рэлея и Т [4] использовались для вычисления порогового значения δ_{sum} на основе критерия максимального правдоподобия (точка пересечения плотностей распределения вероятностей для случаев с наличием и отсутствием отклонения).

Осуществлена оценка вероятности правильного принятия решения.

$$P_{corr} = \frac{N_{00} + N_{11}}{N} * 100\%, \quad (5)$$

где N_{00} – количество случаев с отсутствием отклонений по умолчанию и по разработанному алгоритму, N_{11} – количество случаев с наличием отклонений по умолчанию и по разработанному алгоритму, N – количество проанализированных последовательностей.

В работе проанализировано $N=472$ последовательности. Из них 82 с отклонениями, 390 – без. В таблице 1 представлена оценка параметров N_{00} , N_{11} и P_{corr} . Наилучший результат показало распределение Рэлея (рис. 2).

Таблица

Статистический анализ

Распределение	N_{00}	N_{11}	$P_{corr}, \%$
Райса	56	313	78,2
Рэлея	56	314	78,4
Т	64	283	73,5

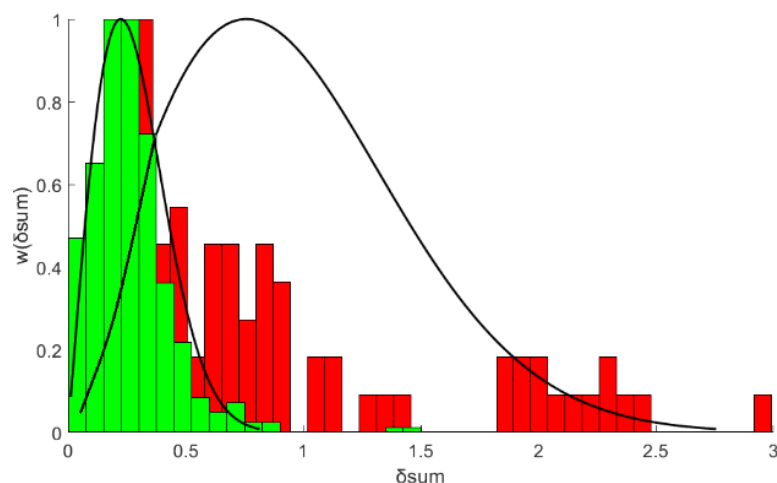


Рис. 2. Распределения Рэлея (зелёным – без отклонения, красным – с таковым)

Закключение. В данной работе разработан алгоритм обнаружения тригеминии в электрических сигналах сердца на основе численного интегрирования и параметра δ_{sum} . По сравнению с работой [4] алгоритм показал схожие значения P_{corr} , поэтому предлагаемый алгоритм является эффективным решением поставленной задачи. В дальнейшем планируется оценить влияние альтернативных способов устранения отрицательных значений напряжения на результат алгоритма.

Список литературы

1. Physiobank ATM: PTB Diagnostic ECG Database (ptbdb) [Electronical Resource], URL: <https://archive.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM?database=ptbdb>.
2. Pan J. and Tompkins W.J., A real-time QRS detection algorithm // IEEE transactions on biomedical engineering, IEEE. – 1985. – Vol. 32, №. 3. – P. 230-236. DOI: 10.1109/TBME.1985.325532.
3. Mukhametzyanov O.A. New parameter to detect low-amplitude high-frequency elements in heart signals // Proc. of 2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), IEEE, 28-30 June 2023, Pp. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO57872.2023.10178678, EDN: EJVCUH.
4. Mukhametzyanov O.A., Saldaeva P.A. Numerical integration as a tool to detect trigeminy's elements in electric heart signals // Proc. of 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), IEEE, 30 June – 3 July 2025. – P. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079379.

СИСТЕМЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ МАНХЕТТЕНСКОГО РАССТОЯНИЯ

Тимошенко А.С., Бабичева М.В., канд. техн. наук, доц.
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
satir.saim@gmail.com, m.babicheva@donnu.ru

Введение. Современный рынок информационных технологий характеризуется огромным разнообразием решений, что ставит сложную задачу перед специалистами по их выбору, особенно если оценивать уровень безопасности. Например, аутентификационные системы. Процесс выбора является многокритериальным по своей природе и включает такие противоречивые факторы, как стоимость, производительность, устойчивость к атакам, удобство использования, масштабируемость и совместимость. Предложенная авторами методика оценки криптостойкости систем аутентификации с использованием Манхэттенского расстояния решает проблему выбора архитектуры системы парольной аутентификации, криптостойкости различных типов паролей, их устойчивости к атакам и эффективности применения в различных сценариях [1].

Постановка задачи. Существующие парольные системы можно разделить на три основные категории: символьные пароли, графические пароли и динамические пароли [2]. Целью работы является исследование эффективности применения Манхэттенского расстояния для описания их криптостойкости. Важным аспектом является анализ уязвимостей, стойкости к атакам и удобства использования каждого типа паролей.

Методика оценки парольных систем с использованием Манхэттенского расстояния. Для оценки различных типов парольных систем в работе используются следующие критерии:

- Энтропия пароля – мера случайности пароля, определяющая его стойкость к подбору.
- Подверженность атакам; – анализ возможных атак, таких как атака грубой силы, подбор, социальная инженерия и кейлоггеры.
- Возможность полного перебора;
- Возможность атаки по словарю;
- Уязвимость к подглядыванию и записи ввода.
- Устойчивость к фишинговым атакам – возможность перехвата пароля злоумышленником.
- Удобство использования – субъективный фактор, влияющий на скорость ввода и восприятие пользователя.

- Скорость аутентификации – время на ввод и проверку пароля.
- Возможность восстановления – как проводится восстановление пароля, и насколько это безопасно.
- Требования к дополнительным средствам – потребуется ли при этом использование аппаратных токенов, биометрии или других дополнительных средств.

Каждый критерий оценивается по шкале от 0 до 1. Итоговая оценка системы рассчитывается с помощью манхэттенского расстояния. Этот метод позволяет определить степень отклонения системы аутентификации от идеального варианта, в котором все критерии принимают максимальные значения.

Исходные данные для оценки основаны на теоретических расчетах, результатах экспериментальных исследований и экспертных оценках специалистов в области информационной безопасности. Для обеспечения объективности результатов были учтены данные из различных источников, включая научные публикации, технические отчеты, аналитические обзоры и экспериментальные расчёты, выведенные на основе разработанных тестовых парольных систем всех трех видов.

Результаты. Результаты исследования показали, что динамические пароли демонстрируют наименьшее Манхэттенское расстояние ($D_{dyn} = 2.10$), что свидетельствует о наиболее сбалансированном сочетании параметров безопасности и удобства использования. Они превосходят остальные системы по параметрам безопасности, но требуют значительных дополнительных средств для реализации. Символьные пароли занимают второе место с Манхэттенским расстоянием $D_{sim} = 2.40$. Они превосходят другие системы по критериям скорости аутентификации ($K_5 = 0.77$) и отсутствия требований к дополнительным средствам ($K_7 = 1.00$), но имеют низкие показатели фишинговой устойчивости ($K_3 = 0.30$). Графические пароли демонстрируют наибольшее Манхэттенское расстояние ($D_{graph} = 2.65$), что указывает на наименее сбалансированное сочетание параметров среди рассмотренных систем. Они превосходят символьные пароли по критериям удобства использования ($K_4 = 0.70$) и устойчивости к некоторым типам атак, но уступают по энтропии и возможностям восстановления.

В сценарии с высокими требованиями к безопасности наиболее предпочтительными являются динамические пароли ($D_w = 0.39$), в сценарии с ориентацией на пользователя лучший результат демонстрируют символьные пароли ($D_w = 0.34$), а в сбалансированном сценарии вновь лидируют динамические пароли ($D_w = 0.30$). Графические пароли показали наилучшие результаты в экспериментах с отложенным воспроизведением – через 30 дней их успешно воспроизвели 78 % участников, по сравнению с 62 % для символьных и 45 % для динамических паролей, что подтверждает гипотезу о лучшей запоминаемости графических паролей за

счет задействования визуальной памяти. В таблице обобщены результаты расчета критериев для различных типов парольных систем и Манхэттенское расстояние, соответствующее каждому из них.

Таблица

Значения критериев для различных типов парольных систем

Критерий	Обозначение	Символьные пароли	Графические пароли	Динамические пароли
Энтропия пароля	K_1	0.65	0.50	0.85
Устойчивость к атакам	K_2	0.55	0.60	0.85
Фишинговая устойчивость	K_3	0.30	0.45	0.90
Удобство использования	K_4	0.60	0.70	0.50
Скорость аутентификации	K_5	0.80	0.70	0.60
Возможности восстановления	K_6	0.70	0.50	0.90
Требования к дополнительным средствам	K_7	1.00	0.90	0.30
Манхэттенское расстояние	D	2.40	2.65	2.10

Специалисты по информационной безопасности могут применять предложенную методику оценки с использованием метода Манхэттенского расстояния для анализа существующих механизмов аутентификации и формирования парольных политик организаций.

Список литературы

1. Manhattan Distance [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.geeksforgeeks.org/data-science/manhattan-distance/>, свободный.
2. Афанасьев А. А. Аутентификация. Теория и практика обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам / А. А. Афанасьев, Л. Т. Веденев, А. А. Воронцов, и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 550 с.

ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Третьяков И.А., канд. техн. наук, доц.,

Данилов В.В., д-р техн. наук, проф.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

i.tretiakov@mail.ru

Введение. Рост плотности и сложности сигналов, используемых в радиоэлектронных системах специального назначения, постоянно требуют совершенствования специальных автоматизированных информационно-измерительных систем (АИИС) их обнаружения, распознавания и исследования [1]. Современные требования по производительности АИИС составляют: системы радиоэлектронной борьбы/поддержки – 10^{10} оп/с, системы связи – $2 \cdot 10^9$ оп/с, системы радиоразведки – 10^9 оп/с. Развитие оптических информационных технологий, одно из направлений решения проблемы. Широкие перспективы для совершенствования и создания устройств оптимальной обработки таких радиосигналов открывают оптические информационные технологии, и, в частности когерентная оптоэлектроника [2, 3]. Основными достоинствами когерентных оптических методов обработки данных являются: большая информационная емкость, многоканальность, высокое быстродействие.

Основная часть. Возможности оптических информационных технологий, в частности, когерентного оптического процессора (КОП) для обработки радиосигналов многогранны. КОП (рис. 1) использует свойства пространственной когерентности ЭМ излучения для обработки информации, что позволяет реализовывать математические операции над комплексными функциями двух переменных: умножение и деление, сложение и вычитание, интегрирование и дифференцирование, вычисление свёртки и корреляции, преобразование Фурье и другие. Рассмотрим основные из них, в части интегрирования, фильтрации, вычисления функции свертки и корреляции радиосигналов.

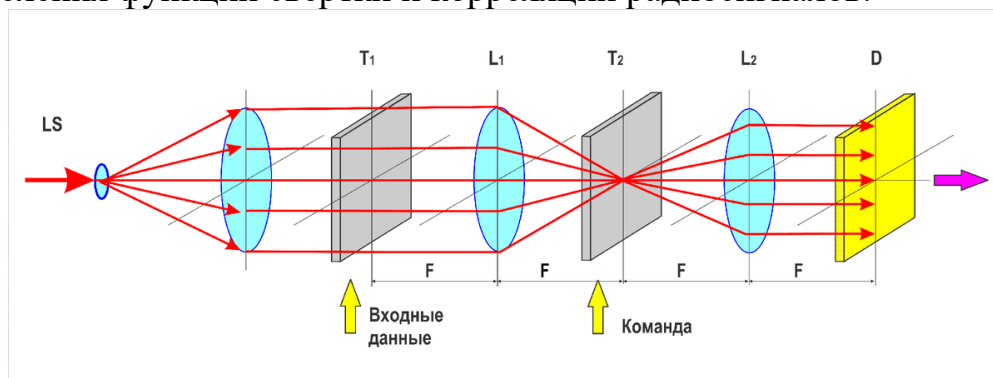


Рис. 1. Структура когерентного оптического процессора (4F-схема)

Самое простое из перечисленных преобразований – вычисление интеграла от распределения поля $E_1(x_1, y_1)$ в сигнальной плоскости. Пусть пространственные частоты $\omega_{x_2} = \omega_{y_2} = 0$, что соответствует фокусу линзы,

тогда распределение ЭМ поля равно $E_2(0, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} E_1(x_1, y_1) dx_1 dy_1$.

Операция фильтрации спектральных составляющих оптическими методами также реализуется довольно просто. Для этого в спектральной плоскости устанавливается другой транспарант – пространственный фильтр с пропусканием $G(\omega_{x_2}, \omega_{y_2})$, на который проектируется спектр сигнала $s(\omega_{x_2}, \omega_{y_2})$. На выходе имеем напряженность ЭМ поля

$E'_2(x_2, y_2) = s(\omega_{x_2}, \omega_{y_2})G(\omega_{x_2}, \omega_{y_2})$, распределение которого по пространственным частотам изменено в соответствии с характеристикой фильтра. Наиболее просто технически реализовать пространственные фильтры с прямоугольной амплитудной и постоянной фазовой характеристиками.

Их роль могут выполнять прямоугольные отверстия или непрозрачные экраны, помещенные в плоскости П2 (рис. 2а – фильтр верхних частот, рис. 2б – гребенчатый фильтр).

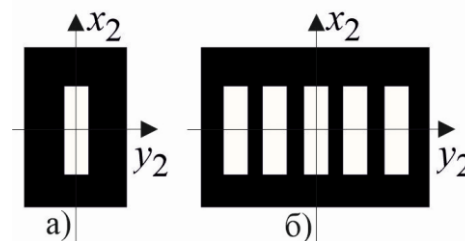


Рис. 2. Пространственные фильтры

Метод оптической пространственной фильтрации довольно эффективен для подавления постоянной составляющей радиосигналов, а также для выполнения операции дифференцирования. Дифференциальное выражение для обратного преобразования Фурье:

$$s(x) = \frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^{\infty} s(\omega_x) e^{j\omega_x x} d\omega_x = \int_{-\infty}^{\infty} j\omega_x s(\omega_x) e^{j\omega_x x} dx \quad (1)$$

Из выражения (1) видно, что операцию дифференцирования, как частный случай пространственной фильтрации, можно реализовать в спектральной плоскости (рис. 3а) разместив в ней фильтр с частотной характеристикой:

$$G(\omega_x) = A(\omega_x) e^{j\psi(\omega_x)} = j\omega_x = \omega_x e^{j\frac{\pi}{2}}. \quad \text{Не}$$

существенный фазовый сдвиг на $\frac{\pi}{2}$ может

не учитываться, и фильтр задается только амплитудной характеристикой.

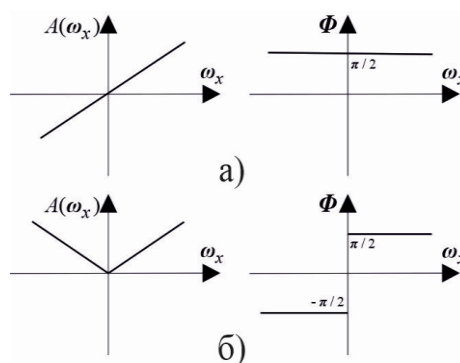


Рис. 3. Характеристики пространственных фильтров

Практически такой фильтр реализуем путем применения экрана, прозрачность которого увеличивается в направлении от центра к краям, а в области отрицательных частот размещается полуволновая фазовая пластина (рис. 3б).

Интеграл вида $r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t)f_2(\tau-t)dt$ – функция свертки, образующаяся при перемножении $f_1(t)$ и обращенной во времени и смещенной на величину τ функции $f_2(t)$. Соответственно функция корреляции определяется как $\varphi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1f_2(\tau+t)dt$. Для этих функций применимы теоремы:

$$\int_{-\infty}^{\infty} r(\tau)e^{i\omega\tau}d\tau = F_1(\omega)F_2(\omega); \quad \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau)e^{i\omega\tau}d\tau = F_1(\omega)F_2^*(\omega),$$

которые обосновывают вычисление функции свертки и корреляции, осуществляя операцию над спектрами исходных функций $f_1(t)$ и $f_2(t)$. Для реализации этих математических операций оптические информационные технологии предлагают способ преобразования в спектральной и сигнальной плоскостях.

Заключение. Таким образом, синтез элементов оптических систем и классических радиотехнических средств, а также оптимальное сочетание оптических информационных технологий и радиотехнических методов обработки информации показывает перспективность их использования в специальных автоматизированных информационно-измерительных системах, в автоматизированных системах контроля радиообстановки (радиомониторинг, радиолокация, радиоидентификация, радиоразведка), автоматизированных системах научных исследований радиосигналов и других смежных областях.

Список литературы

1. Шалдаев, С. Е. Основные принципы и задачи развития автоматизированных систем управления специального назначения, требования предъявляемые к ним системой управления / С. Е. Шалдаев, К. Е. Легков, О. А. Скоробогатова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 6. – С. 83-87. – EDN RNMQID.
2. Латыпов, И. З. Пути решения проблемы оптического «запирания» информации в фотонных эхо-процессорах / И. З. Латыпов, С. В. Петрушкин, В. В. Самарцев // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Физико-математические науки. – 2007. – Т. 149, № 1. – С. 72-77. – EDN JTZXET.
3. Третьяков, И. А. Применение оптических методов обработки информации в АСНИ радиосигналов / И. А. Третьяков, В. В. Данилов, В. А. Ступак // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 42-49. – DOI 10.5281/zenodo.10974622. – EDN LSKSPA.

КОЛЬЦЕВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ ФОКУСИРОВАННОГО ОТВЕТА КОРРЕСПОНДЕНТУ

Чони Ю.И., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-2787-7959,

Хасанов К.Б.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени академика А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, РФ

tchoni@rambler.ru

Введение. На современном этапе развития телекоммуникационных систем для обеспечения помехоустойчивости используются многоканальный прием и обработка сигналов, осуществляемые в адаптивных антенных решетках (ААР), по-другому называемыми компенсаторами помех. Существующие системы адаптивной компенсации помех эффективно подавляют помехи в режиме приема, но не обеспечивают скрытность работы в режиме передачи, так как ответный сигнал излучается изотропно [1-4]. В статье обсуждается возможность формирования направленного ответа на соответствующий запросчик.

Основная часть. На рис. 1 приведена структурная схема канала направленного ответа, которая реализует известный принцип комплексного сопряжения для формирования луча в желаемом направлении. При появлении запросного сигнала дешифратор запроса вырабатывает импульс «запуска ответа». Генератор квадратур формирует на выходе два сигнала: модулированную кодом ответа несущую частоту $f_{\text{отв}}$ с условно нулевой фазой и аналогичный сигнал, отличающийся фазовым сдвигом несущей на 90° [2].

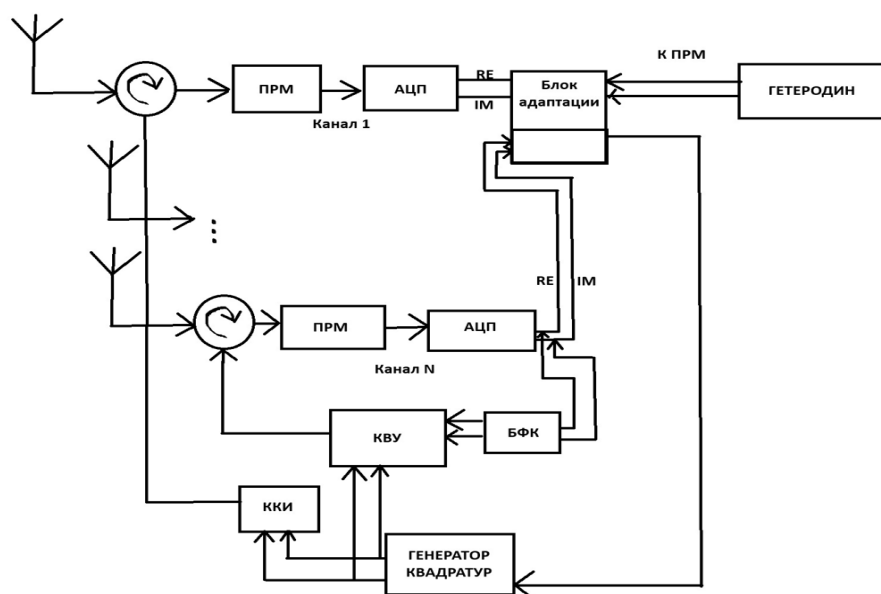


Рис. 1. Структурная схема цифрового компенсатора помех

Известный принцип формирования максимума ДН в направлении приема: комплексные амплитуды возбуждения повторяют комплексно сопряженные значения принимаемых сигналов, которые пропорциональны индивидуальным ДН антенных элементов в направлении запроса [2]. Луч формируется за счет возбуждения АР в соответствии с сопряженными значениями комплексных амплитуд принятых сигналов:

$$W_n = f_n^*(n, \beta) \quad (1)$$

Диаграмма направленности для всей системы будет выглядеть как сумма диаграмм направленности каждого элемента:

$$F(\theta, \varphi) = \sum_n^N W_n \cdot f_n(\theta, \varphi)$$

В отсутствии помех для формирования изотропной зоны приема, элементы антенной решетки должны возбуждаться равномерно $\{W_n = 1\}$.

Для ДН с максимумом в направлении (θ_0, φ_0) формула будет выглядеть так:

$$F(\theta, \varphi) = \sum_n^N f_n^*(\theta_0, \varphi_0) f_n(\theta, \varphi) \quad (2)$$

Отсюда следует, что:

$$F(\theta_0, \varphi_0) = \sum_n^N |f_n^*(\theta_0, \varphi_0)|^2 \quad (3)$$

Итак, максимальной коэффициент усиления получается не только за счет фазирования, но и за счет того, что элемент антенной решетки возбуждается пропорционально амплитуде поля, которое он создает в желаемом направлении.

Структурная схема по рис. 1 реализует именно такой принцип возбуждения в режиме ответа. В таблице 1 приведены результаты расчетов КНД шести элементной антенной решетки в зависимости от радиуса a кольца.

Таблица

КНД решетки

a/λ	0.3	0.4	0.5	0.6
g_0	3,965	5,151	5,441	4,964
g_1	3,948	5,071	5,638	5,868
G_0	5,948	7,727	8,161	7,446
G_1	5,922	7,607	8,457	8,803

Здесь a – радиус антенной решетки, g – КНД луча в плоскости, G – КНД луча как объемной ДН.

На рисунках ниже приведены соответствующие диаграммы направленности для двух характерных направлений: по угловой координате элемента и между соседними.

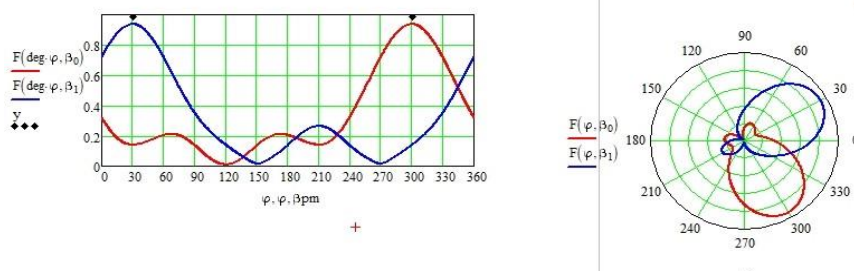


Рис. 2. ДН при $a = 0.3\lambda$

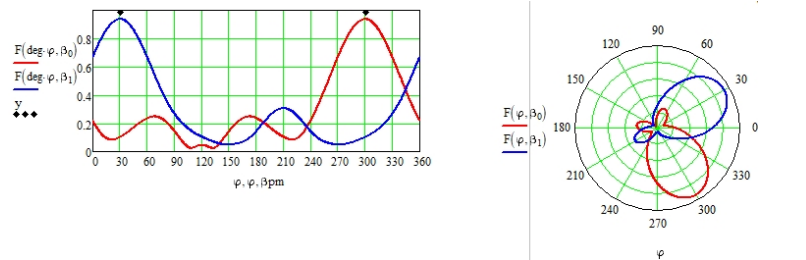


Рис. 3. ДН при $a = 0.4\lambda$

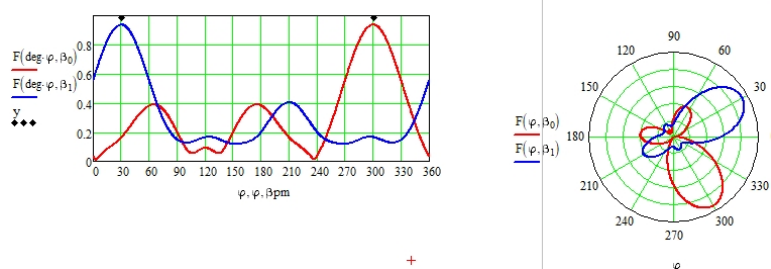


Рис. 4. ДН при $a = 0.5\lambda$

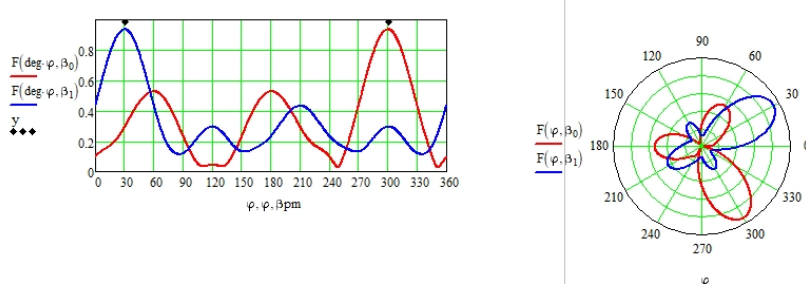


Рис. 5. ДН при $a = 0.6\lambda$

Заключение. Естественно, оптимизация не только радиуса кольца при фиксированном числе N элементов антенной решетки, но и их совместная оптимизация может стать предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Пистолькорс А. А. Введение в теорию адаптивных антенн / А. А. Пистолькорс, О. С. Литвинов. – 1999. – 78 с.
2. Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решетки / Р. А. Монзинго, Т. У. Миллер. – 1986. – 112 с.
3. Чони Ю. И. Адаптивные антенны систем связи и телекоммуникаций / Ю. И. Чони. – Казань: Изд. «Новое знание». – 2012. – 23 с.
4. Чони Ю. И. Стабилизация лучей спутниковой многолучевой гибридной зеркальной антенны по сигналам наземного маяка / Ю. И. Чони, П. В. Романов. – 2020. – 5 с.

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН ПРИ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Шелехова О.Г., канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

jenjaistorik@mail.ru

Введение. Горные машины (ГМ) занимают центральное место в технологической цепи добычи полезных ископаемых [1]. Очевидно, что надежность их работы напрямую влияет на эффективность ведения горных работ [1]. Наибольшая часть электроприводов горных машин строится на базе асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором [1].

Эксплуатация электропривода горных машин, может сопровождаться такими неблагоприятными факторами, как наличие угольной пыли во взвешенном состоянии [2], взрывоопасной атмосферой [1], наличием влаги за счет подземных вод [1] и т. д. В связи с особенностями эксплуатации для привода горных машин зачастую применяются взрывозащищенные АД [3].

Обзор последних исследований и публикаций. Одной из распространенных причин аварийности АД горных машин является несимметрия питающего напряжения [1–3]. Появление напряжения обратной последовательности приводит к неравномерному распределению токов в обмотках трехфазных АД и возрастанию температур отдельных фаз. Протяжённые, маломощные сети в угольных шахтах могут привести к значительному снижению напряжения прямой последовательности на зажимах электродвигателя [3]. В этом случае, возможный одновременный рост токов прямой и обратной последовательностей приводит к дополнительному нагреву обмоток статора и ротора и, в результате – к возможному повреждению АД [3].

Выше изложенное свидетельствует об актуальности исследования влияния несимметрии питающего напряжения на эксплуатацию АД горных машин с целью повышения их эксплуатационной надежности.

Цель исследования: оценка теплового состояния АД горных машин при несимметрии питающего напряжения, разработка рекомендаций по обеспечению их безаварийной эксплуатации.

Ранее автором установлено [4], что при $U_{np} = U_n$ скольжение АД не зависит от степени несимметрии, в результате [4] при постоянном значении $U_{np} = U_n$ токи прямой последовательности статора и ротора остаются неизменными, $I_{1np} = I_{1n}$ и I_{1np} не зависит от K_{2U} и при наиболее неблагоприятном угле сдвига фаз между напряжениями прямой и обратной

последовательностей ($\Delta\psi_{max} = \Delta\psi_{max}$) относительное значение тока наиболее нагруженной фазной обмотки статора:

$$I_{I_{наиб}}^* = I_{IA}^* = 1 + \frac{K_{2U}}{Z_{обр}^*}, \quad (1)$$

Токи в двух других фазных обмотках [4]:

$$I_{IB}^* = I_{IC}^* = \sqrt{\left(1 + \frac{K_{2U}}{Z_{обр}^*}\right)^2 - 3 \frac{K_{2U}}{Z_{обр}^*}}, \quad (2)$$

где $Z_{обр}^* = \frac{Z_{обр}}{Z_{\phi}}$ – относительное сопротивление цепи для обратной последовательности. В качестве базового значения сопротивления принято $Z_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{In}}$. Из выражений (1) – (2) следует, что рост токов в обмотках статора и ротора при несимметрии питающего напряжения обратно пропорционален величине сопротивления обратной последовательности ($Z_{обр}^*$): АД с меньшими значениями $Z_{обр}^*$ испытывают более высокие токовые перегрузки.

Асинхронные двигатели, применяемые для управления механизмами горных машин выпускаются различных модификаций [1–3] и др. Из выражений (1) – (2) следует, что наибольшее влияние на составляющие токов обратной последовательности оказывает сопротивление обратной последовательности $Z_{обр}^*$ и для АД горных машин мощностью до 400кВт разных типоразмеров может изменяться в пределах $Z_{обр}^* = 0,05 \div 0,40$. В пределах одного типоразмера величина $Z_{обр}^*$ может изменяться в зависимости от следующих факторов: насыщения, явления вытеснения тока, за счет изменения величины воздушного зазора (которая может изменяться в результате механических деформаций), неравномерного распределения проводников по площади поперечного сечения паза [4] и др.

В ходе проведенных исследований установлено, что сопротивление обратной последовательности не зависит от мощности асинхронного двигателя, для АД одинаковой мощности величина $Z_{обр}^*$ может изменяться в широких пределах. Наибольшие токовые и тепловые перегрузки при несимметрии питающего напряжения испытывает фазная обмотка наиболее нагруженной фазы статора [4]. В качестве примера на рис. 1 представлены значения температуры ($\theta_{I_{наиб}}^*$) наиболее нагруженной фазной обмотки статора АД с различными значениями $z_{обр}^*$ при различных значениях K_{2U} и $\Delta\psi_{max} = \Delta\psi_{max}$.

Расчёт теплового состояния АД осуществлялся с помощью системы дифференциальных уравнений, полученных на основании эквивалентной тепловой схемы (ЭТС) [5].

Из анализа результатов, представленных на рис. следует, что темпы

роста температур АД горных машин в зависимости от сопротивления обратной последовательности при несимметрии могут существенно различаться. Темпы роста температур составляет от 9 % до 34 % при $K_{2U} = 2$ % и от 19 % до 71 % при $K_{2U} = 4$ % и т. д.

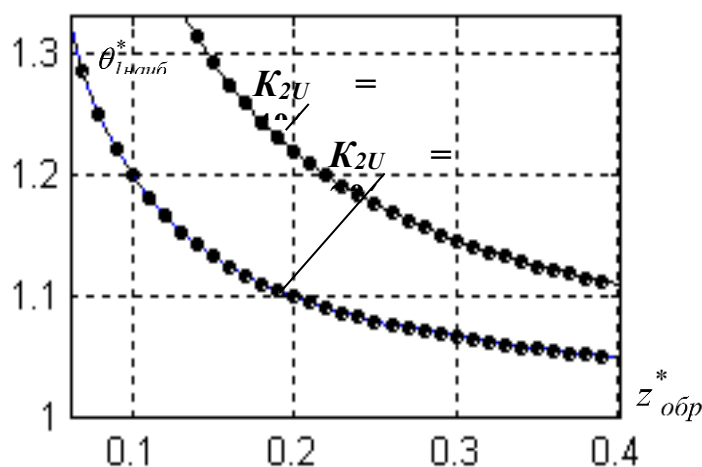


Рис. Температура наиболее нагруженной фазной обмотки статора в зависимости от сопротивления обратной последовательности при $\Delta\psi_{\max} = \Delta\psi_{\max}$

Выводы. В работе оценка теплового состояния АД горных машин при несимметрии питающего напряжения. В результате обосновано, что сопротивление обратной последовательности $Z_{обр}^*$ может быть использовано в качестве критерия оценки теплового состояния АД при несимметрии питающего напряжения: чем меньше $Z_{обр}^*$. Чем ниже $Z_{обр}^*$, тем выше тепловые перегрузки АД. Установлено, что для АД горных машин диапазон изменения сопротивления обратной последовательности $Z_{обр}^* = 0,05 \div 0,4$. Установлено, что сопротивление обратной последовательности не зависит от мощности асинхронного двигателя и для АД одинаковой мощности величина сопротивления обратной последовательности может изменяться в широких пределах. Показано, что для обеспечения безаварийной эксплуатации АД при несимметрии питающего напряжения, допустимой ГОСТ 32144–2013 необходимо выбирать АД с $Z_{обр}^* > 0,12$. В случае, если подобрать АД с $Z_{обр}^* > 0,12$ по техническим причинам не представляется возможным нагрузку на его валу необходимо снижать.

Список литературы

1. Семькина И. Ю. О разработке адаптированной системы для диагностирования состояния электроприводов горных машин / И. Ю. Семькина, Р. А. Кольцов, А. Н. Гартаев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2013. – №5. – С. 236–241.
2. Петров В. Л. Оценка опасности несимметричных режимов утечки тока через изоляцию в подземных электрических сетях горных предприятий / В. Л. Петров,

А. В. Пичуев // Энергобезопасность и энергосбережение – № 5 (107) – 2022. – С. 15–22.

3. Дмитриева В. В. Моделирование защиты от несимметричных режимов работы высоковольтного асинхронного привода циркуляционного компрессора в установке гидроочистки топлив / В. В. Дмитриева, А. Б. Хамматов // Энергетика, автоматизация и энергоэффективность. – 2023. – 8 (3) – С. 245–259.
4. Шелехова О. Г. Определение зависимости тока статора асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности при различных параметрах его схемы замещения / О. Г. Шелехова // Сборник трудов СПб ГУАП. – 2016. – С. 284–291.
5. Федоров М. М. Исследование распределения температур узлов асинхронного двигателя при несимметрии питающих напряжений / М. М. Федоров, В. Ф. Денник, А. В. Корощенко // Сб. тр. ДонГТУ. Сер. электротехника и энергетика. – Донецк, 1999. – Вып. 4. – С. 138–141.

УДК 004.27:004.38

ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В КРИПТОГРАФИИ

Шиловский М.Р., Балабаева И.Ю., ORCID 0000-0002-5063-1389

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, Ростовская обл., РФ
shilovskii@sfsedu.ru, ibalabaeva@sfsedu.ru

Введение. Квантовая информатика – это междисциплинарная наука, возникшая в конце XX века на стыке квантовой механики, теории алгоритмов и теории информации. Она изучает закономерности передачи и обработки информации, основанные на принципах квантовой физики. Ключевыми концепциями здесь являются квантовая суперпозиция, принцип неопределённости, теорема о запрете клонирования, туннельный эффект и квантовая телепортация. Эти явления позволяют создавать технологии, значительно превосходящие классические вычисления по скорости и эффективности.

Приложения квантовой информатики включают квантовые алгоритмы, обработку квантовой информации и квантовое распределение ключей для систем криптографической защиты информации. Значимость дисциплины подчёркивается Нобелевскими премиями: в 2012 году Серж Арош и Дэвид Уайнленд были удостоены награды за методы измерения и манипуляции индивидуальными квантовыми системами, а в 2022 году – Ален Аспе, Джон Клаузер и Антон Цайлингер за эксперименты с запутанными фотонами, подтверждающие нарушение неравенств Белла и закладывающие основы квантовой информатики.

Развитие квантовых процессоров также не стоит на месте: от Sycamore (Google, 53 кубита, 2019) до IBM Condor (1121 кубит, 2023) и D-

Wave Advantage (5640 кубитов, 2020). Как отмечал Стивен Хокинг, в квантовой теории всё, что не полностью исключено, может произойти. Юрий Манин в 1980 году подчеркнул, что квантовая система обладает большей ёмкостью, чем классическая, благодаря суперпозиции состояний в гильбертовом пространстве. Это открывает путь к новым алгоритмам, таким как алгоритм Шора для факторизации и Гровера для поиска, которые угрожают традиционной криптографии.

Основная часть. Квантовая теория сложности размещает классы задач в иерархии:

$$P \subseteq BPP \subseteq BQP \subseteq PP \subseteq PSPACE, \quad (1)$$

где BQP – класс задач, эффективно решаемых квантовыми компьютерами с ограниченной вероятностью ошибки. Основу квантовых вычислений составляет кубит – двухуровневая квантовая система в пространстве C^2 . Чистое состояние кубита описывается как

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad (2)$$

где $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$, а коэффициенты α и β – амплитуды вероятностей. Кубит может находиться в суперпозиции базисных состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$, соответствующих классическим битам 0 и 1.

Геометрически состояние кубита представляется на сфере Блоха:

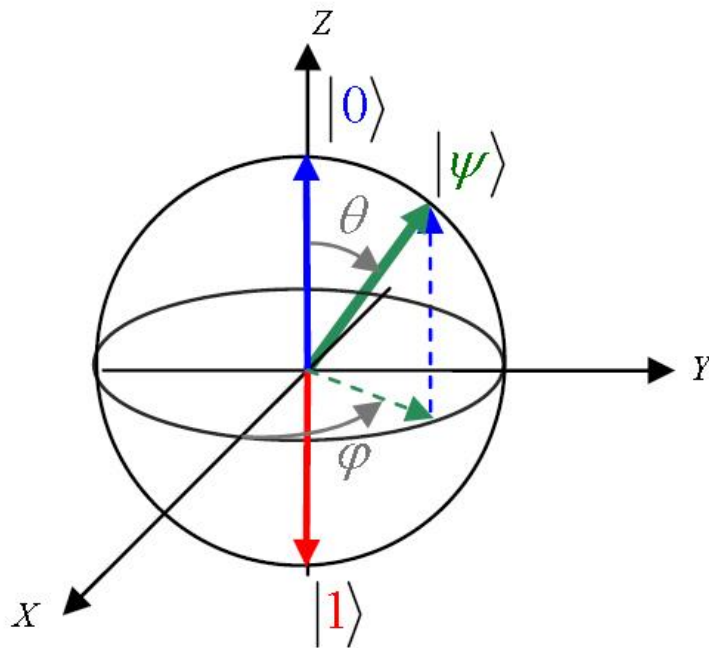


Рис. 1. Сфера Блоха

Состояния кубита описываются через параметры $\theta \in [0; \pi]$ и $\varphi \in [0; 2\pi]$, где:

$$|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + \sin\frac{\theta}{2}e^{i\varphi}|1\rangle. \quad (3)$$

Постулаты квантовой механики определяют пространство состояний для n кубитов как C^{2^n} , эволюцию – унитарными операторами (уравнение Шрёдингера), измерения – по правилу Борна с коллапсом волновой функции, а составные системы – тензорным произведением пространств.

Квантовые вычисления реализуются через схемы с вентилями – унитарными операторами. Базовые вентили включают Паули-Х (NOT: $|0\rangle \rightarrow |1\rangle, |1\rangle \rightarrow |0\rangle$), Controlled-NOT (CNOT: переключает второй кубит, если первый в $|1\rangle$), Тоффоли (CCNOT: аналог для трёх кубитов) и Адамара (H: создаёт суперпозицию, $|0\rangle \rightarrow \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$). Вентиль Адамара позволяет генерировать равномерную суперпозицию всех состояний: для n кубитов

$$\frac{1}{2^{n/2}} \sum_{x \in F_2^n} |x\rangle. \quad (4)$$

Универсальные наборы вентиляей, такие как {CCNOT, CNOT, H, $S(\frac{\pi}{4})$ } или теорема Соловея-Китаева, позволяют аппроксимировать любое унитарное преобразование с точностью ε за $O(\log^c \frac{1}{\varepsilon})$ операций, где $c \approx 2$. Квантовый параллелизм – ключевой эффект: для функции $f: \{0; 1\}^n \rightarrow \{0; 1\}^m$ схема U_f применённая к суперпозиции входов вычисляет f для всех входов одновременно, но извлечение результатов требует измерений.

Квантовые алгоритмы делятся на поисковые (Гровера), основанные на квантовом преобразовании Фурье, и моделирующие. Алгоритм Шора решает факторизацию $N = pq$ за $O(\log^3 N)$, угрожая RSA. В RSA ключи генерируются из простых p, q ; $N = pq, ed \equiv 1 \bmod \varphi(N)$. Шифрование:

$$c = m^e \bmod N. \quad (5)$$

Дешифрование:

$$m = c^d \bmod N. \quad (6)$$

Факторизация позволяет найти d . Аналогично, для Diffie-Hellman ($g^x \bmod p, g^y \bmod p \rightarrow g^{xy} \bmod p$) Шор вычисляет дискретный логарифм за $O(\log^2 p)$.

Алгоритм Шора использует нахождение порядка: выбрать a взаимно простого с N , найти r такое, что $a^r \equiv 1 \bmod N$. Если r чётно и $a^{\frac{r}{2}} \not\equiv -1 \bmod N$, то $\gcd(a^{\frac{r}{2}} \pm 1, N)$ – делители. Вероятность успеха $\geq 1/2$. Это часть задачи о скрытой подгруппе (Китаев, 1995): для группы G и функции f , постоянной на cosets подгруппы K , найти генераторы K . Для абелевых G решает задачи Дойча, Саймона, факторизации и логарифмирования; для изоморфизма графов (S_n) или shortest vector problem (D_n).

Пример простого алгоритма – Дойча (1985): определить, постоянна ли $f: \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$ или сбалансирована. Схема с H и U_f даёт $|f(0) \oplus f(1)\rangle \otimes |-\rangle$, где измерение первого кубита решает задачу за один запрос, против двух классически.

Классические методы, например number field sieve, сложность

$$e^{(1,902 + o(1))(\ln N)^{\frac{1}{3}}(\ln \ln N)^{\frac{2}{3}}}, \quad (7)$$

уступают квантовым. Gidney и Ekerä (2019) оценили: факторизация 2048-битного RSA требует 20 млн noisy кубитов за 8 часов.

Заключение. Квантовые вычисления революционизируют криптографию, делая уязвимыми алгоритмы RSA и Diffie-Hellman. Переход к постквантовой криптографии необходим. Несмотря на вызовы, такие как декогеренция, прогресс в процессорах обещает прорывы в моделировании и оптимизации. Как отметил Чанг, разработка требует особой интуиции, но потенциал огромен.

Список литературы

1. Гузик В.Ф. Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов: монография / В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, Е. В. Ляпунцова, В. С. Потапов; Южный федеральный ун-т. – Москва: Южный федеральный ун-т, 2019. – Т. 1. – 285 с. – ISBN 978-5-9221-1792-0. – УДК 004.38.
2. Торгаев С. Н. Основы квантовых вычислений: учеб. пособие / С. Н. Торгаев, И. Д. Шульга, Е. А. Юрченко, М. Л. Громов; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. – Томск: ООО «СТТ», 2020. – 88 с. – ISBN 978-5-93629-656-7. – УДК 519.688.
3. Ожигов Ю. И. Квантовые вычисления: учеб. пособие / Ю. И. Ожигов; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Фак. вычисл. математики и кибернетики. – Москва: Фак. вычисл. математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, 2003. – 151 с. – ISBN 5-89407-172-0. – УДК 530.145:510.58:519.68.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНАЦИИ СЕТЕЙ ESRGAN И YOLOV8

Абилхан А.С., ORCID 0009-0004-1367-2209,

Косенко О.В., канд. техн. наук, доц. ORCID 0000-0001-5920-6343

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, Ростовская обл., РФ
abilkhan@sfedu.ru, ovkosenko@sfedu.ru

Современные технологии идентификации объектов занимают ключевую роль в различных сферах человеческой жизнедеятельности, таких как: охранная безопасность, транспортные средства, медицина, военные технологии и другие. В решении задач по идентификации (обнаружению) объектов успешно себя зарекомендовали нейросетевые технологии, которые работают на основе методов глубокого машинного обучения.

Идентификация объектов представляет собой алгоритм, который принимает подаваемое изображение на вход, а затем предсказывает ограничивающие рамки и вероятности классов для каждого объекта, присутствующего на нем. Большинство из таких алгоритмов основываются на сверточных нейронных сетях (CNN), которые используются для извлечения характеристик изображения с целью оценки вероятностей различных классов. Обнаружение объектов является ключевой задачей, позволяющей не только определить местоположение и категорию объектов в кадре, но и сохранить уникальный идентификатор с обрамлением для каждого выявленного объекта.

Для решения задач по обнаружению объектов на изображениях и видеопотоках уже на протяжении многих лет успешно зарекомендовал себя алгоритм «YOLO».

YOLO (англ. *You Only Look Once*) – это алгоритм обнаружения объектов в режиме реального времени [1]. Архитектура всех моделей YOLO основана на использовании сверточных слоев для предсказания ограничивающих рамок и меток классов. YOLO применяет метод прогнозирования с использованием якорей, связывая каждую ограничивающую рамку с заранее определенными якорными рамками.

Функция потерь в YOLO сочетает в себе бинарную перекрестную энтропию и метрику оценки точности обнаружения (CIoU) для потерь класса, объектности и локализации, что выражается в виде:

$$loss = \lambda_1 \cdot L_{cls} + \lambda_2 \cdot L_{obj} + \lambda_3 \cdot L_{loc} , \quad (1)$$

где L_{cls} , L_{obj} , L_{loc} – обозначают потери бинарной перекрестной энтропии для предсказания класса, потери бинарной перекрестной энтропии для предсказания объектности и потери CIoU для локализации, соответственно значения λ служат весовыми коэффициентами для каждого компонента потерь [2].

С каждой новой версией, разработчики YOLO улучшают, точность идентификации, но практически всегда в процессе обнаружения объектов, системе приходится работать с изображениями, имеющими низкое разрешение. В большинстве случаев, это происходит в связи с такими распространенными проблемами, как ограниченное количество мегапикселей, плохая линза и объектив камеры, а также внешние факторы (погодные условия, освещение и др.). Качество изображения и его разрешение, играет основную роль в точности работы метода YOLO при идентификации объектов. Низкое разрешение, например менее 320x320 пикселей, значительно снижает эффективность распознавания. Такие изображения часто содержат шумы или размытия по пикселям, что затрудняет процесс обнаружения объектов. Оптимальными считаются разрешения в диапазонах от 416x416 до 640x640 пикселей. Однако даже при использовании таких разрешений необходимо повышать качество идентификации объектов. Для таких целей применяются специальные методы (масштабирование, цветокоррекция, удаление шумов и различные фильтры), но одним из наиболее результативных является применение инструмента ESRGAN (Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network).

Сначала ESRGAN обрабатывает подаваемое на вход изображение низкого качества. Сеть обладает двумя ключевыми компонентами: генератор и дискриминатор [3]. Генератор создает изображение с улучшенным разрешением, применяя сложные сверточные слои и оптимизированные функции потерь, которые сохраняют важные детали. Дискриминатор оценивает, насколько полученное изображение соответствует настоящему. После этого, проводится обработка, включающая устранение шумов и настройку цветового баланса. Далее «улучшенное» изображение поступает в модель YOLO, где финалом работы является идентификация объекта.

Для наглядной демонстрации работы ESRGAN в сочетании с YOLO было выбрано изображение с разрешением 640x416, на котором изображены два объекта – люди на дороге. Одно изображение было сразу подано в алгоритм YOLO v8, а другое сначала прошло через ESRGAN, прежде чем попасть в тот же алгоритм.

Результаты показали, что первое изображение, которое сразу поступило в YOLO v8, смогло обнаружить только одного человека на дороге [4]. В то время как изображение, прошедшее обработку через ESRGAN и получившее заметные улучшения – такие как снижение шумов и восстановление недостающих деталей – позволило YOLO обнаружить второго человека, едущего на мопеде. Таким образом, можно сделать

вывод о том, что повышение разрешения изображений с использованием сети ESRGAN способствует улучшению качества входных данных, что в свою очередь может повысить точность обнаружения объектов при применении нейронных сетей семейства YOLO.



Рис. Слева, не обработанное изображение в ESRGAN. Справа, обработанное изображение в ESRGAN

Список литературы

1. Ayush Yajnik Computer Vision: YOLO introduction – Текст: электронный // Medium: официальный сайт. – 2023. – URL: <https://medium.com/@ayushyajnik2/computer-vision-yolo-introduction-49c873c1d6a0> (дата обращения: 28.09.2025).
2. Pablo García Mesa Understanding YOLOv5 Loss: A Comprehensive Analysis – Текст: электронный // Medium: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://pgmesa.medium.com/understanding-yolov5-loss-a-comprehensive-analysis-ffe35e6> (дата обращения: 28.09.2025).
3. Nenavin Upscaling Images with Real-ESRGAN Making High Resolution Images with Stable Diffusion – Текст : электронный // Medium : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://medium.com/@natsunoyuki/upscaling-images-with-real-esrgan-db579e9fb68d> (дата обращения: 28.09.2025).
4. Sreedath Panat YOLO: The most exciting topic in computer vision – Текст: электронный // Vizuar: официальный сайт. – 2025. – URL: <https://www.vizuarnewsletter.com/p/yolo-the-most-exciting-topic-in-computer> (дата обращения: 28.09.2025).

УДК 536.6, 519.722

О ПОДХОДАХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЭНТРОПИИ И ПРИНЦИПЕ ЛАНДАУЭРА

Аверин Г.В., д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-1070-3677
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
g.averin@donnu.ru

Введение. Теория теплоты включает подходы, основанные на теории теплообмена, термодинамике, молекулярно-кинетической теории и математическом моделировании. Методы этих наук помогают объяснять

процессы распространения теплоты, законы превращения энергии и свойства тел, а также моделировать тепловые процессы. В свою очередь, теория теплообмена и термодинамика представляют собой два различных научных направления в теории теплоты [1]. С одной стороны, теория теплообмена оперирует дифференциальными уравнениями в частных производных, в которых присутствует время, как физический параметр. С другой стороны, в уравнениях классической термодинамики время отсутствует, несмотря на то, что все термодинамические процессы протекают во времени. При этом в основу указанных наук положены феноменологические методы, в отличие от молекулярно-кинетической теории, где применяется статистический подход.

Вообще-то очевидно, что один и тот же физический процесс может быть описан различными математическими моделями. В связи с тем, что тепловые процессы достаточно подробно изучены, выскажем гипотезу, что при их моделировании можно предложить различные модели, которые будут качественно отличаться по используемой методологии. Например, такие процессы могут быть описаны как с использованием методов термодинамики, так и методов теории информации или геометрии. Однако, в этих случаях необходимо сформулировать общесистемное представление о состоянии физической системы и совершаемых ею процессах.

Целью данной публикации является показать на конкретном примере, что физический процесс может быть описан различными моделями и между характеристиками этих моделей может быть установлена однозначная связь на основе использования опытных данных, характеризующих этот процесс.

Основная часть. Описание тепловых процессов может быть осуществлено методами термодинамики и информатики, путем установления связи между термодинамической и информационной энтропией. Изучим с этой целью термодинамические процессы изменения состояний идеального газа.

В данном случае, в термодинамике и в теории информации необходимо сформулировать общее понятие состояния физической системы и показать, как определяется вероятность этого состояния. Определим состояние физической системы (объекта) как мгновенную оценку совокупности значений параметров свойств, характерных для данной системы. Рассмотрим совместное событие одновременного наблюдения указанных значений параметров и будем считать, что существует статистическая вероятность данного события, которая может быть определена по выборке состояний заданного числа объектов.

Зная термодинамические параметры идеального газа, можно определить термодинамическую энтропию его состояния. Воспользуемся для этого таблицами термодинамических свойств газов и выражением [2]:

$$s_t = \int_0^T \frac{c_p dT}{T} - R \ln p = s^0 - R \ln p. \quad (1)$$

Точность таблиц по термодинамическим свойствам газов достаточно высокая (0,5 %) в области температур T от -50°C до 1500°C . Для водорода эта область соответствует диапазонам изменения давления от $p_{\min}=80 \text{ кПа}$ до $p_{\max}=280 \text{ кПа}$ и удельного объема от $v_{\min}=9 \text{ м}^3/\text{кг}$ до $v_{\max}=29 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Используя метод Монте-Карло, сгенерируем равномерно распределенным генератором случайных чисел 1000 состояний водорода в диапазоне значений удельного объема и давления $E(v_{\min}, v_{\max}; p_{\min}, p_{\max})$. Для построения 1000 линейных процессов сгенерируем еще 1000 состояний и определим геометрическую вероятность попадания случайной точки в прямоугольник со сторонами, параллельными осям координат, где правая верхняя вершина совпадает с каждым из 2000 состояний $m(v_m, p_m)$:

$$\rho = P(0 \leq v < v_m; 0 \leq p < p_m) = \frac{v_m p_m}{v_{\max} p_{\max}}. \quad (2)$$

Так как в процессе статистического моделирования параметры состояния водорода подчинены равномерному распределению, то статистическая вероятность равна геометрической вероятности $w = \rho$. Таким образом, по термодинамическим параметрам водорода для каждого состояния можно определить информационную энтропию в виде энтропии Бриллюэна $s_w = -\alpha \log w$ или энтропии Шеннона $s_w = -w \log w$, используемых в теории информации.

Далее применяя регрессионный анализ, получим для состояний водорода уравнение связи между термодинамической и информационной энтропиями:

$$s_t = 88,268 + 12,659 s_w, \quad (3)$$

где s_t определяется уравнением (1) и данными таблиц [2], а $s_w = \ln(w)$. Коэффициент корреляции уравнения (3) составил 0,99, результаты обработки данных приведены на рисунке. Аналогично, для азота имеем уравнение:

$$s_t = 8,708 + 1,001 s_w. \quad (4)$$

По параметрам водорода и азота можно определить информационную энтропию состояния в виде, который был предложен Шенноном $s_w = -w \ln(w)$, и установить взаимосвязь между величинами s_t и s_w в этом случае [3].

Далее, зная термодинамическую энтропию для каждого состояния, легко найти количество теплоты для всех 1000 линейных процессов

$$\Delta Q_l = \int_l T ds_t, \text{ где } l - \text{прямая линия } \frac{p - p_1}{p_2 - p_1} = \frac{v - v_1}{v_2 - v_1}, \text{ соединяющая два}$$

произвольных состояния идеального газа 1 и 2.

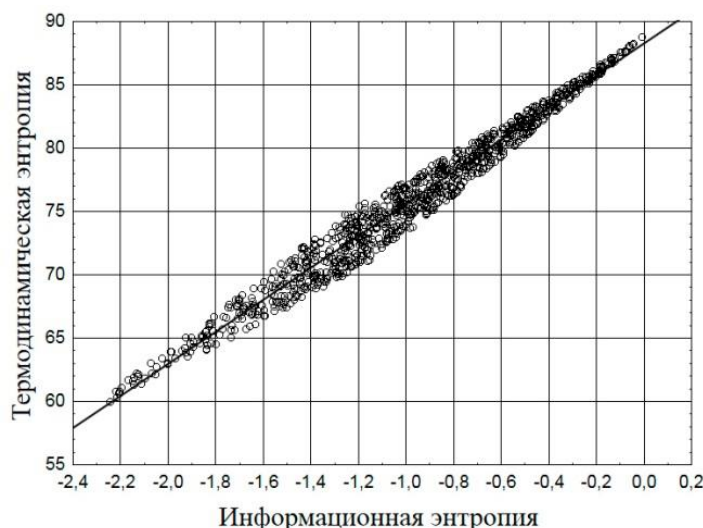


Рис. Взаимосвязь термодинамической энтропии s_t и информационной энтропии Брюллюэна $s_w = \alpha \ln(w)$ для состояний водорода

В свою очередь, для равноудаленных точек на прямой l может быть определено значение количества информации в виде $\Delta I = -\sum_n \alpha \log w_i$ или

$$\Delta I = -\sum_n w_i \log w_i. \text{ Это позволяет установить однозначную связь между ко-}$$

личеством теплоты и количеством информации для физического процесса.

Заключение. Предложенный подход к описанию множества физических процессов одного вида различными математическими моделями позволяет установить на макроуровне ряд новых эмпирических закономерностей. Непосредственным примером реализации такого подхода может быть эмпирическое изучение справедливости принципа Ландауэра [4] для различных условий. Принцип Ландауэра, согласно которого в любой вычислительной системе при потере бита информации выделяется количество теплоты не менее $\Delta Q = k_B T \ln 2$, хотя и признается рядом ученых в качестве физического закона [5], однако требует экспериментального обоснования для самых различных термодинамических систем.

Список литературы

1. Эткин В. А. Актуальные задачи термодинамики. – Режим доступа: http://samlib.ru/e/etkin_w_a/ (дата обращения: 23.09.25)
2. Ривкин С. Л. Термодинамические свойства газов: Справочник / С. Л. Ривкин. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 288 с.
3. Аверин Г. В. Системодинамика: теория и приложения / Г. В. Аверин. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Донецк: ООО «НПП «Фолиант», 2022. – 535 с.
4. Landauer R. Irreversibility and heat generation in the computing process / R. Landauer // IBM Journal of Research and Development. – 1961. – V. 5. – P. 183–191.
5. Berut A. Experimental verification of Landauer's principle linking information and thermodynamics / A. Berut, A. Arakelyan, A. Petrosyan, S. Ciliberto, E. Lutr // Nature. 483. – 2012. – P. 187–189.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аверин Г.В., д-р техн. наук, проф., ORSID 0000-0003-1070-3677,

Ломонос Г.Т., ORSID 0009-0000-9759-0008

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

g.averin@donnu.ru, lomonos.gn@gmail.com

Введение. Мониторинг метеорологических параметров является ключевым инструментом в задачах экологического контроля, промышленной безопасности и управления микроклиматом в помещениях. Традиционные измерительные системы часто имеют высокую стоимость и ограниченную масштабируемость, что затрудняет развертывание распределённых объектов. Современные микроконтроллерные платформы с множеством измерительных датчиков, поддержкой беспроводных протоколов и интеграцией в Интернет вещей (IoT) позволяют создавать недорогие, масштабируемые и энергоэффективные системы мониторинга метеорологических параметров.

Цель работы – разработка многофункциональной распределённой системы мониторинга метеорологических параметров атмосферного воздуха. Работа направлена на создание гибридных систем мониторинга параметров объектов и окружающей среды нового технического уровня.

Основная часть. Для измерения выбраны следующие параметры: температура, влажность, атмосферное давление, уровень кислорода в воздухе и величина земного магнитного поля. Два последних параметра добавлены в систему измерения в связи с тем, что в результате научных исследований [1] обнаружена корреляция между уровнем магнитного поля и концентрацией кислорода в воздухе. Для обмена данными между устройствами измерения параметров и центральным узлом выбран протокол MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [2, 3] за счёт:

- малых накладных расходов;
- устойчивости к временным потерям связи;
- поддержки в большинстве IoT-платформ и в TRACE MODE 7[4].

Схема информационных потоков мониторинга представлена на рис. 1.

Обмен данными по протоколу MQTT происходит по схеме «клиент-брокер-клиент». Для этой цели нами использован бесплатный публичный MQTT-брокер Mosquitto [5]. Каждое измерительное устройство будет собирать данные в определенные темы, опубликованные на брокере уникальные для каждого устройства. Центральная система мониторинга подписана на эти темы и будет получать обновления данных при каждой

публикации. В аппаратной части измерительных устройств используются следующие датчики.

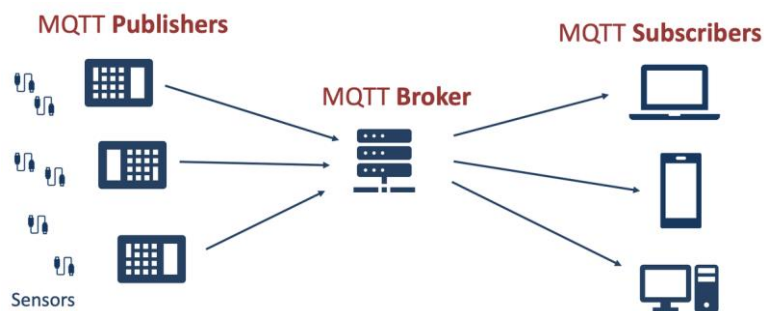


Рис. 1. Схема информационных потоков системы мониторинга

ВМЕ280 – комбинированный цифровой сенсор для измерения температуры ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), влажности ($\pm 3\% RH$) и давления ($\pm 1\text{ hPa}$).

O₂-A3 – электрохимический датчик для измерения концентрации кислорода в диапазоне 0–25 % O₂ от ALPHASENSE LTD [6].

Для измерения магнитного поля используем сенсор LSM9DS1, содержащий трёхосевой магнитометр. Получая X , Y , Z компоненты магнитного поля в микротеслах (μT), вычисляем полную величину вектора магнитного поля Земли $B = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$.

Исходя из нормальной величины земного магнитного поля на поверхности $\approx 25\text{--}65\text{ }\mu T$ для встроенного магнитометра выбран диапазон измерения магнитного поля ± 4 гаусс ($\pm 400\text{ }\mu T$) (максимальная чувствительность).

Контроллер ESP32 выбран как базовый вычислительный узел измерительных устройств благодаря достаточной производительности (двухъядерный процессор, до 240 МГц), встроенному Wi-Fi и поддержке протокола MQTT и HTTP.

Программная реализация. Программный модуль на ESP32 циклически опрашивает датчики с периодичностью 10 секунд, усредняет результаты и формирует MQTT-сообщение в формате JSON.

Программное обеспечение центрального узла создано в среде IDE SCADA TRACE MODE 7 и выполняет подписку на MQTT-топики, визуализацию текущих значений, хранение исторических трендов параметров измерения в базе данных. На рис.2 представлен экран интерфейса пользователя центрального узла сбора и обработки данных.

Построенная система обеспечивает:

- передачу данных с задержкой менее 1 секунды при прямом подключении по Wi-Fi;
- стабильность работы в течение длительных периодов (тест 30 суток);
- возможность масштабирования до десятков и сотен узлов без существенных изменений архитектуры.

Внедрение предложенной системы позволяет оперативно реагировать на изменения атмосферных условий, интегрировать данные с другими источниками (метеостанции, промышленные датчики) и автоматизировать принятие решений в системах управления.

Непрерывный мониторинг позволит контролировать и изучать экологическую обстановку и величину земного магнитного поля на поверхности в реальном масштабе времени на обширной территории.

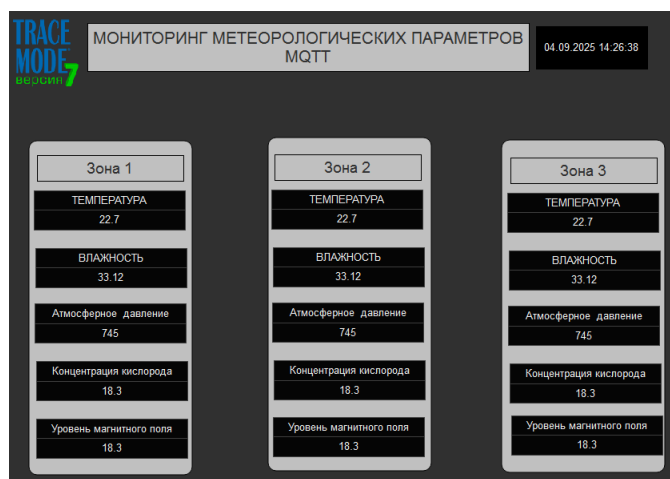


Рис. 2. Интерфейс пользователя

Заключение. Распределённая система мониторинга среды параметров демонстрирует высокую эффективность, низкую стоимость и гибкость интеграции. Использование протокола MQTT и SCADA TRACE MODE 7 позволяет легко масштабировать систему, расширять набор датчиков и применять её в промышленных, экологических и научных задачах. Возможна гибридная архитектура с использованием *LoRaWAN*-шлюзов в качестве промежуточных узлов для удалённых точек измерения.

Данная система мониторинга может применяться во многих областях техники для контроля параметров среды и технологических параметров объектов. Система позволяет использовать принцип «гибкой настройки» под конкретную область применения. В каждом случае предполагается изменение только перечня используемых датчиков или приборов контроля и разработка прикладных программных средств для анализа данных.

Список литературы

1. Kuang et al. MillsStrong link between Earth's oxygen level and geomagnetic dipole revealed since the last 540 million years. *Science Advances*, 2025, 11, eadu8826 – Режим доступа: <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/sciadv.adu8826> (дата обращения: 21.02.2025).
2. MQTT: The Standard for IoT Messaging. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mqtt.org/> (дата обращения: 21.02.2025).
3. MQTT против AMQP для Интернета вещей. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.hivemq.com/article/mqtt-vs-amqp-for-iot/> (дата обращения: 21.11.2023).

4. Руководство пользователя TRACE MODE 7. Программный комплекс. 7-е издание (к релизу 7.1.0.3). ТУ 58.29.29-001-18957709-2022. Москва, 2024 ООО «АдастрА» – 835 С.
5. Eclipse Mosquitto™, An open source MQTT broker. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mosquitto.org/> (дата обращения: 19.08.2025).
6. Alphasense. O₂-A3 Oxygen Sensor Datasheet <https://www.alphasense.com/products/view-by-target-gas/oxygen-sensors-o2> (дата обращения: 11.08.2025).

УДК 631.171

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОБИЗНЕСЕ

*Ан С.И.¹, ORCID 0009-0003-6667-098X,
Третьякова Н.В.², канд. пед. наук, доц., ORCID 0009-0009-5915-6206*

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина», г. Краснодар, РФ

²ФГКВУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков
имени А. К. Серова», г. Краснодар, РФ
n-tretkimpim@mail.ru, stanislavanchik2@yandex.ru

Требования повседневности задают темп развитию современных и инновационных технологий практически во всех отраслях деятельности человека. Особенно важно интегрировать самые передовые технологии в такие сферы деятельности как военное дело, промышленность, системы безопасности и т. п.

Производством продукции, потребляемой населением, занимается сельское хозяйство [2]. Важно, чтобы данная отрасль имело устойчивое и перспективное развитие. Сейчас такой вектор развитию АПК задает внедрение инновационных технологий в аграрный сектор посредством использования цифровых инструментов [1]. Цифровой инструментарий представлен следующими технологиями:

- системы точного земледелия [3];
- IoT-датчики (интернет вещей);
- искусственный интеллект;
- BigData;
- геоинформационные системы (ГИС), системы навигации (ГЛОНАСС, GPS, BeiDou и т.п.);
- автопилоты для управления сельхозтехникой;
- беспилотные летательные аппараты (БПЛА), агродроны;
- «умные» теплицы, «умные» фермы.

В нынешнее время при использовании систем точного земледелия достаточную популярность набирает внедрение БПЛА в процессы

механизации сельского хозяйства, т. к. такая интеграция обладает широким спектром возможностей использования данной технологии в реализации многих процессов агробизнеса [4]. Использование агродронов повышает эффективность процессов, оптимизирует работу и снижает затраты. Так, благодаря БПЛА возможно производить точное опрыскивание полей агрохимикатами, чего, например, трудно достичь, используя такие самолеты малой авиации как Ан-2. Наряду с этим при использовании беспилотных систем значительно повышается мобильность энергосредства и снижается расход горючего топлива. С экологической точки зрения агродроны также имеют преимущества над самолетами и самоходными опрыскивателями.

Распыление удобрений и средств защиты растений и почвы, инвентаризация сельхозугодий, оценка всхожести сельскохозяйственных культур, прогнозирование урожайности – это лишь некоторые цели использования БПЛА в сельском хозяйстве.



Рис. Агродрон в работе

Благодаря рациональному и эффективному использованию средств защиты растений, удобрений и иных агрохимикатов посредством внедрения цифровых технологий с применением БПЛА возможно достичь достаточного увеличения урожайности сельскохозяйственной культуры.

Список литературы

1. Ан, С. И. Задачи прикладной информатики в устойчивом цифровом развитии сельского хозяйства / С. И. Ан, Н. В. Третьякова // Неделя науки – 2025: Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Сибай, 17–18 апреля 2025 года. – Сибай: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 481-482. – EDN OZUSAL.
2. Ан, С. И. Об инновационных подходах к производству продукции / С. И. Ан, Н. В. Третьякова // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сборник IX Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием, Новосибирск, 20 декабря 2024 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2024. – С. 32-36. – EDN HRHSWW.
3. Ан, С. И. Применение искусственного интеллекта в точном земледелии как вектор развития агропромышленного комплекса / С. И. Ан, А. Ю. Николенко // Инженерные

- технологии: традиции, инновации, векторы развития: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Абакан, 13–15 ноября 2024 года. – Абакан: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова», 2024. – С. 7-8. – EDN HZDOCK.
4. Ан, С. И. Цифровая трансформация процессов в агробизнесе / С. И. Ан, Н. В. Третьякова // Финансово-экономические исследования: актуальные вопросы теории и практики: Тезисы докладов и выступлений Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых учёных, Донецк, 12–13 марта 2025 года. – Донецк: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», 2025. – С. 251-254. – EDN CZPQNG.

УДК 37.02:004.8:51

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРЕПОДАВАНИИ МАТЕМАТИКИ В СПО

Анастас К.В., ORCID 0009-0001-3549-0164

Бендерский политехнический институт ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко», г. Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика
ksjui@mail.ru

Введение. Современное образование стремительно трансформируется под влиянием цифровых технологий. Одной из ключевых тенденций последних лет является активное внедрение искусственного интеллекта (далее ИИ) в учебный процесс. Система среднего профессионального образования (далее СПО) требует эффективных методов преподавания математики, которая традиционно вызывает у студентов значительные трудности. В этом контексте ИИ способен выступать инструментом, повышающим мотивацию, индивидуализирующим обучение и расширяющим педагогические возможности.

Цель: рассмотреть возможности использования технологий искусственного интеллекта в преподавании математики в системе среднего профессионального образования, определить преимущества и потенциальные риски внедрения ИИ, проанализировать конкретные направления его применения: адаптивное обучение, интеллектуальные обучающие системы, автоматизация контроля знаний и поддержка педагогической деятельности, сделать вывод о необходимости интеграции ИИ в образовательный процесс для повышения качества математической подготовки студентов СПО.

Основная часть. ИИ в образовании представляет собой совокупность технологий, включающих машинное обучение, обработку естественного языка, интеллектуальные обучающие системы и чат-боты. В математическом образовании данные технологии позволяют:

- адаптировать содержание под уровень знаний обучающихся;
- обеспечивать автоматическую проверку знаний;
- предлагать индивидуальные траектории обучения;
- анализировать прогресс студентов на основе накопленных данных.

Таким образом, ИИ становится не только инструментом автоматизации, но и средством педагогической поддержки.

Создание и внедрение в учебный процесс междисциплинарных программ, основанных на принципах геймификации, объединяющих математику и информатику, может помочь обучающимся не только усваивать математические концепции, но и развивать навыки анализа данных и программирования. Это поспособствует лучшему пониманию сложных математических тем и повысит мотивацию к обучению у студентов [3].

Рассмотрим практические направления применения ИИ в преподавании математики в СПО:

1. Адаптивные обучающие системы

Использование ИИ позволяет создавать платформы, где задания по математике автоматически подстраиваются под уровень подготовки студента. Например, система анализирует ошибки, выявляет пробелы в знаниях и формирует индивидуальные упражнения для каждого студента.

2. Автоматизация контроля и оценки знаний

ИИ-сервисы способны мгновенно проверять решения задач, тестов и контрольных работ. Существуют системы, использующие нейросети, которые способны выявлять шаблоны в ошибках студентов и предложить целевые задания для их устранения. Это значительно экономит время преподавателя и позволяет оперативно предоставлять студентам обратную связь [1].

3. Виртуальные ассистенты и чат-боты

Интеллектуальные помощники могут отвечать на вопросы студентов, объяснять теоретический материал и помогать в решении типовых задач. Подобные технологии особенно актуальны при дистанционном обучении в условиях ограниченного времени преподавателя.

4. Поддержка преподавателя

ИИ может анализировать статистику успеваемости группы, выявлять наиболее сложные темы и предлагать педагогические рекомендации. Это способствует оптимизации учебного процесса и более точному планированию занятий.

5. Развитие практических навыков

Применение ИИ в моделировании реальных задач позволяет студентам СПО видеть практическое значение математических методов. Например, использование математических моделей в экономике, технике или информационных технологиях может быть реализовано через обучающие стимуляторы на базе ИИ [5].

Преимущества и вызовы внедрения ИИ

Преимущества:

- повышение мотивации студентов;
- индивидуализация учебного процесса;
- оперативная диагностика знаний;
- снижение нагрузок на преподавателя.

Вызовы:

- необходимость подготовки педагогов к работе с ИИ- технологиями;
- риски снижения роли критического мышления при чрезмерной автоматизации;
- вопросы этики и защиты персональных данных обучающихся [2].

Заключение. Применение ИИ в преподавании математики в системе СПО открывает широкие перспективы для повышения качества образования. ИИ позволяет реализовать индивидуализированное обучение, облегчить контроль знаний и расширить педагогический инструментарий. Вместе с тем успешная интеграция ИИ требует методической подготовки преподавателей, разработки нормативной базы и формирования у студентов культуры ответственного использования цифровых технологий [4].

Таким образом, внедрение ИИ в преподавание математики в СПО должно рассматриваться не только как технологическая инновация, но и как стратегический шаг в развитие образовательной среды. Перспективным направлением является создание гибридных моделей обучения, в которых сочетаются традиционные педагогические методы и интеллектуальные цифровые инструменты. Такой подход позволит обеспечить баланс между автоматизацией и формированием критического мышления у студентов, что особенно важно для подготовки конкурентоспособных специалистов в условиях цифровой экономики. Кроме того, ИИ является не заменой педагога, а эффективным инструментом, способствующим формированию у студентов СПО прочных математических знаний, умений и навыков, необходимых для профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Глухов В. В. Цифровая трансформация образования: вызовы и перспективы / В. В. Глухов, Е. С. Жеребцова. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2021. – 236 с.
2. Жигалов К. А. Искусственный интеллект в образовании: направления и перспективы / К. А. Жигалов // Педагогика и психология образования. – 2020. – №3. – С. 45-53.
3. Ивченко А. О. Искусственный интеллект в сфере образования: плюсы и минусы / А. О. Ивченко // Вестник науки. – 2023. – №12 (69). – С. 685-688.
4. Карпов А. О. Искусственный интеллект в преподавании математики // Современные проблемы науки и образования / А. О. Карпов. – 2021. – №6. – С. 102-109.
5. Лаптев В. В. Искусственный интеллект и цифровые образовательные технологии / В. В. Лаптев, С. Н. Сорокоумова. – М.: Юрайт, 2022. – 304 с.

ПРОГРАММА ПОДБОРА МОДУЛЬНЫХ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ

Анашкин Н.Н., ORCID 0009-0003-8032-811X

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, РФ
tocross@yandex.ru

Введение. В работе показана функциональная модель подбора модульных конвейеров, как элементов конвейерной системы, разработанная в соответствии с методологией SADT и принципами системного анализа. Описаны основные этапы вышеупомянутой модели и связь между ними. Представлен расчётный модуль, разработанный на базе офисного пакета MS Excel, который выполнен на основании результатов исследования.

Цель исследования – формализация этапов подбора ленточных модульных транспортёров, как элементов конвейерных систем.

Основная часть. Конвейерные системы являются наиболее важным видом оборудования для производств с необходимостью обеспечения стабильной подачи исходного сырья [1], либо при механизации погрузочно-разгрузочных работ [2].

В современных условиях импортозамещения производственного оборудования и рыночной конкуренции разработка проектов конвейерных систем является наиболее ответственной и точной работой [3]. Разработка вышеуказанного оборудования подразумевает последовательное решение определённых задач. Например, определение количества транспортёров и их конструкции в составе конвейерной системы.

Анализ литературных источников и специализированного инженерного программного обеспечения показал, что способы, которыми решаются озвученные выше задачи в настоящее время отсутствуют.

С целью сокращения сроков проектирования [4] путём автоматизации принятия решений при подборе количества и конструкции ленточных транспортёров в конвейерной системе была разработана в соответствии с методологией SADT [5] функциональная модель (ФМ) (рис. 1, 2), состоящая из четырёх этапов:

1. «Рассчитать угол подъёма и траекторию перемещения груза»;
2. «Определить марку модульной ленты»;
3. «Определить количество и длины ленточных конвейеров»;
4. «Определить конструкцию ленточных конвейеров».

Итоговым результатом освещённой работы является реализация автоматизированного расчётного модуля, разработанного на базе офисного пакета MS Excel, который позволяет выполнить поставленные задачи в кратчайшие сроки (рис. 3) [6].



Цель: Сокращение сроков проектирования
Точка зрения: Проектный отдел

Рис. 1. Контекстная диаграмма верхнего уровня функциональной модели: ТЗ – техническое задание, ЭЗ – экспертные знания, $A_{x,y,z}$, $B_{x,y,z}$ – координаты начальной и конечной точек транспортировки грузов; $\gamma_{рек}$ – рекомендуемый угол наклона конвейерной системы; $L_{рек}$ – рекомендуемая длина конвейера; $n_{рек}$ – рекомендуемое количество элементов конвейерной системы; G – производительность конвейерной системы; T – тип перемещаемого груза; X, Y, Z – габаритные размеры перемещаемого груза; m_z – масса перемещаемого груза; $l_{общ}$ – общая длина траектории перемещения груза по прямой; $\gamma_{расч}$ – расчётный угол наклона конвейерной системы; M – марка модульной ленты; $L_{1...n}$ – расчётные длины элементов конвейерной системы; n – общее количество элементов конвейерной системы; Ал – алгоритм, ИК – инженер-конструктор

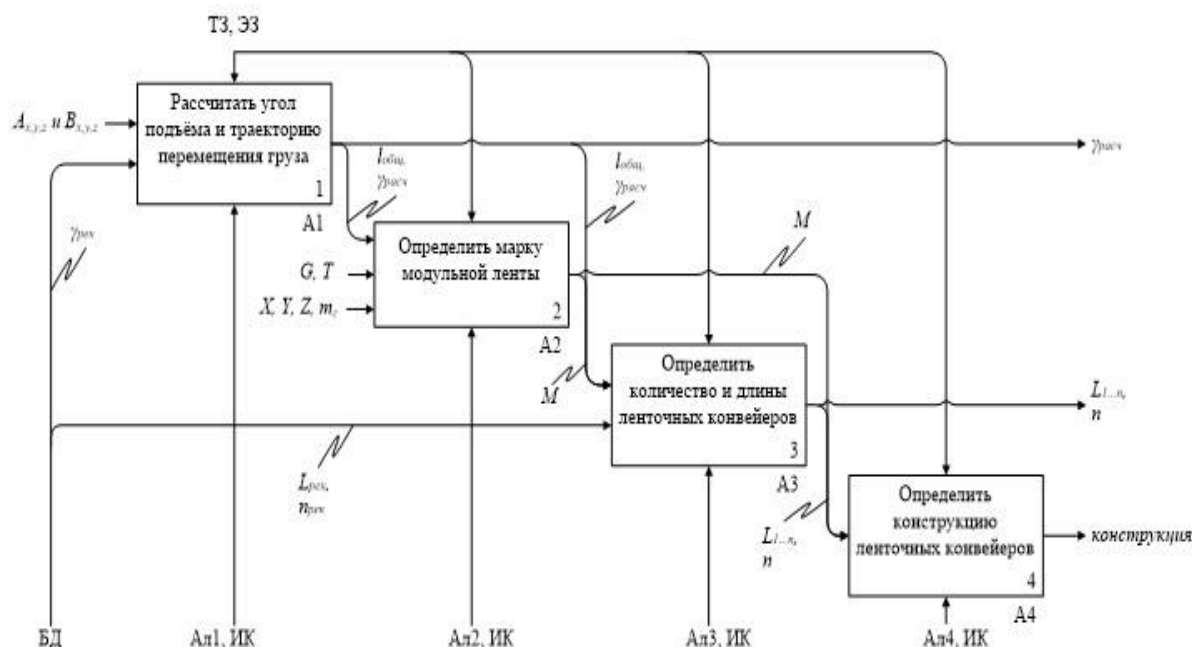


Рис. 2. Декомпозиция блока А0 функциональной модели – Определить состав конвейерной системы

Программа подбора количества ленточных конвейеров									
Коор. перемещения груза			Характеристики груза			Характеристики ленты			
Xн=	0	Xк=	1000	V=	15 м/мин	b=	500 мм		
Yн=	0	Yк=	1500	F=	100 Н	m=	6,5 кг/м2		
Zн=	0	Zк=	1000			c=	200 мм		
						d=	104 мм		
Количество горизонтальных			0						
Расчет	0	Реком.	0						
Количество наклонных			1						
Расчет	1	Реком.	1						
Количество Z-образных			0			Общее кол-во	1		
Расчет	0	Реком.	0						
Количество поворотных			0						
Расчет	0	Реком.	0						
Радиус поворота, град.			0						

Рис. 3. Модуль подбора количества и конструкции элементов конвейерной системы, разработанный в MS Excel

Заключение. В ходе выполнения исследований были получены следующие результаты:

- разработана функциональная модель подбора модульных ленточных машин непрерывного транспорта в составе конвейерной системы, описывающая необходимые стадии для поддержки принятия проектных решений (выбор количество и конструкций элементов в системе);

- разработана программа на базе офисного пакета MS Excel, которая была успешна протестирована при составлении прогнозных калькуляций в рамках проектных стадий при выполнении технических проектов компании ООО ТПК Сигма (г. Пермь).

Информация о финансовой поддержке: Исследования проводились без финансовой поддержки.

Список литературы

1. Анашкин Н. Н. Разработка функциональной модели определения характеристик лент спиральных транспортёров / Н. Н. Анашкин, Е. Р. Мошев // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 3. – С. 37-41. DOI 10.52348/27128873_MMTT_2023_3_42.
2. Анашкин Н. Н. Устройство и технология гуммирования приводных валов машин непрерывного транспорта в химическом машиностроении / Н. Н. Анашкин, Е. Р. Мошев // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2021. – № 2. – С. 229–242.
3. Желтухина Ю. А. Использование российского программного обеспечения arm winmachine в машиностроительных расчетах / Ю. А. Желтухина, П. Н. Кускашов, С. П. Ереско // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – Т. 1. – С. 427–428
4. Осипов Э. В. Применение специализированных программных комплексов для автоматизации инженерных расчетов оборудования / Э. В. Осипов, А. А. Хоменко, Л. Э. Осипова // Программные продукты и системы. – 2025. – №1. – С. 134-142. doi:10.15827/0236-235X.149.134-142
5. Марка Дэвид А. Методология структурного анализа и проектирования SADT / А. Марка Дэвид, МакГоуэн Клемент. – М.: Метатехнология, 1993. – 239 с.
6. Biskub I. The Design of Modern Process Equipment / Biskub I. et al. // International Journal. – 2021. – Т. 9. – № 11.

СЛОВОФОРМЫ В ИНТЕРФЕЙСАХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ахремчик П.О.,

Ахремчик О.Л., д-р техн. наук, доц., ORCID 0009-0002-8737-1113
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, РФ
axremchic@mail.ru

Введение. В составе компьютерных систем для контроля состояния газотранспортного оборудования выделяются системы блокировок и технологических защит, системы контроля [1]. Классически системы контроля включают аппаратное, программное, математическое, метрологическое, организационное, информационное, лингвистическое обеспечения. Рассмотрению лингвистического обеспечения, базирующемуся уделяется недостаточно внимания. Отмечено, что лингвистическое обеспечение должно обеспечивать однозначность, полноту и точность описания состояния оборудования [2]. Несовпадение терминологических полей разработчиков компьютерной системы и пользователей систем контроля приводит к повышению сложности восприятия и анализа данных о состоянии оборудования (в частности газотранспортного) оператором при эксплуатации, дополнительным временным затратам при обучении персонала в ходе модернизации.

Целью работы является повышение эффективности человеко-машинного взаимодействия за счет учёта свойств лингвистического обеспечения при разработке и эксплуатации компьютерных систем. **Объектом исследования** является совокупность интерфейсов компьютерных систем (на примере систем контроля состояния газотранспортного оборудования). Новизной работы является рассмотрение числа и состава словоформ как фактора, влияющего на информационную сложность интерфейса.

Основная часть. Оборудование для транспортировки газа включает компрессоры, турбины, системы смазки и очистки [3]. Система контроля осуществляет отображение сменному персоналу значений измеряемых и расчетных технологических параметров оборудования в единицах физических величин (например, температуры газа перед силовой турбиной, частоты вращения силовой турбины, перепада давления «масло–газ»); обнаружение изменений в состоянии оборудования и отклонений параметров; формирование сообщений об изменениях; представление состояния исполнительных устройств; сигнализацию о невыполнении функций по причине неисправностей датчиков, исполнительных устройств или при изменении режима работы.

Экспериментальной выборкой являлись копии экранов систем контроля газотранспортного оборудования, функционирующего в

программной среде «Unimod PRO (2)» (г. Пенза, РФ). Среда предназначена для конфигурирования промышленных контроллеров и разработки проектов на языках программирования контроллеров.

Анализ интерфейсов показывает, что для создания словоформ при разработке применяются русский и английский языки. Формально интерфейс с использованием подхода Минского может описываться:

$$I \rightarrow Fr_u R(Fr_{d1} \& \dots \& Fr_{di} \dots \& Fr_{dn}), Fr_{di} R(Fr_{di1} \& \dots \& Fr_{dij} \dots \& Fr_{dim}),$$

где I – интерфейс компьютерной системы; Fr_u – фрейм верхнего уровня представления; R – отношения вложенности; Fr_{di} – фрейм следующего уровня представления, $i = 1 \dots n$; Fr_{dij} – фрейм, входящий во вложенный фрейм интерфейса (вложение вложения), $j = 1, \dots, m$.

Кроме терминов (лексем) используются сокращения, которые образуются исходя из опыта и концептуальных моделей разработчиков.

$$\{W\} \subset Fr, \{L, Abr\} \subset \{W\}, W \rightarrow Abr, L = \{L_r, L_e\}, Abr = \{Abr_r, Abr_e\}$$

где W – словоформы; L – лексемы, составленные на русском L_r , и английском L_e языках; Abr – сокращения, составленные на русском Abr_r , и английском Abr_e языках.

Таким образом, словоформы являются составной частью фреймов и формируются с использованием разных языков. Нормативных документов по использованию сокращений и лексем нет, поэтому мощность множеств остаётся неопределённой и в ходе работ возможно лишь получение приближённых оценок верхней границы мощности на основе статистических методов. Начальными этапами являются определение числовых оценок и построение гистограмм распределений. Визуализация итогов статистической обработки выборки из 30 интерфейсов представлена на рисунке (по горизонтальной оси отложено число слоформ, по вертикальной частота встречаемости в интерфейсе).

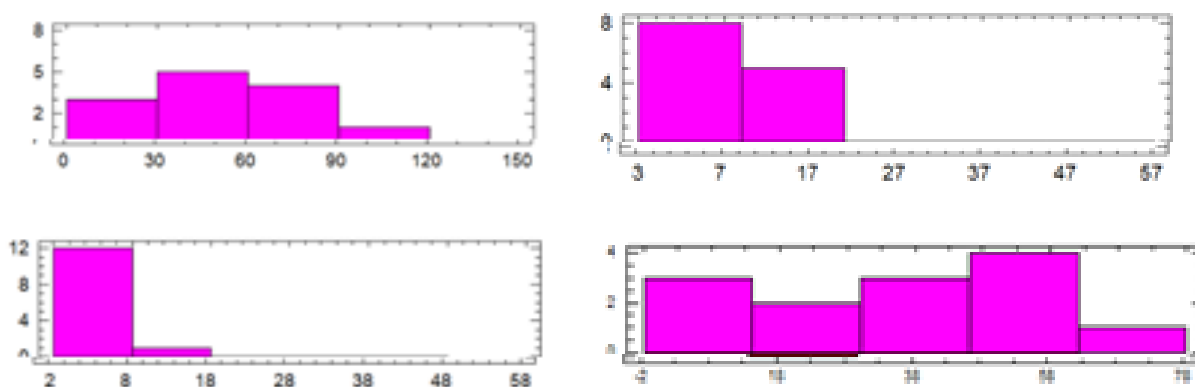


Рис. Гистограммы распределения лексем (сверху): на русском языке L_r (слева), на английском языке L_e (справа); сокращений (снизу) на русском языке Abr_r (слева), на английском языке Abr_e (справа)

Представленный иллюстративный материал показывает отличия и неоднородность числа лексем и сокращений на разных языках в

интерфейсах компьютерных систем (на примере системы контроля газотранспортного оборудования). Наибольший разброс присущ сокращениям на английском языке. При этом отличия числа сокращений на разных языках значимы. Также значимы отличия числа лексем на русском и английском языках. Выявленные отличия позволяют объяснить разное время восприятия информации при работе сменного персонала с разными интерфейсами.

Заключение. Предложенное формальное описание фрейма интерфейса компьютерной системы позволяет выделить словоформу как составляющую интерфейса с последующим вхождением в множество словоформ подмножеств лексем и сокращений, составленных с использованием русского и английского языков. Подсчет числа словоформ выделенных типов в экспериментальной выборке для систем контроля состояния газотранспортного оборудования показал значимость отличий числа в разных интерфейсах, разработанных в одной программной среде. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости определения числа используемых словоформ в интерфейсах части требований к системе. Данные требования не входят в состав функциональных, а определяются требованиями к мнемосхемам.

Применительно к разным предметным областям, различным объектам контроля и проектирования число словоформ отличается. В дальнейшем вектор исследований смещается в сторону изучения состава словоформ, который зависит от терминологических полей. Многие предметные области не содержат нормативного определения базовых терминов и рекомендаций по формированию сокращений, что означает сохранение различий видов и числа словоформ интерфейсов оператора.

Работа выполнена в рамках учебной НИР.

Список литературы

1. Рогов, С. Л. Распределенные АСУТП в энергетике – мода или необходимость? / С. Л. Рогов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2008. – №5. – С. 15–21.
2. Вашкис, И. И. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем / И. И. Вашкис, И. Н. Евсеев // I-methods. – 2020. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lingvisticheskoe-obespechenie-avtomatizirovannyh-sistem> (дата обращения: 10.09.2025).
3. Кравченко, Д. Д. Интеллектуальный мониторинг состояния оборудования компрессорных станций для предупреждения отказов и аварий / Д. Д. Кравченко и др. // Тюменский научный журнал. – 2025. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnyy-monitoring-sostoyaniya-oborudovaniya-kompressornyh-stantsiy-dlya-preduprezhdeniya-otkazov-i-avariy> (дата обращения: 05.07.2025).

РОЛЬ СИМБИОТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЕ УНИВЕРСИТЕТА

Бабин Е.Н., канд. экон. наук, ORCID 0000-0001-5219-7376

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, РФ
babin@kai.ru

Введение. Инновации в значительной степени возникают из симбиотических взаимодействий, возникающих в цифровой экосистеме университета [1]. Благодаря этим процессам, цифровая экосистема университета как иерархически организованная функциональная структура находится в постоянном движении.

Целью статьи является анализ симбиотических взаимодействий внутри цифровой экосистемы как источника инноваций.

Основная часть. Симбиотические взаимодействия внутри цифровой экосистемы университета демонстрируют многомерность четырех потоков между ее участниками: финансового, материального, информационного, инновационного. Взаимодействие участников цифровой экосистемы университета предполагает безвозмездный или возмездный обмен цифровыми услугами и продуктами, который выполняется в триаде: обучение, накопление знаний, инновации [2;3]. Именно эта триада как совместный результат симбиотических взаимодействий [4] делает их отношениями сотрудничества и взаимозависимости, чем просто «купля-продажа».

Роль инвестиций в таком симбиотическом взаимодействии проявляется во взаимодополнении инноваций [5]. Инвестиционное решение для информационных систем университета принимается с целью предоставления образовательных и иных услуг, в том числе, продаваемых с прибылью. На этом этапе в симбиотические взаимодействия вступает стимул к инновациям как со стороны университета, так и со стороны поставщика как получателя инвестиционных расходов университета.

Роль потребителей сетевых образовательных услуг как источников дохода, знаний, информации, создателей контента, участников сетевого общения и отзывов двояка [6;7]: субъект механизма отбора инноваций и результат воздействия выбранных инноваций.

Наконец, на симбиотические взаимодействия внутри цифровой экосистемы университета влияют степень конкуренции; финансовые институты; регулирующие институты, определяющие «правила игры»; другие институты, включая правовые, стандартизацию, собственно – сам университет, создающий новые знания, предоставляющий обученных работников и инкубирующий предпринимателей.

Закключение. Симбиотические взаимодействия между участниками цифровой экосистемы университета действуют как процесс создания разнообразия и как процесс отбора идей. Интернет как радикальная шумпетерианская созидательно-деструктивная инновация, создал новые возможности для вовлечения конечных потребителей в инновационные процессы цифровой экосистемы университета. В этой связи экспериментальное мышление и гипотезы когнитивного процесса проверяются симбиотическими взаимодействиями, получая признание или отторжение после тестирования на рынке. Таким образом, цифровая экосистема университета рассматривается как инновационная система, которая эндогенно генерирует инновации в продукты, процессы, формы организации и рынки, которые преобразуют саму систему по мере ее развития с течением времени.

Список литературы

1. Кириллюк О. М. Инновационные стратегии развития экосистемы университета в эпоху цифровой трансформации / О. М. Кириллюк, В. Д. Захарова // Наука Красноярья: экономический журнал. – 2024. – Т. 13. – №2. – С. 16-31. – DOI:10.12731/2070-7568-2024-13-2-239.
2. Закирова Д. И. Развитие цифровой экосистемы вуза в современных условиях / Д. И. Закирова // Вестник университета «Туран». – 2022. – № 4(96). – С. 311-322. – DOI: 10.46914/1562-2959-2022-1-4-311-322.
3. Бабин Е. Н. Цифровая трансформация непрерывного образования: вызов для ИТ-инфраструктуры вузов // Университетское управление: практика и анализ. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 87–102. – DOI: 10.15826/umpra.2023.04.035.
4. Бабин Е. Н. Открытая модель академических знаний как инструмент инновационного развития вуза / Е. Н. Бабин // Качество. Инновации. Образование. – 2012. – № 4(83). – С. 7–13.
5. Шкарупета Е. В. Концептуальные положения экосистемного подхода к управлению развитием экономических систем в условиях цифровой трансформации / Е. В. Шкарупета // Организатор производства. – 2020. – № 28(3). – С. 7-15. – DOI: 10.25987/VSTU.2020.32.34.001.
6. Yang P. Entrepreneurial ecosystem and urban economic growth-from the knowledge-based view / P. Yang, X. Liu, Y. Hu, Y. Gao // Journal of Digital Economy. – 2022. – Vol.1. – P. 239-251. – DOI:10.1016/j.jdec.2023.02.002.
7. Гохберг Л. М. Платформенная экономика в России: потенциал развития: аналитический доклад / Л. М. Гохберг, Б. М. Глазкова, П. Б. Рудник и др. – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2023. – 72 с.

ПРОБЛЕМА ДОСТУПНОСТИ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Бледнов А.А., ORCID 0009-0009-8982-2636

ОГАПОУ «СТАКС», г. Старый Оскол, РФ

ablednov53@gmail.com

Введение. Большие языковые модели (БЯМ), такие как GPT, Llama и им подобные, стали ключевым драйвером современного искусственного интеллекта, демонстрируя выдающиеся способности в генерации текстов, решении задач и понимании контекста. Однако их широкое внедрение в научные, образовательные и коммерческие проекты сдерживается фундаментальной проблемой – чрезвычайно высокими требованиями к вычислительным ресурсам и памяти. Экспоненциальный рост числа параметров моделей (до сотен миллиардов) создает «эффект входа» для исследователей и небольших организаций, делая работу с флагманскими БЯМ практически невозможной на стандартном оборудовании. В связи с этим, разработка и анализ методов оптимизации БЯМ, направленных на снижение их ресурсоемкости при сохранении функциональности, являются одними из наиболее актуальных задач в области компьютерных наук.

Цель – провести системный анализ современных методов оптимизации больших языковых моделей, оценить их эффективность в решении проблемы вычислительной доступности и сформулировать перспективные направления развития в данной области.

Основная часть. Проблема доступности БЯМ проявляется в трех основных аспектах: 1) стоимость и энергопотребление обучения «с нуля»; 2) требования к оперативной памяти для инференса; 3) задержки при работе в режиме реального времени. В качестве ответа на эти вызовы сформировалось несколько направлений оптимизации.

Квантизация является одним из наиболее распространенных и эффективных методов снижения требований к памяти и вычислительной сложности. Суть метода заключается в снижении разрядности числовых представлений весов модели (например, с 32- или 16-битных чисел с плавающей запятой до 8, 4 или даже 2 бит) [1]. Современные методы, такие как GPTQ [2] и GGUF, позволяют проводить послетренировочную квантизацию с минимальной потерей качества. Это приводит к сокращению объема памяти модели в 2-4 раза и ускорению инференса на потребительских графических процессорах и даже центральных процессорах. Однако квантизация может негативно сказываться на точности модели, особенно на сложных и редко встречающихся в обучающих данных задачах.

Дистилляция знаний (Knowledge Distillation) – это процесс переноса знаний от большой, сложной «учительской» модели к меньшей, компактной «ученической» [3]. Ученическая модель обучается не только на исходных данных, но и на «мягких метках» (вероятностных распределениях), сгенерированных учительской моделью, что позволяет сохранить часть ее обобщающей способности. В результате создаются модели, которые при значительно меньшем размере (в 10 и более раз) демонстрируют производительность, близкую к исходным большим моделям. Ярким примером является семейство моделей DistilBERT и TinyLlama.

Прунинг (обрезка) направлен на удаление из нейронной сети наименее значимых параметров или целых структурных компонентов (нейронов, вниманий). Стратегии прунинга могут быть одноразовыми или итеративными, с последующим дообучением модели для восстановления производительности [4]. Данный метод позволяет создавать разреженные модели, которые требуют меньше памяти и выполняют меньше операций. Основная сложность заключается в точном определении того, какие параметры являются избыточными, без ущерба для когнитивных способностей модели.

Сравнительный анализ методов оптимизации позволяет выделить их ключевые характеристики:

1. Квантизация. Основной эффект – снижение объема памяти и ускорение инференса. Главное преимущество – простота применения и высокая эффективность. Основной недостаток – потенциальная потеря точности на сложных задачах.

2. Дистилляция. Основной эффект – создание компактной модели-ученика. Преимущество метода – сохранение логики «учителя» и высокая скорость работы итоговой модели. Недостаток – требует наличия большой модели-учителя и значительных вычислительных ресурсов для самого процесса дистилляции.

3. Прунинг. Основной эффект – создание разреженной модели с уменьшенной вычислительной сложностью. Преимущество – прямое сокращение числа операций. Недостаток – сложность определения значимости параметров и необходимость этапа дообучения после обрезки.

4. Эффективные архитектуры. Основной эффект – снижение затрат на всех этапах жизненного цикла модели. Преимущество – это фундаментальное решение, обеспечивающее высокую производительность «из коробки». Недостаток – определенные ограничения, накладываемые самой архитектурой.

На практике эти методы часто используются совместно. Например, можно провести дистилляцию большой модели, затем выполнить прунинг полученной модели-ученика, а итоговый результат – квантовать для развертывания на устройствах с ограниченными ресурсами.

Такой комплексный подход позволяет достичь максимального баланса между производительностью, скоростью и требованиями к ресурсам.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что, несмотря на растущую сложность больших языковых моделей, существует зрелый арсенал методов их оптимизации. Квантизация, дистилляция знаний и прунинг уже сегодня позволяют адаптировать мощные БЯМ для работы в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, что является критически важным для их интеграции в образовательные процессы, научные исследования и малый бизнес. Дальнейшее развитие видится в создании гибридных методов, автоматизированном подборе параметров оптимизации под конкретную задачу, а также в проектировании изначально эффективных и экономичных архитектур нейронных сетей. Это позволит демократизировать доступ к передовым технологиям ИИ и стимулировать инновации в регионах и научных коллективах, не обладающих доступом к суперкомпьютерным мощностям.

Список литературы

1. Dettmers, T. 8-bit Models via LLM.int8() / T. Dettmers, M. Lewis, Y. Belkada, L. Zettlemoyer // Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML). – 2022. – P. 1–15. – DOI 10.48550/arXiv.2208.07339.
2. Frantar, E. GPTQ: Accurate Post-Training Quantization for Generative Pre-trained Transformers / E. Frantar, S. Ashkboos, T. Hoefler, D. Alistarh // Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2210.17323> (дата обращения: 15.09.2024).
3. Hinton, G. Distilling the Knowledge in a Neural Network / G. Hinton, O. Vinyals, J. Dean // Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS). – 2015. – Vol. 2. – P. 2503–2511. – DOI 10.48550/arXiv.1503.02531.
4. Zhu, M. To prune, or not to prune: exploring the efficacy of pruning for model compression / M. Zhu, S. Gupta // Proceedings of the 6th International Conference on Learning Representations (ICLR), Workshop Track. – 2018. – URL: <https://arxiv.org/abs/1710.01878> (дата обращения: 15.09.2024).
5. Touvron, H. Llama 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models / H. Touvron et al. // Proceedings of the 37th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2307.09288> (дата обращения: 15.09.2024).
6. Бардин, А. С. Методы сжатия глубоких нейронных сетей: обзор / А. С. Бардин, В. Г. Спицын // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2023. – № 1. – С. 45–58. – EDN ABCDEF.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИГРОВОГО КОНТЕНТА С УЧЁТОМ СЕРЕНДИПНОСТИ

Бобченко А.А., Васищенко Т.А., ORCID 0009-0009-9175-1128

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
tan7340@yandex.ru, anna.bobcenko@yandex.ru

Введение: современные игровые платформы предоставляют пользователям огромное количество контента: игры, моды, дополнения, пользовательские карты. При этом игрок сталкивается с избытком выбора, а традиционные рекомендательные системы чаще всего ориентируются на прошлый опыт и жанровые совпадения. Такой подход формирует «фильтр-пузырь», ограничивающий доступ к новому и неожиданному. Для игровой индустрии это означает снижение вовлечённости и ограничение возможностей пользователей к исследованию.

Эффект серендипности в рекомендательных системах заключается в том, что пользователь сталкивается с неожиданным, но полезным и ценным контентом, который он изначально не искал, но который расширяет его игровой опыт [1]. В игровой среде серендипность может проявляться как открытие новых жанров, оригинальных режимов или пользовательских модов, что способствует увеличению времени взаимодействия и удержания аудитории.

В исследованиях выделяют три необходимых признака серендипного опыта: счастливая случайность, освежающая новизна и обогащающая ценность [2]. При этом исследования показывают, что системы, ориентированные исключительно на точностные метрики, игнорируют такие аспекты пользовательского опыта, как новизна и неожиданность [3]. Следовательно, разработка систем с учётом серендипности требует более сложной архитектуры, чем классические рекомендательные алгоритмы.

Предлагается создать архитектуру гибридной рекомендательной системы для игрового контента. Новизна заключается в том, что к традиционным слоям анализа – профилированию пользователя и контентным признакам – предлагается добавить отдельный слой, отвечающий за управление серендипностью. Этот слой будет учитывать не только сходство профилей и метаданные игр, но и показатели неожиданности и новизны, вычисляемые на основе дистанций в векторных представлениях, а также частоты взаимодействия с контентом из «длинного хвоста» [4].

Таким образом, система будет не только подбирать привычный релевантный контент, но и намеренно включать элементы, которые отличаются от предпочтений пользователя, оставаясь при этом потенциально интересными. Важным направлением является и интеграция

серендипности в интерфейс: рекомендации будут подаваться так, чтобы пользователь воспринимал их как приглашение к открытию, а не как случайную ошибку алгоритма. Это планируется реализовать через отдельные категории «Попробовать новое» или «Сюрприз для вас».

Для оценки эффективности разрабатываемой системы предполагается использовать двухуровневый подход. Первый уровень – классические метрики точности (Precision@k, Recall@k, NDCG), позволяющие подтвердить корректность базовых рекомендаций. Второй уровень – метрики beyond-accuracy: serendipity, novelty, unexpectedness и diversity, которые активно исследуются в современных обзорах [5]. Кроме того, в качестве ключевых показателей эффективности рассматриваются поведенческие данные: глубина исследования каталога, время игровых сессий, показатели удержания (retention).

Заключение: Ожидаемым результатом работы является архитектура, позволяющая интегрировать серендипность в гибридные рекомендательные системы и тем самым повысить вовлечённость и удовлетворённость игроков. Такой подход позволит платформам предлагать не только привычный, но и неожиданный контент, превращая процесс выбора в пространство для открытий. Научный вклад работы состоит в формализации слоя серендипности и в разработке методики его оценки, что расширяет существующие модели рекомендаций и открывает перспективы для их применения в игровой индустрии и за её пределами.

Список литературы

1. Ziarani, A. J. Serendipity in Recommender Systems: A Systematic Literature Review / A. J. Ziarani, R. Ravanmehr R. // Journal of Computer Science and Technology. – 2021.
2. Kotkov, D., Wu, S., Veijalainen, J. What Is Serendipity? An Interview Study to Conceptualize Experienced Serendipity in Recommender Systems. – arXiv preprint. – 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2505.15440> (дата обращения: 26.09.2025).
3. Kim, Y. Design of a Serendipity-Incorporated Recommender System / Y. Kim // Electronics. – 2025. – Vol. 14, No. 4. – Article 821. DOI: 10.3390/electronics14040821.
4. Татьяна Швецова, Теория «длинного хвоста» в маркетинге: как применить метод на практике – Конверт – 2025. URL: <https://www.unisender.com/ru/blog/metod-dlinnogo-hvosta-v-marketinge-i-prodazhah/#anchor-2> (дата обращения: 26.09.2025).
5. Duricic, T., Jannach, D., Lerche, L. Beyond-accuracy: a review on diversity, serendipity, and other related aspects of recommender systems // Journal on Data Semantics. – 2023. – Vol. 12. – P. 1–34. DOI: 10.1007/s41060-023-00418-4.

МОДЕЛИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ

Бодряга В.В., ORCID 0000-0002-4221-0212, **Лукашева С.Ю.**

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

v.bodryaga@donnu.ru

Введение. Финансовые рынки играют ключевую роль в мировой экономике, обеспечивая перераспределение капитала и формирование цен на финансовые активы [1]. Прогнозирование поведения финансовых инструментов, таких как акции, облигации и валюты, является одной из наиболее сложных и важных задач в экономике и прикладной информатике. Возможность предугадывать изменения цен на рынке предоставляет серьёзные конкурентные преимущества участникам торговли, инвесторам и аналитикам [2].

Традиционные методы анализа финансовых временных рядов, включая эконометрические модели и технический анализ, зачастую не способны учесть всю сложность рыночной динамики, зависящей от множества факторов, включая новостной фон, поведение участников и скрытые взаимосвязи между активами [3]. В последние годы, с ростом вычислительных возможностей и доступности больших данных, методы машинного обучения, а особенно глубокого обучения, стали активно применяться для анализа и прогнозирования рыночных трендов [4].

Постановка задачи. Существует несколько подходов к решению задачи прогнозирования на финансовых рынках, каждый из которых базируется на определённой концепции рыночного поведения: фундаментальный анализ; технический анализ; математико-статистические модели анализа; методы машинного обучения и глубокого обучения.

В работе ставится цель – построение и экспериментальное сравнение различных архитектур рекуррентных нейронных сетей (RNN), предназначенных для анализа временных рядов фондовых индексов. Основное внимание уделяется следующим архитектурам:

- однослойная LSTM (Long Short-Term Memory);
- однослойная GRU (Gated Recurrent Unit);
- многослойные (stacked) LSTM и GRU;
- гибридная модель GRU-LSTM.

В рамках поставленной задачи необходимо:

- собрать и структурировать исторические данные по фондовым индексам из различных секторов экономики;
- выполнить очистку, нормализацию и трансформацию данных для подачи в нейросетевые модели;

- реализовать обучение и валидацию нейросетей с контролем переобучения;
- провести количественную оценку точности предсказаний по метрикам MAE, RMSE, R^2 , а также разработанным метрикам Асс (точность прогноза амплитуды) и Prob (вероятность правильного направления движения);
- сравнить модели между собой с точки зрения точности, стабильности и ресурсоёмкости.

Задача прогнозирования на финансовых рынках является не только практически значимой, но и представляет собой одну из исследовательских проблем в области прикладной математики, компьютерных наук и интеллектуального анализа данных.

Для анализа эффективности различных моделей глубокого обучения были выбраны два фондовых индекса в диапазоне с 2009 по 2023 год [5]: 0000934 – индекс, отражающий динамику фондов финансового сектора; 0000006 – индекс, относящийся к фондам сектора недвижимости. Выбранные индексы позволяют сравнить поведение моделей на данных с разными экономическими свойствами и уровнями волатильности.

Реализация решения. Для реализации программного продукта, предназначенного для прогнозирования финансовых временных рядов на основе моделей глубокого обучения, были выбраны следующие инструменты программирования, анализа данных и машинного обучения. Выбор обоснован следующими критериями: доступность, гибкость, масштабируемость, активное сообщество, а также поддержка необходимых библиотек и функциональности:

- язык программирования Python 3.8+;
- среда разработки Jupyter Notebook / Google Colab, Visual Studio Code / PyCharm;
- библиотеки и инструменты анализа данных: pandas, numpy, matplotlib, seaborn, plotly, scikit-learn;
- инструменты и библиотеки для глубокого обучения: TensorFlow / Keras, PyTorch (опционально);
- загрузка и хранение данных: yfinance, CSV/Excel, PostgreSQL;
- управление проектом: Git, GitHub.

Для прогнозирования использовались пять архитектур нейронных сетей: однослойная LSTM; однослойная GRU; многослойные (stacked) LSTM и GRU (два уровня); гибридная модель GRU-LSTM (две GRU + одна LSTM внутри).

Каждая модель запускалась 20 раз, чтобы оценить стабильность результатов, после чего значения метрик усреднялись (см. табл.).

В результате вычислительных экспериментов получено модель глубокого обучения GRU показала наилучшее соотношение точности и устойчивости (см. рис). На рисунке зелёная линия – предсказанные значения, красная – реальные значения индекса.

Результаты прогнозирования для индекса 0000934 и 0000006

Код фонда	Модель	MAE	RMSE	R^2	Prob	Acc	Std(MAE)
0000934	LSTM	0,0135	0,0173	0,8754	91,72%	76,63%	0,0005
	GRU	0,0109	0,0142	0,9160	92,14%	85,35%	0,0002
	Stacked LSTM	0,0134	0,0169	0,8807	90,50%	78,80%	0,0008
	Stacked GRU	0,0153	0,0190	0,8495	89,89%	72,09%	0,0011
	GRU-LSTM	0,0128	0,0163	0,8894	90,25%	79,23%	0,0009
0000006	LSTM	0,0169	0,0222	0,8861	90,26%	67,94%	0,0006
	GRU	0,0150	0,0206	0,9022	90,97%	71,74%	0,0005
	Stacked LSTM	0,0168	0,0219	0,8895	90,88%	66,93%	0,0005
	Stacked GRU	0,0181	0,0231	0,8775	89,94%	61,48%	0,0009
	GRU-LSTM	0,0192	0,0242	0,8638	88,98%	59,91%	0,0026

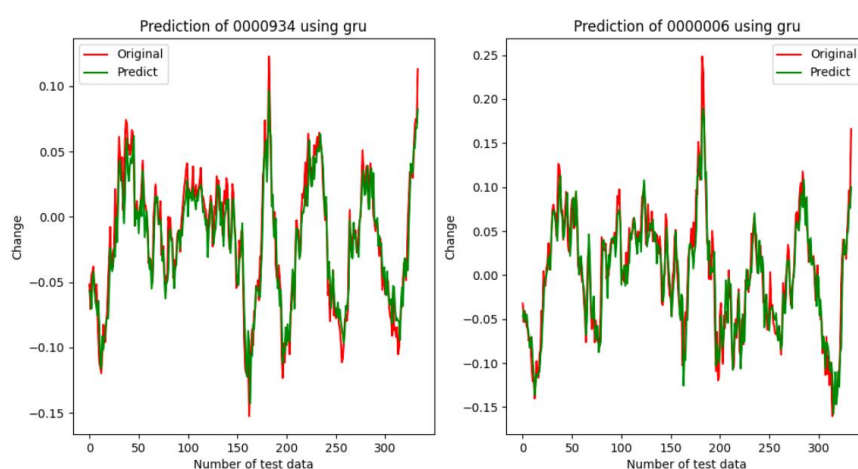


Рис. Кривые прогнозов однослойной GRU-модели для фондов 0000934 и 0000006

Модель хорошо повторяет тренд и отклонения, за исключением резких колебаний, что характерно для большинства моделей прогнозирования. Ошибки чаще всего возникают вблизи оси X – в зоне низкой амплитуды, где предсказания не значительны для инвесторов.

Список литературы

1. Брейли, Р. Принципы корпоративных финансов / Р. Брейли, С. Майерс, Ф. Аллен. – Москва: Олимп–Бизнес, 2019. – С. 25–26.
2. Лопес де Прадо, М. Продвинутое машинное обучение в финансах / М. Лопес де Прадо. – Москва: Диалектика, 2020. – 512 с.
3. Ло, А. В. Адаптивные рынки: Финансовая эволюция на скорости мысли / Э. Ло; пер. с англ. – Москва: Интеллектуальная литература, 2021. – 634 с.
4. Боровиков, В. П. Прикладные задачи анализа временных рядов: прогнозирование, управление и машинное обучение / В. П. Боровиков, И. В. Щеголев. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 466 с.
5. Финансовый портал: [сайт]: – Китай, 2001 – URL: <https://quotes.money.163.com> (дата обращения: 15.05.2025)

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ШАХМАТНОЙ ИГРЫ НА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЕ

Бондаренко В.В., ORCID0009-0005-2597-6602, **Брагин Т.И.**

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

i@tbragin.ru

Введение. В последние годы онлайн-шахматы получили широкое распространение, что связано с развитием интернет-технологий и доступностью игровых платформ для пользователей по всему миру. На этих платформах игроки могут находить соперников любого уровня, однако при игре с компьютерными оппонентами возникает ряд проблем. Существующие шахматные движки, такие как Stockfish, AlphaZero или Leela Chess Zero, демонстрируют высокий уровень игры, но функционируют на фиксированных настройках сложности. В результате новички часто сталкиваются с непреодолимым уровнем, а опытные игроки – с излишне предсказуемыми ходами. Эти недостатки снижают мотивацию и ограничивают образовательную ценность игры. Решением может стать применение искусственного интеллекта, который в реальном времени анализирует стиль игры пользователя и корректирует собственную стратегию. Подобная адаптация позволит создать более естественный и увлекательный игровой процесс, приближенный к взаимодействию с живым соперником.

Актуальность. Актуальность разработки адаптивной шахматной системы заключается в потребности сделать обучение и игру максимально персонализированными. В отличие от традиционных движков, адаптивный искусственный интеллект будет изменять стратегию в процессе партии, учитывая ошибки, сильные стороны и индивидуальные предпочтения игрока. Подобные подходы уже используются в игровой индустрии (например, в FIFA и StarCraft II), но в шахматах пока не получили широкого применения. Разработка такого решения позволит объединить высокую силу игры и индивидуальную подстройку под пользователя, что значительно повысит интерес к шахматным платформам.

Цель. Разработать нейросетевую модель для игры в шахматы, способную адаптироваться к уровню игрока в процессе партии, корректируя стратегию в реальном времени и обеспечивая реалистичный игровой опыт.

Задачи. 1) провести анализ существующих шахматных движков (Stockfish, AlphaZero, Lc0) и выявить их ограничения; 2) рассмотреть современные методы машинного обучения и нейросетевые архитектуры, применимые для шахмат; 3) разработать алгоритм анализа стиля игры пользователя; 4) определить критерии адаптации стратегии нейросетевой

модели; 5) реализовать прототип нейросетевой модели с использованием современных фреймворков; 6) провести тестирование на разных уровнях сложности; 7) интегрировать модель в шахматную онлайн-платформу; 8) оценить влияние адаптивной модели на игровой процесс и вовлечённость игроков.

Объект и предмет исследования. Объект исследования – процесс взаимодействия игрока с шахматной онлайн-платформой. Предмет исследования – нейросетевая модель, изменяющая стратегию в зависимости от стиля и уровня игрока.

Основная часть. Для построения адаптивной нейросетевой модели, способной подстраиваться под уровень игрока в шахматах, требуется комплексный подход, объединяющий методы классических шахматных движков и современные достижения машинного обучения. Важнейшим элементом исследования является анализ существующих решений, таких как Stockfish[2], AlphaZero [1] и LeelaChess Zero [3]. Первый из них основан на алгоритмах перебора и эвристических функциях оценки позиций, что обеспечивает высокую производительность, но не позволяет адаптироваться к стилю соперника. Второй представляет собой пример успешного применения методов глубокого обучения с подкреплением и самообучения, демонстрируя принципиально новый уровень игры, однако также лишён гибкости в отношении конкретного пользователя. Третий проект, являясь открытой реализацией идей AlphaZero, позволяет использовать данные реальных партий для улучшения качества игры, но его практическое применение ограничено высокими требованиями к вычислительным ресурсам. В предлагаемой модели ключевая роль отводится обучению с подкреплением, в частности методу self-play, который доказал свою эффективность при обучении сложным стратегическим играм [1]. Центральным компонентом алгоритма становится поиск Монте-Карло (Monte Carlo Tree Search), обеспечивающий интеграцию вероятностных оценок нейросети с анализом возможных продолжений партии. Таким образом, ИИ способен формировать стратегию, сочетающую как расчётные, так и интуитивные аспекты шахматной игры. Нейросетевая архитектура модели строится на комбинации различных подходов. Сверточные сети (CNN) применяются для анализа текущего положения фигур и статической оценки позиций. Рекуррентные сети (RNN, LSTM) и трансформерные модели позволяют учитывать динамику партии и анализировать последовательности ходов, что критически важно для выявления стиля игры конкретного соперника [4]. Дополнительно используются методы кластеризации, которые позволяют классифицировать игровые паттерны и определять наиболее характерные ошибки пользователя. Особое внимание уделяется алгоритмам адаптации. В отличие от движков с фиксированным уровнем сложности, адаптивная модель должна изменять стиль игры в процессе партии. Это может

выражаться как в выборе более простых или рискованных ходов, так и в целенаправленном упрощении или усложнении позиции. Тем самым создаётся баланс, при котором игрок сохраняет мотивацию и возможность развиваться, независимо от его текущего уровня подготовки. Для практической реализации используются современные инструменты глубокого обучения, включая фреймворки PyTorch и TensorFlow. Они обеспечивают гибкость при построении и обучении нейросетевых моделей, а также позволяют интегрировать готовые решения в веб-приложения. В качестве вспомогательных инструментов применяются специализированные библиотеки, например `python-chess`, обеспечивающая шахматную логику и взаимодействие с игровыми движками. Сравнительные эксперименты и тестирование возможны благодаря API движков Stockfish и Lc0, что позволяет оценивать эффективность предложенной модели. В перспективе разработанная система может быть использована не только как оппонент для игры, но и как персональный шахматный тренер. Такой ИИ способен не только подстраиваться под стиль игрока, но и объяснять свои ходы, формировать статистику ошибок, а также предлагать рекомендации по улучшению уровня игры[5]. Тем самым шахматная онлайн-платформа превращается в образовательную среду, где искусственный интеллект не просто является соперником, но и выполняет функции наставника.

Заключение. Разработка адаптивного шахматного искусственного интеллекта является актуальной задачей, объединяющей методы глубокого обучения и обучение с подкреплением. В отличие от традиционных движков, такая модель сможет изменять стратегию в реальном времени, что обеспечит индивидуальный подход к каждому игроку. Создание подобного решения позволит повысить вовлечённость пользователей, сделать обучение шахматам более эффективным и доступным. В перспективе развитие модели может привести к появлению «виртуального тренера», который не только играет, но и обучает, объясняя свои действия и помогая игроку совершенствовать навыки.

Список литературы

1. Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., et al. Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm // arXiv.org. – URL: <https://arxiv.org/abs/1712.01815> (дата обращения: 18.09.2025).
2. Stockfish – официальный сайт // URL: <https://stockfishchess.org/> (дата обращения: 17.09.2025).
3. Leela Chess Zero – официальный сайт // URL: <https://lczero.org/> (дата обращения: 18.09.2025).
4. Justesen, N., Bontrager, P., Togelius, J., Risi, S. Deep Learning for Video Game AI // arXiv.org. – URL: <https://arxiv.org/abs/1905.12683> (дата обращения: 17.09.2025).
5. IBM Watson в игровой индустрии // URL: <https://www.ibm.com/watson/solutions/gaming> (дата обращения: 18.09.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ И ТЕСТИРОВАНИИ ИГР-ГОЛОВОЛОМОК

Бондаренко В.В., ORCID 0009-0005-2597-6602,

Грицишин Н.Р., ORCID 0009-0006-2454-9972

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

gricishin02@mail.ru,

Введение. Игры-головоломки и квесты пользуются стабильной популярностью благодаря сочетанию интерактивного повествования и интеллектуальных задач. Современные проекты в этом жанре все чаще используют машинное обучение (ML) для оптимизации процессов разработки и тестирования.

Цель исследования: разработать и экспериментально проверить ML-подходы для сокращения времени разработки, автоматизации тестирования и улучшения пользовательского опыта.

Анализ современных методов и инструментов

Современные игры-головоломки требуют процедурной генерации контента и адаптивного геймплея. По данным исследований, использование ML позволяет:

1. Генерировать уникальные уровни с помощью алгоритмов типа GAN (Generative Adversarial Networks).
2. Балансировать сложность на основе анализа поведения игроков.
3. Тестировать игровые механики с помощью автономных ML-агентов.

Современные платформы тестирования активно интегрируют ИИ для автоматизации [1]:

1. PlaytestCloud: сбор обратной связи от реальных игроков с записью геймплея и анализом поведения.
2. Test.ai: автоматизированное тестирование UI без написания скриптов.
3. Applitools: визуальное тестирование с использованием компьютерного зрения.
4. GameBench: мониторинг производительности (FPS, использование CPU/GPU, энергопотребление).

Таблица

Сравнение инструментов тестирования

Инструмент	Основная функция	Преимущества	Недостатки
PlaytestCloud	Тестирование на реальных игроках	Раннее выявление проблем	Ограничение по платформам
Test.ai	Автоматизация тестирования UI	Экономия времени	Сложность настройки

Applitoools	Визуальное тестирование	Высокая точность	Зависимость от эталонов
GameBench	Мониторинг производительности	Кроссплатформенность	Высокая стоимость

Методы машинного обучения в разработке игр

Для генерации уровней и головоломок используются[2]:

1. GAN (Generative Adversarial Networks): создают уникальные игровые пространства на основе обучения на существующих данных.
2. Рекуррентные нейронные сети (RNN): генерируют последовательности задач и сюжетные линии.
3. Методы обучения с подкреплением (RL): балансируют сложность уровней на основе feedback игроков.

ML-агенты заменяют ручное тестирование:

1. Автономные боты: играют в игру, выявляя баги и логические ошибки.
2. Анализ поведения игроков: предсказание оттока пользователей и оптимизация удержания.
3. Визуальное тестирование: сравнение эталонных и текущих скриншотов для обнаружения графических артефактов.

Персонализация игрового опыта:

1. Кластеризация игроков: группировка по стилю игры и предпочтениям.
2. Рекомендательные системы: предложение индивидуальных головоломок и подсказок.
3. Динамическая адаптация сложности: изменение параметров игры в реальном времени.

Принципы работы GAN

Generative Adversarial Networks состоят из двух нейронных сетей:

1. Генератор: создает образцы уровней (например, карты помещений).
2. Дискриминатор: оценивает, насколько сгенерированный уровень похож на реальный.

Процесс обучения включает итеративное соревнование между генератором и дискриминатором, пока generated content не станет неотличимым от созданного человеком.

Сбор данных: использование существующих уровней игры для обучения модели.

Интеграция с UE4:

1. Разработка плагина на Python/C++ для взаимодействия с ML-моделью.
2. Использование Unreal Engine Python API для импорта сгенерированных assets[3].

Пример реализации используя python:

Псевдокод для интеграции GAN с UE4

```
import tensorflow as tf
```

```
from unreal_engine import import_asset
```

Загрузка обученной модели GAN

```
generator = tf.keras.models.load_model('gan_level_generator.h5')
```

Генерация нового уровня

```
noise = tf.random.normal([1, 100])
```

```
generated_level = generator(noise, training=False)
```

Импорт в UE4

```
import_asset(generated_level, '/Game/GeneratedLevels')
```

Анализ современных инструментов тестирования на основе ИИ

GameBench предоставляет детальную аналитику производительности игры:

1. Метрики: FPS, использование CPU/GPU, память, энергопотребление.

2. Кроссплатформенность: поддержка iOS, Android, PC.

3. Интеграция с CI/CD: автоматизация тестирования в пайплайнах.

Современные бенчмарки, например, как Video Game Bench, используют языковые модели для тестирования игр. Агенты на основе LLM (например, GPT-4) играют в игру, анализируя кадры и генерируя действия.

Проблемы: задержки вывода, ошибки интерпретации визуальной информации. Решения: использование Chain-of-Thought (CoT) для улучшения рассуждений агентов.

Заключение. Применение машинного обучения в разработке и тестировании игр-головоломок показало значительные преимущества:

1. Эффективность разработки: автоматизация генерации контента и тестирования сокращает время выхода на рынок.

2. Улучшение качества: ML-анализ поведения игроков помогает создавать сбалансированные и engaging-головоломки.

3. Персонализация: адаптивный геймплей повышает удовлетворенность пользователей.

Список литературы

1. Онлайн-платформа Analytics Vidhya [Электронный ресурс] URL: <https://www.analyticsvidhya.com> (Дата обращения 12.08.2025)
2. Официальный форум программистов [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com> (Дата обращения 02.08.2025)
3. Русское сообщество разработчиков на платформе Unreal Engine [Электронный ресурс] URL: <https://uengine.ru> (Дата обращения 07.08.2025)

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПО ПОДБОРУ АВТОМОБИЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Бондаренко В.В., ORCID 0009-0005-2597-6602,

Теличук А.В., ORCID 0009-0005-7208-7381

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

anastasia.telichuk@yandex.ru

Введение. Проникновение цифровых технологий в автомобильную индустрию открывает новые возможности для персонализации сервисов. Рекомендательные системы на основе искусственного интеллекта позволяют автоматизировать и усовершенствовать процесс выбора автомобиля. Глубоко анализируя предпочтения, поведенческие паттерны и финансовые возможности пользователя, такие решения предлагают наиболее подходящие модели, что напрямую влияет на удовлетворенность клиентов. [1]

Актуальность интеллектуального подбора обусловлена высокой насыщенностью рынка. Столкнувшись с обширным ассортиментом, потребитель нуждается в инструментах, которые не только экономят время, но и обеспечивают точный, ориентированный на его запросы результат. [1] Таким образом, эти системы становятся ключевым фактором создания комфортного и эффективного пользовательского опыта.

Целью работы является разработка и исследование рекомендательной системы для подбора автомобилей, основанной на интеллектуальном анализе пользовательских предпочтений и требований. Такая система позволит обеспечить персонализированный выбор транспортного средства с учетом предпочтений, потребностей и ограничений пользователя.

Реализация модели машинного обучения.

Методология построения рекомендательной системы. Основу исследования составляет методология построения рекомендательной системы для подбора автомобилей, основанная на применении многослойного персептрона (MLP). Процесс включает следующие ключевые этапы.

Предобработка данных и формирование признаков. Исходный датасет содержит информацию об автомобилях (марка, модель, год выпуска, цена, пробег, тип двигателя и коробки передач) и действиях пользователей. На этапе подготовки данных выполнялась их очистка, включающая обработку пропущенных значений методом заполнения средним арифметическим и фильтрацию выбросов. Для формирования обучающей выборки автомобили, отмеченные пользователем как предпочтительные, получали бинарную метку «1», в то время как все остальным присваивалась метка «0». [2] Числовые признаки (год выпуска, цена, пробег, мощность) были нормализованы для обеспечения устойчивости и ускорения сходимости процесса обучения.

Каждый объект (автомобиль) представляется в виде вектора признаков, включающего:

Числовые характеристики: год выпуска, цена, пробег, мощность двигателя.

Категориальные характеристики: тип двигателя, тип коробки передач, марка, класс автомобиля, которые предварительно преобразовывались в числовой формат с использованием методов кодирования.

Архитектура нейронной сети и процесс обучения. Модель реализована в виде полносвязной нейронной сети (Multilayer Perceptron). Входной слой принимает вектор признаков автомобиля. За ним следуют несколько полносвязных (Dense) слоев, осуществляющих нелинейное преобразование данных через аффинные преобразования и функции активации. Выходной слой состоит из одного нейрона с сигмоидной функцией активации, выход которого интерпретируется как вероятность принадлежности автомобиля к классу предпочитаемых пользователем. [3]

Для обучения модели использовался алгоритм оптимизации Adam с бинарной кросс-энтропией в качестве функции потерь. Гиперпараметры обучения установлены следующим образом: количество эпох – 10, размер мини-батча – 32. Для обеспечения адаптивности системы к изменяющимся предпочтениям пользователя реализован механизм инкрементального дообучения модели на новых данных после каждого взаимодействия. [3]

Заключение. Результатом проделанной работы стала рекомендательная система, учитывающая индивидуальные предпочтения пользователей и предоставляющая персонализированные рекомендации на основе интеллектуального анализа данных. Благодаря этому пользователи могут с легкостью находить автомобили, соответствующие их требованиям, что делает процесс выбора более комфортным и ускоренным.

Чтобы рекомендации стали точнее и ценнее для пользователя, необходимо активно развивать и внедрять современные технологии. Совершенствуя алгоритмы машинного обучения, применяя глубокое обучение и инновационные подходы к работе с большими данными, можно создавать интеллектуальные системы, которые действительно понимают интересы аудитории. Разработка таких решений – это важный шаг в эволюции пользовательского опыта.

Список литературы

1. Константинов, А. В. Интеллектуальный анализ данных: введение / А. В. Константинов, А. Б. Гольдштейн – Москва: ДМК Пресс, 2019. – С. 211-225. – ISBN 978-5-97060-765-2.
2. Раджарам, Р. Методы и алгоритмы рекомендательных систем / Р. Раджарам, Ш. Шривастава. – Москва: ДМК Пресс, 2020. – С. 112-137. ISBN 978-5-97060-818-5.
3. Никитин М. С. Глубокое обучение. Практический подход / М. С. Никитин, В. В. Клименков, Д. А. Кропотков. – ДМК Пресс, 2021. – С. 466. – ISBN 978-5-97060-875-8.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНКЕТИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Бондаренко В.И., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-5404-5787
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
bondarenko@donnu.ru

Введение. В работе представлена разработка и внедрение современной веб-ориентированной системы анкетирования студентов для оценки качества преподавания в высшем учебном заведении. Предложенное решение автоматизирует весь процесс: от создания опросов до анализа результатов, обеспечивая анонимность респондентов и эффективную обработку данных. Система построена на основе современного стека веб-технологий, что обеспечивает её масштабируемость и удобство использования.

Ключевые слова: качество образования, анкетирование студентов, веб-приложение, автоматизация опросов, мониторинг качества, Next.js, React.

Обеспечение качества образовательного процесса является одной из ключевых задач современного высшего учебного заведения [1]. Важным инструментом мониторинга качества выступает систематическое анкетирование студентов, позволяющее получать актуальную обратную связь об эффективности преподавания дисциплин [2]. Традиционные методы проведения опросов с использованием бумажных анкет имеют существенные недостатки: высокая трудоемкость обработки результатов, сложность обеспечения анонимности, значительные временные затраты на организацию процесса, риски искажения данных при ручной обработке [3]. Современные подходы к управлению образовательным процессом требуют применения интеллектуальных методов анализа данных [4].

Цель работы – повышение эффективности мониторинга качества образовательного процесса путем автоматизации процедуры анкетирования студентов.

Основная часть. Система реализована как современное веб-приложение с использованием следующего технологического стека: Frontend: React.js с Next.js 13 (серверные компоненты); Стилизация: TailwindCSS для адаптивного дизайна; Backend: Node.js с Prisma ORM для работы с данными; СУБД: MySQL для хранения информации; Аутентификация: NextAuth.js с поддержкой различных провайдеров.

В системе применен ряд технических решений для обеспечения надежности и эффективности: оптимизация производительности через серверные компоненты React для быстрой загрузки, обеспечение

безопасности путем шифрования данных при передаче, управление данными с каскадным удалением связанных записей. Применение современных образовательных технологий позволяет создать эффективную систему обратной связи [5].

Ключевыми компонентами системы являются административный модуль, модуль анкетирования и аналитический модуль.

Административный модуль включает в себя функции управления списками преподавателей и дисциплин, назначение преподавателей на соответствующие дисциплины, управление группами студентов, а также формирование уникальных ссылок для опросов.

Модуль анкетирования представляет собой адаптивный пользовательский интерфейс, который обеспечивает механизмы анонимного голосования и защиты от повторного прохождения опроса. Важным аспектом данного модуля является автоматическое сохранение результатов. Для повышения эффективности анализа результатов возможно применение методов машинного обучения для предсказания успешности образовательного процесса [6, 7].

Аналитический модуль направлен на формирование статистических отчетов, экспорт данных в различных форматах, визуализацию результатов и предоставление инструментов анализа тенденций.

Все эти компоненты взаимосвязаны и обеспечивают целостность системы в рамках проводимых процессов. Система успешно внедрена в образовательный процесс ДонГУ.

Заключение. Разработанная автоматизированная система анкетирования успешно решает задачу мониторинга качества образовательного процесса. Применение современных веб-технологий обеспечивает удобство использования, надежность работы и эффективность обработки результатов. Система может быть адаптирована для использования в любом высшем учебном заведении.

Список литературы

1. Горохов, А. В. Система менеджмента качества образовательного процесса вуза / А. В. Горохов, М. С. Косьянова, В. А. Гаврин // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-menedzhmenta-kachestva-obrazovatel'nogo-protssessa-vuza> (дата обращения: 22.09.2025).
2. Сидоров, С. В. Правила реализации системного подхода в педагогическом исследовании / С. В. Сидоров // Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири. – 2016 – URL: http://zpu-journal.ru/e-zpu/2010/2/Sidorov_Systematic_Approach/ (дата обращения: 22.09.2025)..
3. Петрова, Е. В. Применение новых информационно-телекоммуникационных технологий в реверсивном обучении студентов / Е. В. Петрова // Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». – 2024. – DOI 10.21661/r-558098.
4. Бондаренко, В. И. Модели интеллектуального анализа данных для поддержки принятия решений по управлению образовательным процессом / В. И. Бондаренко,

- В. В. Бондаренко // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы VI Международной научной конференции (Донецк, 27-28 октября 2022 г.) / под общ. ред. проф. С. В. Беспаловой. – Т. 2: Физические и технические науки. – 2022. – С. 232–236. – EDN: FWKWVG.
5. Близнюк, О. В. Совершенствование процессов обеспечения качества образования в высших учебных заведениях на основе менеджмента качества / О. В. Близнюк // Журнал «Теоретическая экономика». – 2018. – № 3. – С. 58–67.
 6. Бондаренко, В. И. Предсказание успешности прохождения образовательных онлайн-курсов с помощью классификатора random forest / В. И. Бондаренко, В. О. Елисеев // Вестник Донецкого государственного университета. Серия Г: Технические Науки. – 2024. – № 1. – С. 16–23. – EDN: FXYXWV
 7. Котенко, В. Н. Метод повышения эффективности контроля знаний студентов на основе применения инновационных технологий / В. Н. Котенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2013. – № 1(46). – С. 429–435. – EDN RLYQMT.

УДК 004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИНТЕГРАЦИЯ HTTP API ДЛЯ WEB-СЕРВИСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Бондаренко В.И., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-5404-5787,

Богдан Я.А., ORCID 0009-0008-7556-7956

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

bondarenko@donnu.ru

Введение. В настоящее время в связи с постоянным ростом информации глобальной сети Интернет необходимо развитие технологий, позволяющих использовать ее для решения различных производственных задач предприятий и организаций [1].

Цель работы – систематизация и практическое применение методов проектирования, реализации и интеграции HTTP API для разработки системы автоматического подбора рекомендаций по поиску ресторана на основе разнородных данных.

Основная часть. Система состоит из web-приложения и микросервиса на Python. Клиентская часть включает в себя верстку и логику работы с микросервисом по HTTP API. Web-приложение обеспечивает быструю работу пользователя с понятным интерфейсом сайта для получения информации в удобном виде [2]. Микросервис содержит логику работы системы и предоставляет API для анализа текста (рис. 1).

Представление системных ресурсов через HTTP API – гибкий способ обеспечения различных приложений данными в стандартном формате [3]. Это помогает выполнить требования интеграции для mashup- и API-сервисов.

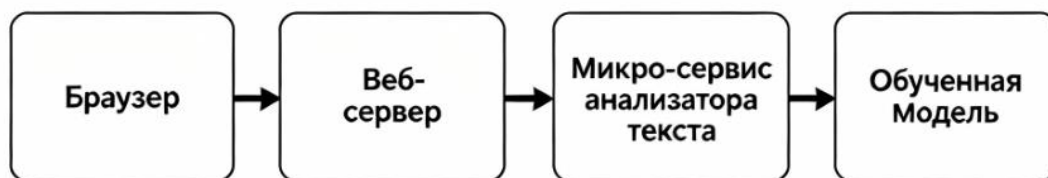


Рис. 1. Общая схема работы приложения

Данная система служит для двух целей: Nginx – веб-сервер с открытыми исходными кодами наподобие Apache. Несмотря на то, что nginx и Apache могут оба использоваться в качестве веб-сервера, их функциональность и архитектура отличаются [4].

Основные функции nginx: 1) HTTP-сервер; 2) Балансировка нагрузки; 3) Обратный прокси.

Обратный прокси – промежуточный сервер, который принимает запрос клиента, ретранслирует его на backend-сервер и передает ответ обратно [5].

Nginx создает процессы-воркеры, каждый из которых может обслуживать тысячи соединений [6]. Воркеры достигают такого результата благодаря механизму быстрого цикла, где отделена основная работа от обработки соединений. Основные различия между Apache и Nginx в том, как они обрабатывают запросы к статическому и динамическому контенту.

Apache может раздавать статический контент с помощью file-based методов. Производительность таких операций зависит от выбранного MPM. Nginx не имеет возможности самостоятельно обрабатывать запросы к динамическому контенту. Для этого запросы передаются внешнему процессору, результат которого затем возвращается пользователю. Этот метод имеет свои преимущества: статический контент возвращается просто, а запросы к интерпретатору выполняются только при необходимости.

Применение машинного обучения для построения дерева рекомендаций услуг заключается в следующем: по ранее собранным отзывам о заведениях создаются объекты обсуждений об услугах и предлагаются пользователю в качестве фильтра для поиска [7]. Результаты изображены на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Ключевые слова в отзывах



Рис. 3. Ключевые слова в отзывах

Заключение. В ходе исследования рассмотрены современные подходы к проектированию и интеграции HTTP API для web-сервисов с использованием Nginx, Apache и Python. Реализация mashup-API показала преимущество интеграции разнородных веб-ресурсов посредством унифицированных HTTP-интерфейсов. Машинное обучение позволяет более эффективно классифицировать объекты и создавать персонализированные рекомендации на основе собранных данных.

Список литературы

1. Иванов С. Н. Применение машинного обучения для предсказания успеваемости студентов / С. Н. Иванов // Журнал искусственного интеллекта и данных. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 120-130.
2. Клементьев А. Ю. Анализ больших данных в системе образования: перспективы и вызовы / А. Ю. Клементьев // Вопросы цифровизации образования. – 2020. – № 3. – С. 34-41.
3. Арсеньев Д. М. Использование технологий искусственного интеллекта в образовательных процессах / Д. М. Арсеньев, В. В. Лебедев // Образовательные технологии будущего. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 91-103.
4. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов / Андрей Бурков. – Питер СПб, 2020. – 192 с.
5. Вьюгин В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования / Владимир Вьюгин. – МЦНМО, 2014. – 304 с.
6. Гелиг А. Введение в математическую теорию обучаемых распознающих систем и нейронных сетей / А. Гелиг, А. Матвеев. – Издательство СПбГУ, 2014. – 224 с.
7. Ковалев И. Ю. Подходы к построению рекомендательных систем для интернет-магазинов / И. Ю. Ковалев, В. И. Бондаренко // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VI Международной научной конференции (Донецк, 26-27 октября 2021 г.) / под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. – Том 2: Физические и технические науки. – Донецк: ДонНУ, 2021. – С. 238-240. – EDN: LLDDGH

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ В УНИВЕРСИТЕТЕ

Бондаренко В.И., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-5404-5787,

Печелина М.И., ORCID 0009-0005-4409-2634

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

bondarenko@donnu.ru, marinavishnia1990@gmail.com

Введение. Автоматизация составления учебного расписания представляет собой сложную NP-трудную задачу оптимизации, требующую одновременного учета множества ограничений: отсутствия конфликтов по времени для преподавателей и аудиторий, соответствия типа занятия и аудитории, равномерности распределения нагрузки [1]. Традиционные методы ручного составления неэффективны для крупных вузов из-за высокой трудоемкости и невозможности оптимизации по многим критериям.

Генетические алгоритмы демонстрируют высокую эффективность для решения подобных многокритериальных задач благодаря способности исследовать большие пространства решений и находить близкие к оптимальным варианты [2]. Применение генетических алгоритмов для автоматического составления расписания в вузе показало свою перспективность [3]. В данной работе разработан и реализован генетический алгоритм для автоматизированного составления университетского расписания, адаптированный к специфике образовательного процесса.

Цель работы – разработка эффективного алгоритма генерации расписания занятий в университете с использованием ГА, позволяющего оптимизировать распределение учебных нагрузок и минимизировать количество конфликтов.

Реализация генетического алгоритма. Представление решения (хромосома). Расписание кодируется в виде хромосомы, где каждый ген представляет собой занятие и содержит набор атрибутов: идентификатор дисциплины, преподавателя, группы, аудитории, временного слота и дня недели. Для обеспечения корректности начальной популяции использован детерминированный генератор, который размещает занятия только в допустимые слоты, исключая генерацию заведомо невалидных решений [4].

Функция приспособленности оценивает качество каждого решения (индивида) в популяции и играет важную роль в процессе поиска оптимального решения. Она определяет, насколько хорошо каждое решение соответствует целям задачи [5], [6].

$$F(x) = -(\alpha \sum \text{conflict\_time} + \beta \sum \text{conflict\_room} + \gamma \sum \text{preference\_teacher} + \delta \sum \text{preference\_student} + \varepsilon \sum \text{resource\_usage} + \zeta \sum \text{academic\_standard})$$

где: $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ – весовые коэффициенты, отражающие важность каждого критерия; conflict_time – количество конфликтов по времени; conflict_room – количество конфликтов по аудиториям; preference_teacher – несоответствие расписания предпочтениям преподавателей; preference_student – несоответствие расписания предпочтениям студентов; resource_usage – оптимизация использования ресурсов; academic_standard – соответствие расписания академическим стандартам и нормам [7].

Генетические операторы. Кроссовер: применяется двухточечный кроссовер. Для сохранения валидности расписания после скрещивания используется механизм исправления, устраняющий возможные конфликты. **Мутация:** реализованы три типа мутации: случайное изменение временного слота, случайное изменение аудитории и swap-мутация. Вероятность мутации адаптируется в зависимости от разнообразия популяции. **Отбор:** используется элитарный отбор в сочетании с турнирным. Элитарность гарантирует сохранение лучших решений, а турнирный отбор поддерживает разнообразие популяции.

Заключение. В результате исследования: создан программный комплекс с реляционной базой данных и веб-интерфейсом; разработана специализированная модель решения на основе ГА; достигнуто значительное сокращение времени составления расписания; обеспечено высокое качество расписания без конфликтов и с равномерным распределением нагрузки. Практическая значимость исследования заключается в создании адаптивного инструмента, способного минимизировать человеческий фактор и оптимизировать учебный процесс в образовательных учреждениях.

Список литературы

1. Alzaqebah M., Al-Rashidy S.S., Sarim M. A hybrid genetic algorithm for university course scheduling problem // Computers, Materials & Continua. – 2021. – Vol. 67, № 2. – P. 2087-2102. – DOI: 10.32604/cmc.2021.014853.
2. Almeida B., Leite N., Ramos F.M. A Genetic Algorithm for the University Course Timetabling Problem with Entropy-Based Diversity Management // Mathematics. – 2023. – Vol. 11, № 4. – P. 1038. – DOI: 10.3390/math11041038.
3. Ермоленко, Т. В. Применение генетических алгоритмов для задачи автоматического составления расписания в вузе / Т. В. Ермоленко, В. Н. Котенко, А. А. Бакулин // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы IV Международной научной конференции, Донецк, 29–31 октября 2019 года. Том 1. Часть 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2019. – С. 226-229. – EDN FNEGVV.
4. Bhattacharjee K., Singh H.K., Ryan M. A Genetic Algorithm with Adaptive Operator Selection for the University Course Timetabling Problem // Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference. – New York, NY, USA: ACM, 2020. – P. 241-249. – DOI: 10.1145/3377930.3390164.

5. Khan I., Maiti M.K. A swap sequence based genetic algorithm for solving university course timetabling problem // Soft Computing. – 2022. – Vol. 26. – P. 2583–2606. – DOI: 10.1007/s00500-021-06574-8.
6. Lemos A., Von Zuben F.J., Neto O.M. A Multiobjective Genetic Algorithm for the University Class Timetabling Problem // IEEE Latin America Transactions. – 2022. – Vol. 20, № 5. – P. 804-812. – DOI: 10.1109/TLA.2022.9667720.
8. Котенко, В. Н. Автоматизированная система генерации семестровых списков учебных дисциплин бакалавриата на основе учебного плана направления подготовки / В. Н. Котенко, К. Н. Гладкова // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VI Международной научной конференции, Донецк, 26–27 октября 2021 года / под общей редакцией проф. Том 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2021. – С. 240-243. – EDN LGPQWY.

УДК 004.9

ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ В РАЗВИТИИ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Вайнилович Ю.В., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-4507-8288,

Аверченко А.Д.

МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилёв, РБ
ylia.v@tut.by

Введение. В наши дни все больше возрастает интерес к дистанционным форматам образования. Распространение вируса Covid-19 и начало пандемии только увеличили спрос на онлайн-образование.

Музыкальное образование традиционно требует непосредственного контакта преподавателя и ученика для корректировки техники исполнения, постановки рук, дыхания и других параметров. Переход к дистанционному формату создает уникальные вызовы: отсутствие тактильной коррекции, задержки звука, сложности в оценке качества исполнения [1].

Несмотря на эти ограничения, спрос на онлайн-обучение музыке растет. Появляются специализированные платформы, однако большинство из них не решает ключевую проблему – отсутствие объективной автоматизированной оценки исполнения, что критично для самостоятельных занятий [2].

Целью исследования анализ актуальности дистанционного музыкального образования и выявление потребности в специализированных системах.

Основная часть. Для детального понимания масштабов и динамики интереса к дистанционному обучению был проведен анализ статистики поисковых запросов с помощью сервиса Google Trends. Данные

рассматривались за период с 2020 по 2025 год, что позволяет охватить как допандемийный период, так и пик популярности формата и его текущее состояние.

Запрос «Обучение дома» после пика в 2020 году стабилизировался на уровне, превышающем допандемийные показатели (рис. 1).



Рис. 1. Динамика популярности запроса «Обучение дома»

Аналогичная динамика наблюдается для запросов «Онлайн курсы» и «Вебинар», что свидетельствует о формировании устойчивого спроса на дистанционное образование. Их динамика популярности представлена на рис. 2 и 3.

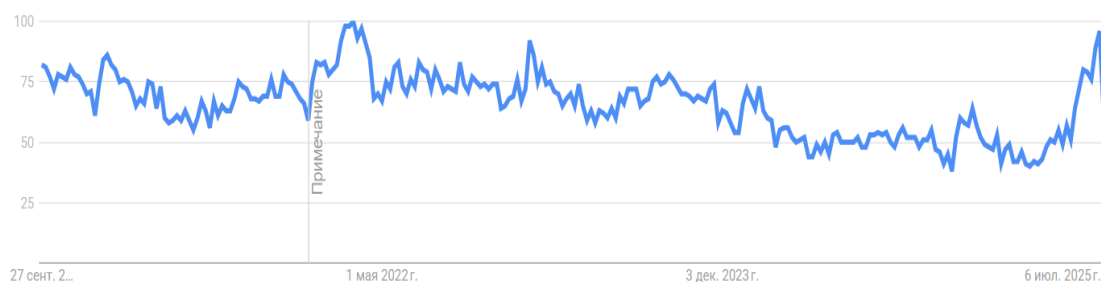


Рис. 2. Динамика популярности запроса «Онлайн курсы»

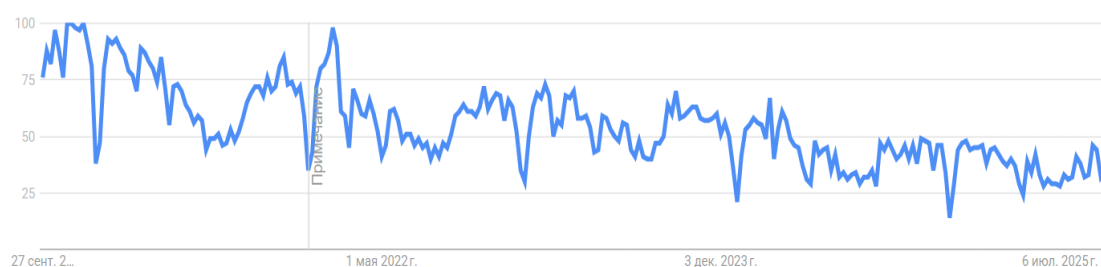


Рис. 3. Динамика популярности запроса «Вебинар»

Чтобы лучше понять, что именно нужно пользователям в сфере дистанционного музыкального обучения, был проведен углубленный анализ узкоспециализированных запросов.

Анализ специализированных запросов выявил растущий интерес к музыкальному онлайн-образованию. Динамика запроса «Учитель музыки онлайн» демонстрирует стабильный рост на протяжении пяти лет (рис. 4).

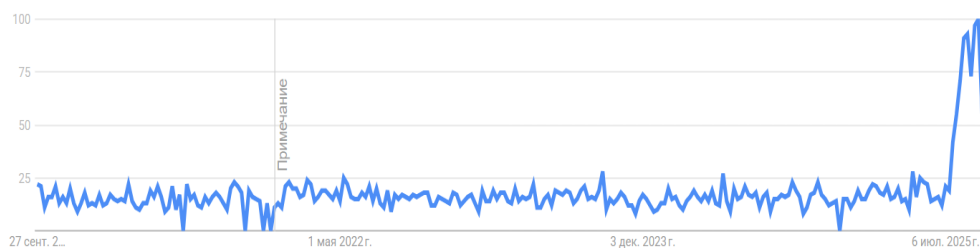


Рис. 4. Динамика популярности запроса «Учитель музыки онлайн»

Запросы «Уроки фортепиано онлайн» и «Fender уроки» подтверждают востребованность дистанционного обучения игре на конкретных инструментах (рис. 5-6).



Рис. 5. Динамика популярности запроса «Уроки фортепиано онлайн»



Рис. 6. Динамика популярности запроса «Fender уроки»

Исследование специализированных запросов однозначно показывает, что онлайн-обучение музыке не воспринимается как временное решение. Оно стало перспективным направлением, у которого есть своя постоянно расширяющаяся аудитория. Спрос на онлайн-обучение музыке достаточно высок, однако существует разрыв между спросом и качеством предложения, обусловленный техническими ограничениями существующих платформ в части объективной оценки музыкального исполнения.

Закключение. Выявленная потребность указывает на необходимость разработки интеллектуальных систем анализа музыкального исполнения.

Перспективным направлением представляется создание решений, сочетающих возможность работы с произвольным музыкальным материалом и автоматизированную аналитику, обеспечивающую объективную оценку технических параметров исполнения. Разработка таких систем позволит преодолеть ключевое ограничение дистанционного музыкального образования, а именно дефицит качественной обратной связи, и вывести его на качественно новый уровень.

Список литературы

1. Муродова, Г. Б. Дистанционное обучение: будущее образования. Преимущества и недостатки дистанционного образования / Г. Б. Муродова // *Universum: технические науки*. – 2023. – № 5-1(110). – С. 55-57. – EDN ZXXCKP.
2. Ситникова, Ж. Ю. Применение компьютерных средств к анализу музыки С. Прокофьева / Ж. Ю. Ситникова // *Музыка в системе культуры: Научный вестник Уральской консерватории*. – 2020. – № 22. – С. 53-64. – EDN CNXQXH.

УДК 004.9

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ДЛЯ КОЛЛЕКЦИОНЕРОВ С УЧЕТОМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПОТРЕБНОСТЕЙ И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вайнилович Ю.В., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-4507-8288,
Сакс А.О.

МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилёв, РБ
ylia.v@tut.by

Введение. В наши дни коллекционирование является не просто хобби, но и важной частью самовыражения и социального формирования человека. Для многих коллекционеров процесс поиска и обмена фигурками связан с эмоциональной ценностью, чувством принадлежности к сообществу и сохранением культурной памяти [1, 2].

В последние годы заметно выросло число коллекционеров фигурок, активно пользующихся онлайн-платформами для покупки, продажи и обмена различными фигурками – как ценными, так не входящими в популярные коллекции. Рост онлайн-продаж в этой сфере продолжается благодаря широкому распространению Интернета и удобству совершения сделок без географических ограничений [3].

В отличие от традиционных специализированных магазинов и выставок, онлайн-платформы работают круглосуточно, обеспечивают доступ из любой точки мира и позволяют коллекционерам взаимодействовать напрямую. Это дает пользователям доступ к демонстрации своих коллекций, расширяет ассортимент продукции, облегчает поиск информации по интересующей фигурке и подтверждению ее подлинности. Растущая популярность социальных сетей, форумов и специализированных сайтов стимулирует увеличение вовлеченности и доверия среди коллекционеров [4].

Целью исследования существующих онлайн-платформ для коллекционеров фигурок заключается в выявлении сильных и слабых сторон, определении эффективных стратегий, которые позволят удовлетворить потребности коллекционеров и создать более удобный интерфейс сервиса.

Основная часть. Объектами исследования выступают зарубежные платформы, предназначенные для коллекционеров фигурок.

Одной из известных платформ является LittlestPetShop – официальная американская онлайн-платформа, которая занимается перевыпуском старой и наиболее популярной линейки с обновленными дизайнами фигурок. Преимущества: хорошая визуализация, гибкая настройка интерфейса, ведение списка имеющихся и желанных фигурок, просмотр новинок с подробным описанием, карточки с креативными идеями и видео-разделы. Недостатки: акцент на детскую аудиторию, охват лишь одной линейки; отсутствие покупки/обмена, общения с пользователями и статистики коллекции.

LpsMerch – международная платформа с базой данных по всем существующим фигуркам. Преимуществами данной платформы являются наличие мобильной версии, четкая категоризация и различные варианты поиска, список имеющихся и желанных фигурок любой линейки, добавление заметок, актуальные объявления, печать списков. Недостатки: отсутствие прямой покупки/обмена, обратной связи; затрудненная навигация и недостаточная информация о происхождении фигурки.

В отличие от LpsMerch, LittlestBrainRot – американская платформа с конкурсами и продажей по всему миру, а также хранением особой коллекционной атрибутики. Преимущества данной платформы: удобная навигация, мощный инструмент поиска, плавные интерактивные эффекты, встроенный чат-бот, архив брендовой продукции, коммуникация. Недостатки: отсутствие возможности создания своих объявлений.

Следующая платформа, MyushorpyLps, французская, ориентированная на создание авторских фигурок и художественных работ. Она предлагает удобный интерфейс, просмотр отзывов других пользователей, эксклюзивный товар, счетчик бонусов за совершенные покупки. Тем не менее, её функционал ограничивается ориентацией на широкий экран, ограниченная доставка, отсутствие учета собственной коллекции.

Наконец, LittlestPetShopWiki – международная информационная платформа с многочисленными статьями и файлами по истории бренда и описаниями фигурок. Ее сильными сторонами являются обширная справочная база, эффективная сортировка, взаимодействие с сообществом, фотографии подлинных фигурок. Основные недостатки – ориентированность на настольные устройства; отсутствие более новых линеек фигурок, продажи/обмена и учета собственной коллекции.

Общий недостаток рассмотренных платформ – отсутствие персонализированного подбора согласно предпочтениям конкретного коллекционера и механизма вовлечения в виде тестов.

Также следует отметить, что на данный момент не существует чисто русскоязычных аналогов.

Заключение. В ходе исследования произведён всесторонний анализ существующих зарубежных онлайн-платформ для коллекционеров фигу-

рок. Выявлены сильные стороны этих сервисов – обширные базы данных, удобный поиск и категоризация, а также возможности взаимодействия с сообществом. Вместе с тем, обнаружены существенные недостатки, такие как узкая целевая аудитория, ограниченные возможности покупки и обмена, недостаточная персонализация, а также низкий уровень интерактивного вовлечения пользователей.

Полученные результаты подчёркивают актуальность разработки специализированной платформы, способной интегрировать функции учёта коллекции, персонализированные рекомендации и инструменты коммуникации между пользователями. Такой подход окажет значительное влияние на удовлетворение потребностей коллекционеров и повысит лояльность аудитории.

Отдельное внимание следует уделить перспективам использования искусственного интеллекта (ИИ) на таких платформах. Современные ИИ-технологии позволяют реализовать автоматический подбор фигурок с учётом индивидуальных предпочтений, создавать уникальные пользовательские дизайны, обеспечивать эффективные средства поддержки – чат-боты и интеллектуальные ассистенты. Внедрение ИИ способствует усилению персонализации и глубокой интерактивности, что, в совокупности с удобным интерфейсом, повысит конкурентоспособность и востребованность сервиса.

В дальнейшем целесообразно провести эмпирические исследования пользовательских предпочтений, изучить новые форматы взаимодействия. Также важным направлением является расширение функционала платформы с учетом меняющихся трендов и интеграция с внешними сервисами.

Таким образом, разработка современной онлайн-платформы для коллекционеров фигурок, основанной на современных цифровых технологиях и искусственном интеллекте, является необходимым шагом для создания конкурентоспособного, удобного и востребованного продукта, отвечающего актуальным потребностям сообщества и развивающего рынок коллекционирования.

Список литературы

1. Макарова, Е. А. Коллекционирование в системе социокультурных практик / Е. А. Макарова // Культура и искусство. – 2020. – № 5. – С. 94-105. – DOI 10.7256/2454-0625.2020.5.32885. – EDN STICWN.
2. Игнатьева, О. В. История изучения частного коллекционирования в России: теоретический обзор / О. В. Игнатьева // Манускрипт. – 2021. – Т. 14, № 8. – С. 1530-1537. – DOI 10.30853/mns210278. – EDN QZDEQB.
3. Дандамаева, З. Э. Арт-рынок в современных условиях: актуальные проблемы и тенденции / З. Э. Дандамаева // Вестник культуры и искусств. – 2023. – № 3(75). – С. 7-14. – EDN LBPMZK.
4. Левандовская, А. Я. Цифровые платформы в развитии деятельности участников арт-рынка / А. Я. Левандовская // Государственная культурная политика Российской Федерации и новые практики социально-культурной деятельности: Сборник научных статей. – Санкт-Петербург: ИП Сергеев Д.В., 2024. – С. 141-146. – EDN EXRHPR.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Глухов А.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр., ORCID 0000-0001-9816-5628,

Трофимов В.В., канд. техн. наук, ORCID 0009-0008-9955-3102,

Домарев В.И., ORCID 0009-0003-5989-2867

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, РФ

glukhov1964@yandex.ru, victor.trofymov@ranimi.org, vladimir.domarev@bk.ru

Введение. По мере приближения к зонам тектонических структур, которые тяготеют к глубинным разломам, происходит закономерное возрастание концентрации газов и тяжелых углеводородов, а сами разломы при этом являются путями миграции в углепородный массив горючих газов термогенного происхождения и газов, близких к эндогенному генезису из более глубоких слоёв земной коры. При этом в горном массиве формируются мощные, незначительные по протяженности и относительно изолированные газосодержащие коллекторы. Из-за небольших размеров они остаются не выявленными в ходе различных стадий геологической разведки. Для прогноза пространственного расположения таких аномалий разработаны программные модули обработки и анализа данных микросейсмических наблюдений. В первую очередь это зоны повышенной трещиноватости и зоны влияния тектонических нарушений.

Цель – разработать программные модули основных графов обработки и анализа данных микросейсмического мониторинга, расчета и анализа информативных параметров сейсмических полей, прогноза пространственного расположения геологических аномалий.

Описание программных модулей. Разработанное программное обеспечение предназначено для чтения и первичной обработки часовых записей трехкомпонентных сейсмоприемников в формате SEG-2. Поддерживается загрузка отдельных файлов или наборов записей на определенную дату из структурированной базы данных.

После загрузки данные визуализируются в основном рабочем окне (рис. 1). Пользователь может гибко настраивать отображение: выбирать компоненты (вертикальную Z или горизонтальные X, Y), масштаб отображения, временные интервалы, сравнивать записи с разных датчиков. Доступны операции калибровки трасс для устранения смещения нуля.

Важной функцией является поляризационный анализ. Модуль рассчитывает степень поляризации сигнала и строит поляризационные диаграммы (рис.), что позволяет анализировать траектории движения частиц и выделять линейно-поляризованные составляющие колебаний.

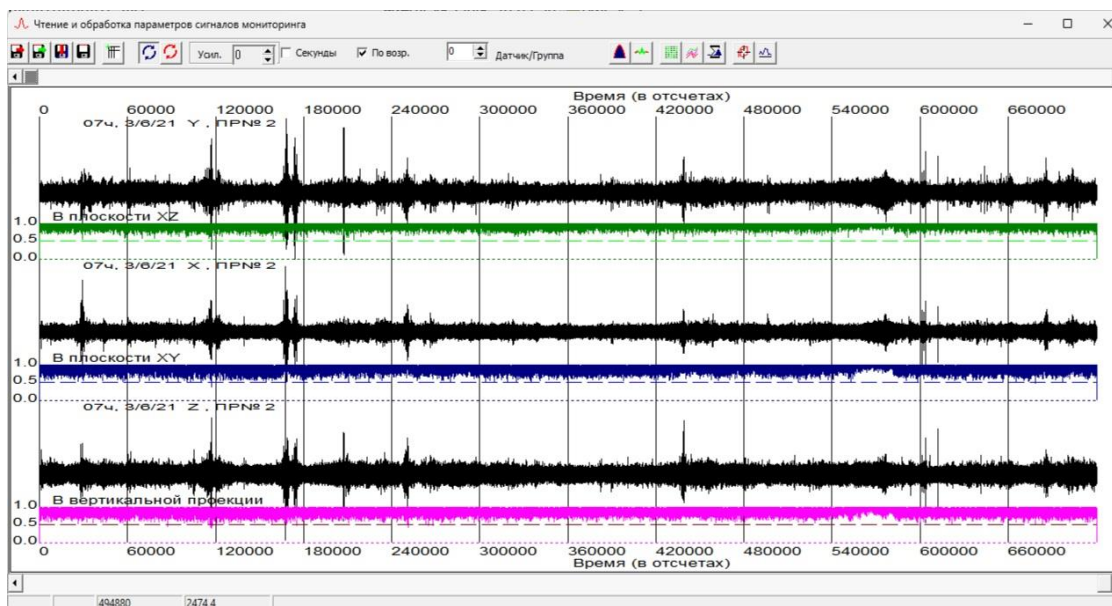


Рис. Вывод графиков степени поляризации в заданных плоскостях

Спектральный анализ выполняется с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) строятся как для целых записей, так и для отдельных участков. Для удобства анализа низкочастотного диапазона предусмотрено использование логарифмической шкалы по частоте. Анализ АЧХ позволил выделить три характерные частотные зоны: до 0.05 Гц – находится вне диапазона приема датчиков используемого типа и не представляет непосредственного интереса в рамках проводимых исследований; 0.05-2 Гц – шумы естественного происхождения относительно малой амплитуды с рядом характерных пиков на ряде частот (0.18 Гц, 0.35 Гц, 0.52 Гц и т.д.); свыше 2 Гц – шумы техногенного происхождения (работа оборудования шахты, помехи). Для выделения полезного сигнала реализован набор фильтров: низкочастотный, высокочастотный, полосовой, режекторный.

Расчет спектральных отношений (горизонтальных компонент к вертикальной) позволяет разделить сигналы по природе происхождения. Соотношения, близкие к 1, характерны для естественных глубинных источников, в то время как значительное превышение единицы указывает на преобладание вертикальных колебаний от поверхностных техногенных источников [1].

Анализ распределения амплитуд предоставляет статистическую информацию о сигнале в виде гистограмм, что полезно для оценки общих характеристик поля микросейсм.

Для хранения и обработки накопленных данных создана иерархическая база данных. Она содержит исходные сейсмозаписи, их спектры и рассчитанные параметры (амплитуды, энергии, частоты и др.), упорядоченные по датчикам, датам и часам. Используется внутренний структурированный формат хранения, оптимизированный для выполнения БПФ и других операций.

Ключевой алгоритм прогноза основан на предположении, что частота f фундаментальной моды волны Рэлея, распространяющейся со скоростью $V_R(f)$ связана с глубиной h залегания породы [2]. Согласно этому подходу, амплитуда спектра для заданной частоты связывается со скоростью распространения волны Рэлея на определенной глубине. Уменьшение спектральной амплитуды наблюдается для пород с повышенной скоростью распространения волны Рэлея и наоборот. Такое перераспределение амплитуды волны объясняется законом сохранения потока ее энергии [3] при распространении через области с различными характеристиками.

Для повышения достоверности используются усредненные АЧХ, рассчитанные за длительные периоды времени (например, три недели), что позволяет нивелировать влияние случайных факторов.

Заключение. Разработанные программные модули обработки и анализа результатов микросейсмического мониторинга позволяют получить зависимости амплитудно-частотных характеристик регистрируемых волновых полей от времени для различных частотных диапазонов и усредненные амплитудно-частотные характеристики микросейсмических колебаний за длительный период времени. Программное обеспечение и установленные закономерности следует использовать для обнаружения областей повышенной трещиноватости и зон влияния тектонических нарушений.

Информация о финансовой поддержке: *работа выполнена в рамках научной темы FRSR-2023-0007 «Разработка геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана на угольных шахтах в зонах динамического влияния разломов».*

Список литературы

1. Горбатилов, А. В. Возможность оценки параметров геологических объектов на основе использования фонового микросейсмического поля. Результаты экспериментальных исследований и моделирование [Текст] / А. В. Горбатилов // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. межд. конф. – 2006. – С. 66-71.
2. Горбатилов, А. В. Примеры практического опробования метода микросейсмического зондирования в интересах изучения, разведки и разработки месторождений углеводородов [Текст] / А. В. Горбатилов // Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа XXI век. Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых, посвященной 150-летию академика АН СССР И.М. Губкина и 110-летию академика АН СССР и РАН А. А. Трофимука. – Новосибирск, 2021. – С. 240-243. – DOI 10.25205/978-5-4437-1248-2-240-243.
3. Яновская, Т. Б. К теории метода микросейсмического зондирования [Текст] / Т. Б. Яновская // Физика Земли. – 2017. – № 6. – С. 18-23.

ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ SQL-ЗАПРОСОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АУКЦИОНОВ ГОРОДСКИХ КЛИНИЧЕСКИХ БОЛЬНИЦ

Доронкина В.Е., ORCID 0009-0001-4481-4220,
Ковтун И.И., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0005-8222-5290
ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»,
г. Москва, РФ
i.i.kovtun@mtuci.ru

Введение. Как известно, деятельность, направленная на обеспечение здоровья граждан, продолжительности и уровня жизни, является приоритетной составляющей политического курса Российской Федерации. В связи с вышеуказанным, федеральные и региональные органы государственной власти уделяют первостепенное значение развитию медицины и здравоохранения, в т.ч. развитию городских клинических больниц. Отличительными характеристиками городской клинической больницы является использование современного оборудования и технологий, наличие адъюнктур и аспирантур, высокое качество лечения.

В связи с наличием широкого спектра компьютерных технологий и систем, существуют различные варианты комплексной автоматизации. Как результат, возникает задача детального обследования городской клинической больницы на предмет выбора наилучшего из них с последующей подготовкой технического задания и конструкторской документации, отражающей полный спектр предлагаемых проектных решений. Поставленная задача определяет следующую цель научного исследования.

Цель – разработка формальной модели, отражающей общие закономерности и особенности функционирования городской клинической больницы в интересах последующего проектирования и разработки автоматизированной системы управления, а также объединяющей выразительные возможности как реляционного [1], так и функционального моделирования [2], позволяющих применить в процессе проектирования передовые компьютерные системы и технологии. **Основная часть.** Разработана функциональная модель IDEF0, отражающая все стадии и этапы подготовки и проведения электронных закупок в городской клинической больнице. Фрагмент такого процесса по принципу ТО-ВЕ представлен на рис. 1. При этом, реляционная модель отражает весь диапазон обрабатываемой информации, в т.ч. о лекарственных препаратах, медицинском оборудовании, поставщиках, торговых площадках и др. Фрагмент модели представлен на рис. 2.

Детальное представление процесса проведения аукционных закупок городской клинической больницы достигнуто посредством интеграции

реляционной и функциональной модели. При этом, особенность интеграции состоит в применении для этих целей известного языка обработки баз данных SQL [3]. Фрагмент кода формирования таблиц и запросов к ним на языке SQL представлен в листинге.



Рис. 1. Фрагмент процесса деятельности больницы по принципу TO BE



Рис. 2. Фрагмент реляционной модели данных процесса проведения электронных торгов

Листинг. Фрагмент кода формирования таблиц и запросов к ним на SQL

```
CREATE TABLE resp_persons (
  ID_resp SERIAL PRIMARY KEY,
  Name VARCHAR2(25) NOT NULL,
  Patronymic VARCHAR2(25),
  Surname VARCHAR2(30) NOT NULL,
  Phone_number VARCHAR2(20),
  email VARCHAR2(255) UNIQUE
);
```

```
SELECT id_medicament
FROM medicaments
WHERE medicament =
  (SELECT MIN(quantity)
   FROM medicaments)
```

Важным элементом планирования деятельности городской клинической больницы является также задача обеспечения наибольшей производительности процесса подготовки конкурсной документации, которая, с учетом взаимозаменяемости должностных лиц, требований к плану подготовки и затрат на подготовку документации формализована в ряде источников, в т.ч. [4], [5]. В терминах модели IDEF0 указанная задача приобретает следующий вид.

Дано: m – количество механизмов, задействованных в процессе подготовки конкурсной документации; n – количество дочерних функциональных блоков; a_{ij} , $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ – затраты в процессе выполнения j -той функции i -тым механизмом; A_i , $i = \overline{1, m}$ – лимит ресурса, установленный для i -того механизма; B_j , $j = \overline{1, n}$ – число повторений j -той функции.

Найти: x_{ij} , $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ – количество повторений j -той функции i -тым механизмом, при которых целевая функция

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \quad \text{достигает минимума.}$$

Решение: представим задачу в следующем виде:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq A_i, \quad i = \overline{1, m} \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq B_j, \quad j = \overline{1, n} \\ x_{ij} \geq 0, x_{ij} \in Z, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \end{cases}$$

Решение представленной задачи в указанной формулировке может быть найдено, например, симплекс-методом, [6].

Заключение. Основными результатами проведенного исследования являются: формализация порядка деятельности городской клинической больницы, формирование комплексного подхода к автоматизации управления деятельностью больницы, разработка программного кода на языке SQL. Представленный подход к интеграции функциональной и реляционной модели позволил применить для расчета показателей реализуемости и экономической эффективности проекта комплексной автоматизации аппарат математического программирования. При этом, полученные результаты подтвердили эффективность применения функционально-реляционной методологии, предложенной и описанной в источнике [7].

Список литературы

1. Мейер Д. Теория реляционных баз данных: Пер. с англ. / Д. Мейер. – М.: Мир, 1987. – 608 с., ил.
2. РД 50.1.028-2001. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Издание официальное. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 75 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9075-93. Язык баз данных SQL с расширением целостности.
4. Ковтун И. И. Проблемы моделирования проектных решений в процессе проектирования автоматизированных информационных систем / И. И. Ковтун // Информатизация и связь. – 2012. – № 8 – С. 145-151.
5. Ковтун И. И. Теория и практика проектирования государственных информационных систем. Учебное пособие / И. И. Ковтун. – СПб.: Изд-во НИЦ АРТ, 2023. – 194 с.: ил.
6. Дегтярев Ю. И. Методы оптимизации. Учебное пособие для студентов ФПМ / Ю. И. Дегтярев. – М.: – 1973.
7. Ковтун И. И. Функционально-реляционный анализ вариантов автоматизации сложных организационно-технических систем. Монография / И. И. Ковтун. – СПб.: Изд-во НИЦ АРТ, 2024. – 214 с. : ил.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРОВАЛООПАСНЫХ ЗОН

Дрибан В.А., д-р техн. наук, Scopus ID: 55963516100,

Яркова А.И., ORCID 0009-0001-4755-3732,

Антипенко А.В., ORCID 0009-0004-4102-054X,

Трофимов В.В., канд. техн. наук, ORCID 0009-0008-9955-3102,

Дуброва Н.А., канд. техн. наук, ORCID 0000-0003-2197-902X

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геофизики, геомеханики и маркшейдерского дела», г. Донецк, РФ

viktor-driban@yandex.ru, yarkova_maths@mail.ru, ministrxp@mail.ru,

victor.trofymov@ranimi.org, dubrovan@mail.ru

Введение. Эффективные методы прогнозирования рисков провалообразования имеют ключевое значение для обеспечения безопасности территорий, подвергшихся влиянию горных работ. Одним из перспективных подходов является применение искусственных нейронных сетей, которые позволяют учесть множество скрытых влияющих факторов и неявных закономерностей, обеспечивая высокую точность и достоверность прогноза проявления критических деформаций земной поверхности.

Цель – анализ архитектур и алгоритмов искусственных нейронных сетей, обоснование их применимости для решения задач прогнозирования процессов образования провалов земной поверхности.

Основная часть. Искусственная нейронная сеть (ИНС) – модель машинного обучения, основанная на принципах работы биологических нейронных структур. ИНС состоит из взаимосвязанных элементов – организованных в слои нейронов, выполняющих математическую обработку входной информации. Основу функционирования нейросети составляют параметры нейронов (веса и смещения), функции активации, архитектура сети и алгоритм обучения. Нелинейность ИНС достигается за счёт использования функций активации, таких как логистическая функция, гиперболический тангенс, ReLU, Softmax и пр. Архитектура сети характеризуется числом слоёв и схемой их соединений; к основным классам нейросетевых архитектур относятся полносвязные нейросети прямого распространения, а также свёрточные, рекуррентные и генеративно-состязательные ИНС [1].

Обучение ИНС представляет собой процесс итеративной настройки параметров с целью минимизации ошибки прогнозирования. В зависимости от наличия информации о целевых значениях различают три подхода: обучение с учителем, без учителя и с подкреплением. Целью обучения является нахождение минимума функции потерь, оптимизация

параметров осуществляется с помощью градиентных методов и их модификаций. Выбор функции потерь зависит от типа решаемой задачи и специфики входной информации.

В нашем случае речь идет о выборке данных о горных выработках, над которыми зафиксированы провалы и деформации земной поверхности, а также о выработках с отсутствием повреждений над ними. Для каждой выработки известны следующие параметры: тип выработки, угол наклона, глубина залегания, наличие провалов и деформаций над соседними выработками в подобных условиях, влияние подработки, обводнения и техногенных факторов, наличие/отсутствие плывунов и слабых грунтов в кровле, марка угля, коэффициент остаточного разрыхления пород кровли, возраст выработки, а также непосредственно факт наличия или отсутствия провала. Конечная задача исследования заключается в прогнозировании времени провалообразования, под которым понимается временной интервал от момента проходки выработки до реализации провала на земной поверхности, и вероятность этого события [2]. Анализ существующих архитектурных решений (единая модель с двумя выходами, две независимые модели для каждой подзадачи, постановка задачи как классификации с использованием времени в качестве входного признака) показал, что такие подходы не учитывают возможность наступления события за пределами периода наблюдения. Специфика имеющихся входных данных обусловила необходимость применения специализированных методов моделирования времени до события, например, таких как анализ выживаемости. В отличие от классических регрессионных моделей, анализ выживаемости позволяет учитывать как объекты, для которых событие произошло, так и те, для которых оно ещё не наступило [3].

Основными характеристиками для каждого объекта с вектором признаков x являются функция плотности вероятности $f(t|x)$, описывающая вероятность наступления события в момент времени t , и функция кумулятивного распределения $F(t|x)$, определяющая вероятность того, что событие произойдёт не позднее момента времени t . Дополнительно введены функция выживания $S(t|x)$ – вероятность отсутствия события до момента времени t , и функция риска $h(t|x)$ – оценка вероятности наступления события в момент времени t при условии, что оно не произошло ранее.

Для построения нейросетевой модели выживаемости необходимо определить три ключевых компонента: целевую функцию, отражающую статистическую характеристику времени до наступления события (одну из перечисленных выше), метод её аппроксимации для выражения зависимости от входных признаков и соответствующую функцию потерь.

Методы анализа выживаемости делятся на модели с непрерывной и дискретной временной шкалой, которые отличаются подходом к

моделированию целевых функций. В основе их обучения лежит функция правдоподобия, максимизация которой является стандартным подходом к оценке параметров. При использовании нейронных сетей в качестве функции потерь применяется усреднённая отрицательная логарифмическая функция правдоподобия, что позволяет перейти к классической задаче минимизации. Преимуществом является сохранение свободы выбора количества и ширины слоёв нейронной сети, а также используемых функций активации: ограничение накладывается лишь на количество нейронов в выходном слое в зависимости от типа временной шкалы.

Применение анализа выживаемости в сочетании с нейронными сетями позволяет получить аппроксимацию функции выживания для отдельной выработки, благодаря чему возможно оценить вероятность образования провала в каждый момент времени, а также время до его возникновения как момент, когда функция выживания достигает значения 0,5. При этом следует заметить, что функция выживания стремится к нулю при увеличении времени, и это исключает возможность гарантированного прогноза полной устойчивости выработки. Для практической интерпретации в таком случае может быть введено понятие условного «времени устойчивости», требующее экспертного обоснования.

Заключение. На основании анализа существующих архитектурных решений и имеющихся входных данных о горных выработках обоснован выбор структуры нейросети на основе моделей анализа выживаемости, как оптимальной для решения задач прогнозирования процессов образования провалов земной поверхности. Отметим, что способность нейросетей выявлять сложные нелинейные зависимости в сочетании с методами анализа выживаемости представляет собой перспективный подход к прогнозированию рисков провалообразования, в первую очередь, с точки зрения моделирования вероятности наступления события во времени.

Информация о финансовой поддержке. *Исследования проводились в рамках государственного задания (номер темы № FRSR-2024-0001).*

Список литературы

1. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль; перевод с английского А. А. Слинкина. – [2-е изд., испр.] – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.: цв. ил. – ISBN 978-5-97060-618-6. – Текст: непосредственный.
2. Дрибан, В. А. Разработка системы прогноза обрушений земной поверхности над погашенными горными выработками / В. А. Дрибан, А. Н. Феофанов, И. В. Назимко // Проблемы гірського тиску: зб. наук. пр. – Донецьк, 2009. – №17. – С. 22–57.
3. Chen G. H. et al. An introduction to deep survival analysis models for predicting time-to-event outcomes // Foundations and Trends® in Machine Learning. – 2024. – Т. 17. – №. 6. – С. 921-1100.

ОБУЧЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Дяченко А.С., ORCID 0009-0009-5362-4726,

Сечкарь Ю.А., ORCID 0009-0002-5527-3535

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет»,

г. Мелитополь, РФ

anna.dyachenko597@mail.ru, jualse2810@mail.ru

Введение. Инновационные технологии стали неотъемлемой частью современного российского общества, применяясь повсеместно – в медицине, образовании, сфере услуг, избирательной системе и других областях. Российская система образования за последние годы претерпела значительные изменения, пытаясь адаптироваться к стремительно меняющемуся миру IT. Глобальные вызовы, такие как пандемия COVID-19, также подтолкнули к более активному внедрению цифровых подходов в образовательный процесс, требуя новых стратегий обучения для школьников и студентов. Виртуальные классы, онлайн-курсы и образовательные платформы становятся привычной частью учебного процесса, однако этот переход не обходится без сложностей.

Цель. Рассмотрим основные достижения и потенциальные проблемы обучения в цифровую эпоху.

Основная часть. Начнем с определения понятия «цифровизация образования». Под этим термином подразумевается интеграция широкого спектра программ и приложений, то есть цифровых ресурсов, в образовательный процесс. Это позволяет реализовывать электронное обучение, охватывая как дистанционные формы, так и традиционные методы преподавания [3].

Внедрение цифровых технологий в школах и университетах открывает ряд значительных возможностей. Во-первых, это неограниченный доступ к информации, избавляющий от необходимости тратить время на поиски в библиотеках. Во-вторых, образование становится более доступным, благодаря онлайн-курсам и платформам, стирающим географические и социально-экономические барьеры. В-третьих, цифровые инструменты облегчают коммуникацию и обмен информацией между учащимися и преподавателями [1, с. 121].

Использование цифровых инструментов, таких как геймификация, виртуальная и дополненная реальность, делает процесс обучения более увлекательным. Это способствует лучшему вовлечению учащихся и повышению их мотивации. Наконец, автоматизированные системы проверки знаний позволяют быстро и эффективно оценивать успеваемость, снижая нагрузку на преподавательский состав (рис. 1).



Рис. 1. Преимущества цифровизации в образовательном пространстве

Вместе с тем, можно выделить и недостатки цифровизации в образовательном процессе.

1. Ограниченное межличностное взаимодействие. Дистанционная форма обучения зачастую приводит к сокращению прямого межличностного взаимодействия между обучающимися и педагогическим составом. Это оказывает неблагоприятное воздействие на развитие у обучающихся навыков коллективной деятельности и результативной коммуникации, являющихся критически важными в современном социуме.

2. Снижение вовлеченности и самодисциплины. Когда обучающиеся сталкиваются с непривычным или нежелательным онлайн-форматом, это может негативно сказаться на их интересе к учебе и внутренней мотивации. Удаленное обучение, в свою очередь, требует от учащихся высокого уровня самоорганизации и самодисциплины, которых может не хватать, что создает значительные трудности в достижении поставленных образовательных задач [2, с. 110].

3. Технические барьеры и неравный доступ. Различия в обеспеченности обучающихся современными гаджетами и устойчивым интернет-соединением порождают цифровое расслоение, а технические неисправности могут прерывать образовательный процесс и вызывать утрату значимой информации.

4. Риски, связанные с конфиденциальностью и защитой информации. На фоне расширения использования онлайн-сервисов наблюдается тенденция к увеличению рисков, связанных с несанкционированным доступом к персональным данным и проведением кибератак. Образовательные организации возлагают на себя обязательство по обеспечению конфиденциальности и безопасности личной информации обучающихся, а также по строгому соблюдению регуляторных требований в области кибербезопасности.

5. Качество контента. Поскольку в сети встречаются как правдивые, так и ложные сведения, первостепенная задача преподавателей – развить у

обучающихся способность критически оценивать информацию и идентифицировать надежные источники (рис. 2).



Рис. 2. Потенциальные риски цифровизации в образовании

Заключение. Анализ сильных и слабых сторон цифровизации образования остается актуальной задачей. Однако, следует признать, что это не просто грядущее явление, а уже существующая реальность, с которой мы вынуждены работать. В долгосрочной перспективе ожидается, что цифровое образование будет формироваться на основе синергии классических и современных методов. Применение искусственного интеллекта, а также технологий виртуальной и дополненной реальности позволит разрабатывать образовательные программы, отличающиеся повышенной привлекательностью и степенью адаптации к потребностям каждого обучающегося.

Важно найти гармоничное сочетание традиционных и современных методов обучения, чтобы максимально раскрыть потенциал каждого участника образовательного пространства и обеспечить качественное образование для будущих поколений.

Список литературы

1. Буданцев Д. В. Цифровизация в сфере образования: обзор российских научных публикаций / Д. В. Буданцев // Молодой ученый. – 2020. – № 27 (317). – С. 120-127.
2. Воробьева И. А. Плюсы и минусы цифровизации в образовании / И. А. Воробьева, А. В. Жукова, К. А. Минакова // Педагогические науки. – 2021. – № 01 (103). – С. 110-118.
3. Хамитов Р. М. Цифровизация образования и ее аспекты // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 3. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30771> (дата обращения: 08.08.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513>.

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Ермоленко Т.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-5701-1956,

Вакуленко Е.Д., ORCID 0009-0000-1973-2322

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

naturewild71@yandex.ru, jelezjz@gmail.com

Введение. Автоматизация обнаружения дефектов компьютерных устройств и компонентов крайне актуальна в связи с растущими требованиями к качеству и надежности вычислительной техники. Основными проблемами являются большое разнообразие видов дефектов, высокая степень визуального сходства между дефектными и исправными областями, а также недостаток размеченных данных для обучения моделей глубокого обучения. Кроме того, при внедрении решений в производство важно соблюсти баланс между точностью обнаружения и вычислительной эффективностью.

Целью работы является обзор современных нейросетевых архитектур, применимых для обнаружения дефектов компьютерной техники, сравнение доступных датасетов, а также выработка рекомендаций по выбору моделей для различных сценариев.

Обзор открытых аннотированных наборов данных для обнаружения и классификации дефектов компьютерной техники. Для обучения и тестирования моделей разработчиками используются открытые датасеты такие как DeepPCB [1], PCB Defects Dataset [1], а также MVTec AD [2] – промышленный набор для обнаружения аномалий.

Набор данных DeepPCB содержит 1500 аннотированных пар изображений эталонное/с дефектом. Дефекты принадлежат шести наиболее распространённым классам: обрыв, короткое замыкание, выступ, вырыв, прокол и островок.

PCB Defects Dataset содержит около 700 уникальных изображений, несколько классов дефектов. Изображения этого датасета как реальные, так и синтетические.

Массив промышленных изображений с разрешением 1024×1024 пикселей, содержащих дефекты различных объектов. MVTec AD – один из наиболее известных и широко используемых аннотированных датасетов для задач обнаружения аномалий в промышленной инспекции. Разработан компанией MVTec Software GmbH и впервые представлен в 2018 году. Для компонентов компьютерной техники релевантны две категории:

- Transistor: 40 дефектных изображений;

- Screw (крепежные элементы): 119 дефектных изображений.

Всего 159 изображений дефектных компонентов, что позволяет использовать MVТес AD для предварительного тестирования моделей на аппаратных дефектах общего характера.

Для задач исключительно обнаружения дефектов РСВ наиболее целесообразно использовать DeepPCB и PCB Defects Dataset. Для более широкого охвата аппаратных дефектов (транзисторы, крепеж) можно дополнять их подборкой соответствующих категорий из MVТес AD.

В случае небольшого набора данных используются методы аугментации, а также техники дообучения предобученных моделей на специфических задачах.

Рекомендуемые виды аугментации:

- повороты и отражения, вариация угла изображения, имитирующие разнообразие положений платы и компонентов при инспекции, помогают повысить устойчивость модели к ориентации объектов и плат;
- изменение масштаба и обрезка учит модель работать с дефектами разного размера и расположения;
- модификация цветового пространства, рандомизация яркости, контраста, насыщенности, а также нанесение цветовых сдвигов и шумов снижает зависимость от условий освещения и качества снимка;
- маскирование, перекрытие и добавление артефактов способствует имитации реальных производственных дефектов, например, потери части дорожки, замыканию и других характерных дефектов;
- искажения перспективы и сдвиги применяется для моделирования изменений угла обзора в реальных условиях автоматической оптической инспекции.

Оптимальные подходы к формированию датасета – это комбинация классических приемов аугментации и генеративных методов (GAN), максимально увеличивающих разнообразие данных. Добавление шумов и артефактов моделирует реальные производственные условия, делая модель более устойчивой к «грязным» данным. Кроме того, использование GAN позволит создавать новые примеры редких дефектов для повышения балансировки классов.

Современные архитектуры нейросетей, используемые для обнаружения дефектов. Доминирующей архитектурой для задач дефектоскопии по изображению являются сверточные нейронные сети (CNN). Классические и более современные структуры (YOLOv5/YOLOv8, Faster R-CNN, SSD, EfficientDet) [1, 3] показывают отличные результаты по задаче детекции дефектов на поверхностях печатных плат, корпусов, экранов и других компонентов техники.

U-Net и SegNet – архитектуры с сегментацией, часто используются для выделения дефектных областей в изображении, особенно если нужно получать пиксельно-точные маски [3].

Легковесные, оптимизированные модели (например, YOLOv8-nano) [1] актуальны для встроенных систем, где ограничены вычислительные ресурсы, при этом сохраняется высокая скорость обработки.

Для компенсации недостатка размеченных данных применяется трансферное обучение: предобученные на крупных отраслевых датасетах (ImageNet, COCO) модели дообучаются на целевых наборах (DeerPCB, PCB Defects). Такой подход позволяет значительно повысить качество детекции при ограниченном объёме специализированных данных и ускорить convergence обучения. Процесс состоит из двух этапов [4]:

1. Заморозка базовых слоёв предобученной сети и обучение только «головы» (слоёв классификации/детекции) на целевом датасете.

2. Поэтапная тонкая настройка весов всех слоёв с пониженным learning rate для адаптации признаков к специфике дефектов компьютерной техники.

Трансферное обучение снижает переобучение и улучшает способность модели выделять характерные признаки дефектов даже при малых выборках.

Заключение. Трансферное обучение в сочетании с продуманной аугментацией и генеративными методами позволяет эффективно решать задачу обнаружения дефектов компьютерной техники при ограниченных ресурсах данных и вычислений. Рекомендуется применять предобученные модели, дообучать их на специфических PCB-датасетах и активно использовать синтетические данные для балансировки классов.

Список литературы

1. Венгеренко, В. В. Обнаружение дефектов печатных плат на основе нейросетевой архитектуры YOLOv8 [Электронный ресурс] / В. В. Венгеренко, А. В. Инютин. – BELAI, 2025. – Режим доступа: <https://belai.by/ru/research/obnaruzhenie-defektov-pechatnyh-plat-na-osnove-nejrosetevoy-arhitektury-yolov8/> (доступ свободный). – Дата обращения: 02.10.2025.
2. Bergmann, P. MVTec AD – A Comprehensive Real-World Dataset for Unsupervised Anomaly Detection [Электронный ресурс] / P. Bergmann, M. Fauser, D. Sattlegger, C. Steger // MVTec Software GmbH. – 2018. – Режим доступа: <https://www.mvtec.com/company/research/datasets/mvtec-ad> (доступ свободный). – Дата обращения: 02.10.2025.
3. Васильев, П. В., Сеничев, А. В. Применение нейросетевых технологий в задаче контроля поверхностных дефектов // Известия высших учебных заведений. Технические науки. – 2020. – № 1. – С. 85–92. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrosetevykh-tehnologiy-v-zadache-kontrolya-poverhnostnykh-defektov> (доступ свободный). – Дата обращения: 02.10.2025.
4. Гош, Б., Бхьян, М. К., Сасмал, П., Ивахори, Ю., Гадде, П. Defect Classification of Printed Circuit Boards based on Transfer Learning [Текст] / B. Ghosh, M. K. Bhuyan, P. Sasmal, Yuji Iwahori, Prathik Gadde // 2018 IEEE Applied Signal Processing Conference (ASPCON). – IEEE, 2018. – С. 245–248. – Режим доступа: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:195774472> (доступ свободный). – Дата обращения: 02.10.2025.

ОБЗОР АННОТИРОВАННЫХ НАБОРОВ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Ермоленко Т.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-5701-1956,

Пасечник Д.Д., ORCID 0009-0003-6372-361X

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

naturewild71@yandex.ru, linkolnace2@gmail.com

Введение. Состояние дорожного полотна является одним из ключевых факторов обеспечения безопасности и эффективности транспортной инфраструктуры. Дефекты автомобильных дорог приводят к увеличению аварийности, затрат на эксплуатацию и уменьшению срока службы дорожного покрытия. С каждым годом растет потребность в автоматизированных системах диагностики, способных своевременно выявлять и классифицировать дефекты на дорожных покрытиях с высокой точностью.

Для обучения и тестирования таких систем критически необходимы качественные наборы данных, включающие разнообразные типы дефектов, различные погодные и освещённые условия, а также примеры «здорового» покрытия. Однако формирование подобных датасетов сопряжено с рядом проблем: трудоемкость ручной разметки, несбалансированное распределение классов (редкие дефекты представлены недостаточно), региональные особенности, низкое разнообразие сцен, сложности аннотирования сложных структур дефектов и неоднородность форматов данных.

В связи с чем формирование аннотированного сбалансированного набора данных для моделей детекции и классификации дефектов дорожного полотна представляет собой актуальную задачу, решение которой позволит повысить качество и устойчивость моделей, сократить количество ложных срабатываний и ошибочных классификаций

Цель работы – сделать обзор современных датасетов для обучения и тестирования моделей обнаружения и классификации дефектов дороги, выделить особенности классов дефектов и их распределение в датасетах, а также дать рекомендации по их применению для обучения и бенчмаркинга моделей.

Обзор открытых аннотированных наборов данных для обнаружения и классификации дефектов дорожного полотна. Открытые датасеты для обнаружения и классификации дефектов дорожного полотна различаются странами съёмки, классами дефектов, видами аннотаций и сенсорами, что позволяет строить модели детекции, сегментации и мультимодального анализа под разные сценарии эксплуатации.

Ключевые классы дефектов, представленные в открытых датасетах: (1) продольная и (2) поперечная трещина, (3) аллигаторная / сетчатая

трещина, (4) яма, (5) латка / ремонт, (6) фон / изображения без дефектов (не всегда явно аннотируется, но часто занимает значительную долю, важен для задания баланса данных и минимизации ложных срабатываний модели).

В таблице приведены формат изображений и распределение 6 ключевых классов дефектов в мультиклассовых датасетах.

Датасет	Формат изображений	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
RDD2022	JPEG/PNG; 512×512 – 712×712; RGB	26 196	11 875	10 617	6 544	5 850	~21 700
RDD2020	JPEG; 600×600 – 720×720; RGB	~11 000	~6 100	~7 350	~3 920	—	~12 000
PaveDistress	JPEG; 3 854×2 065; RGB	781	1 129	651	347	330	1 015
GAPs	JPEG; 1920×1080; RGB	1 800	600	1 475	650	395	~1 500

RDD2020 [1]. Содержит изображения различных дефектов дороги из разных стран, снимки собраны бюджетными смартфонами с бортов автомобиля. Предназначен для построения дешёвых систем мониторинга дорог и оценки трансферной способности моделей между странами.

RDD2022 [1]. Содержит аннотированные изображения дорог с разными разрешениями, что позволяет тестировать масштабируемость моделей.

SHREC 2022 RGB-D трек [2]. Набор пар изображение/маска, содержит изображения с битовыми масками для класса «Яма» и общего класса «Трещина», остальные либо не аннотируются явно, либо классифицируются как «Фон».

PaveDistress [3]. Содержит разнообразие сцен (освещение, загрязнения, погодные эффекты, наличие мусора/пятен), что способствует устойчивости тренируемых моделей к реальным условиям эксплуатации.

GAPs Dataset (German Asphalt Pavement distress dataset) [4]. Содержит цветные снимки с аннотированными боксами для 6 ключевых дефектов.

CrackTree200 [3]. Содержит только общий класс «Трещина» (206 изображений, размер 800×600), без других вариантов дефектов фокусируется на тонких трещинах и их топологии, аннотировано пиксельно и скелетами.

Ключевые особенности распределения классов дефектов:

1. Большинство датасетов имеют выраженный дисбаланс классов: трещины (продольные, поперечные) чаще встречаются, чем ямы, латки и

сетчатые разрушения, что вызывает переобучение на типовых классах и требует целевых аугментаций и техник балансировки классов.

2. В специализированных наборах (CrackTree200) упор сделан на единичные классы: либо яма, либо трещина – для точечной оптимизации моделей под конкретную задачу.

3. В мультиклассовых наборах (RDD, GAPs, PaveDistress) дано много данных с широкой структурой кейсов, что полезно для формирования обобщающей модели, устойчивой к шумам и вариативности дефектов.

Заключение. К классическим датасетам (RDD, SHREC) для обнаружения и классификации дефектов дорожного полотна добавлены современные специализированные выборки: GAPs, CrackTree200 и PaveDistress, которые существенно различаются по размеру, детализации, сценариям и структуре аннотаций. GAPs полезен для крупномасштабной мультиклассовой детекции; CrackTree200 – для точной сегментации, тестирования на малых объёмах и сравнения алгоритмов; PaveDistress – для robust-тренировок в условиях шумов и сложных дефектов.

Это усиливает многообразие и репрезентативность открытых данных, позволяя исследователям выбирать и комбинировать датасеты под целевые задачи для дорожной инфраструктуры.

Для решения задачи детекции необходимо учитывать перекосы по классам, балансировать тренировочную выборку, дополнительно размечать редкие типы дефектов и использовать целевые методы аугментации и генерации синтетических данных.

Список литературы

1. Yu J., Jiang J., Fichera S., Paoletti P., Layzell L., Mehta D., Luo S. Road Surface Defect Detection – A multi-national image dataset for automatic road damage detection (RDD2022). *Geoscience Data Journal*. 2022. Vol. 9, Iss. 2. P. e260. DOI: 10.1002/gdj3.260.
2. Fännndrich G., Giorgetta S., Giunchi D., Luchi M., Marinai S., Marino E., et al. SHREC 2022: Pothole and crack detection in the road pavement using RGB-D data [Электронный ресурс]. arXiv:2205.13326, 25.05.2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2205.13326> (дата обращения: 29.09.2025).
3. Liu C., He Y., Liu S., Li W., Wang W., Qiu S., Huang G., Cheng Y., Xiang W., Ming J. A comprehensive dataset of pavement distresses detection [Электронный ресурс] // *Data in Brief*. 2024. Vol. 65. Article 109734. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924010734> (дата обращения: 30.09.2025).
4. Wang K., Wang J., Li Z., Han Z., Chen Y., Zhou D., Xie X., Wang Y., Qiu S., Liu S. An annotated street view image dataset for automated road surface condition assessment [Электронный ресурс] // *Scientific Data*. 2024. Vol. 11. Article 263. URL: <https://www.nature.com/articles/s41597-024-03263-7> (дата обращения: 30.09.2025).

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАСКИ ТЕКСТА

Ермоленко Т.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-5701-1956,

Яшаров Я.П., ORCID 0009-0004-0270-0630

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

naturewild71@yandex.ru, mr.yaroslav62@mail.ru

Введение. Определение эмоциональной окраски текста (сентимент-анализ) – ключевая задача обработки естественного языка, востребованная в социальных сетях, маркетинге, поддержке клиентов и мониторинге общественных настроений. Постоянный рост текстовых данных делает автоматизацию анализа тональности необходимой для оперативного реагирования и изучения трендов.

Цель работы – провести сравнительный анализ современных методов определения эмоциональной окраски текста, на основе которого разработать рекомендации по выбору подходящих моделей для решения задач сентимент-анализа.

Обзор существующих методов решения задачи сентимент-анализа. Современные методы анализа эмоциональной окраски текста охватывают широкий спектр подходов – от лингвистических правил и словарей до сложных нейросетевых архитектур, включая большие языковые модели (Large Language Model, LLM).

Используемые для определения тональности текста методы подразделяются на следующие группы [1]:

1. Словарные методы [2]. Используют лексические словари с эмоциональными весами слов. Система суммирует оценки: преобладание положительных – текст позитивный, отрицательных – негативный. Дополняется правилами обработки отрицаний, усилителей, стоп-слов и специализированными словарями. Метод простой в реализации, предсказуемый и быстрый, но плохо работает со сложными эмоциями, сарказмом и требует регулярного обновления.

2. Классические методы машинного обучения (Machine Learning, ML) [3, 4]. Простые алгоритмы, такие как логистическая регрессия, SVM и наивный байес, обучаются на размеченных датасетах эмоциональной окраски. Они работают лучше словарных, учитывая контекст, но требуют качественного обучающего материала.

3. Модели глубокого обучения [5-7]. Архитектуры типа LSTM, BERT, RuBERT, DistilBERT, а также большие языковые модели (GPT-3, GPT-4, LLaMA), способны улавливать сложные смысловые и эмоциональные паттерны, работать с сарказмом, контекстуальными и

скрытыми эмоциями. Используются для мультиклассовой классификации, анализа нескольких эмоций и прогнозирования эмоциональных реакций.

4. Гибридные методы. Совмещают словарные и нейросетевые способы для повышения точности, объяснимости и адаптивности к новым текстовым реалиям.

Кроме того, разработаны мультимодальные методы, сочетающие анализ текста с аудио (голос, интонация) и визуальными данными для более полного определения эмоций в коммуникации.

Методы продолжают развиваться благодаря интеграции новых языковых моделей, расширению корпусных данных и усложнению постановки задачи – от бинарной тональности к многоуровневой, личностной и межкультурной интерпретации эмоций.

Сравнительный анализ качества моделей для определения эмоциональной окраски текста. Для оценки качества систем определения эмоциональной окраски текста применяют ряд критериев: классические метрики точности, полноты и F1-меры, интерпретируемость результатов, устойчивость к шуму, способность определять не только полярность, но и тип и интенсивность эмоций, а также обобщаемость модели. Результаты сравнительного анализа по этим критериям моделей различных групп представлены в таблице.

Критерий	LLM	Классические ML/словари
F1-мера	90–92 % в задачах сентимента и эмоций	Обычно 60–80%, бинарные задачи
Интерпретируемость	Ограничена – сложен аудит внутренних решений, но появляются техники визуализации	Высокая – правила и словари прозрачны
Устойчивость к шумам	Высокая – LLM учатся на «живых» данных, лучше интерпретируют форму, сленг, жаргон	Низкая – частые ошибки на опечатках, «новых» словах
Обобщаемость	Высокое качество на новых данных при дообучении на релевантных	Резкое падение точности вне «зоны» словаря
Типы эмоций	Работа с большими наборами: гнев, радость, страх, грусть, ирония	Чаще всего только позитив/негатив/нейтрал
Адаптируемость к языкам	LLM многим языкам обучаются одновременно	Языкоспецифичны, требуют отдельной адаптации

Эмоции часто выражаются имплицитно (сарказм, сравнения, контекст) и требуют глубокого анализа текста. LLM, учитывающие сложные зависимости, контекст и скрытые смыслы, выполняют многоуровневую классификацию эмоций, масштабируются на больших данных, адаптируются к стилям и языкам, поддерживают мультимодальный анализ и обеспечивают

высокую точность, что делает их стандартом анализа эмоциональной окраски.

Выбор подходящей модели. Выбор модели для анализа эмоциональной окраски текста зависит от цели, данных, ресурсов и требований к точности. Простые задачи и задачи, требующие прозрачности, решаются словарными и классическими ML-моделями, сложные и многоуровневые – LLM; при ограниченных ресурсах применяются облегчённые архитектуры (DistilBERT, TinyBERT) или классические методы. При наличии больших размеченных корпусов предпочтительны глубокие нейросети и LLM; при ограниченных данных – предварительно обученные или гибридные модели. При работе с разными языками выбирают модели с поддержкой нужных языков или возможностью дообучения на локальных данных. В условиях шумного текста и сленга лучше работают нейросетевые модели, устойчивые к искажениям.

Заключение. Для быстрого прототипирования целесообразно использовать готовые API с LLM, для крупных проектов – дообучать большие модели с учётом специфики, а при ограниченных ресурсах или требованиях прозрачности – комбинировать словарные методы с лёгкими ML-моделями. Выбор подхода определяется балансом точности, прозрачности, ресурсов и данных, при этом современные LLM дают новые возможности при достаточном финансировании и вычислительной базе.

Список литературы

1. Jassim, M.A., Abd, D.H. Omri, M.N. A survey of sentiment analysis from film critics based on machine learning, lexicon and hybridization. *Neural Comput & Applic* 35, 9437–9461 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08359-6>.
2. Asy Syifaur Roisah Rufaida, Adhistya Erna Permanasari, Noor Akhmad Setiawan. Lexicon-Based Sentiment Analysis Using Inset Dictionary: A Systematic Literature Review // *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Engineering, ICAE 2022/ DOI: 10.4108/eai.5-10-2022.2327474*.
3. Bharti P. K., Kumar P., Sharma M. K., Hassan A. A. and Zaid M. Review of Efficient Methods for Sentiment Analysis of E-Commerce Customer Review using Machine Learning Techniques, 2023 5th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N), Greater Noida, India, 2023, pp. 204-208, doi: 10.1109/ICAC3N60023.2023.10541681.
4. S. Sindhu, S. Kumar and A. Noliya, "A Review on Sentiment Analysis using Machine Learning," 2023 International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA), Uttarakhand, India, 2023, pp. 138-142, DOI: 10.1109/ICIDCA56705.2023.10099665.
5. Shaik Vadla, M.K.; Suresh, M.A.; Viswanathan, V.K. Enhancing Product Design through AI-Driven Sentiment Analysis of Amazon Reviews Using BERT. *Algorithms* 2024, 17, 59. DOI: 10.3390/a17020059.
6. Zengzhi Wang, Qiming Xie, Yi Feng, Zixiang Ding, Zinong Yang, Rui Xia. Is ChatGPT a Good Sentiment Analyzer? A Preliminary Study. // *arXiv preprint arXiv:2304.04339v2*. – 2024.
7. Niu M., Jaiswal M., Provost E. M. From text to emotion: Unveiling the emotion annotation capabilities of llms // *arXiv preprint arXiv:2408.17026*. – 2024.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ЯЗЫКА МОДЕЛИРОВАНИЯ (UML) ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

Загвоздкин В.А., ORCID 0009-0008-2924-9746,

Загвоздкина А.В., ORCID 0009-0000-1703-1266

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»,

г. Москва, РФ

a.v.zagvozdkin@mtuci.ru

Введение. В настоящее время объектно-ориентированный подход к программированию является основным при разработке программных проектов [1]. Изучение современного языка программирования высокого уровня и подготовка специалиста в области информационных технологий немислимы без изучения базовых классических математических дисциплин [2,3,4], а также без понимания студентами принципов объектно-ориентированного программирования. Как правило, на младших курсах ВУЗов для таких студентов ведется обучение структурному (процедурному) программированию на языках высокого уровня. При переходе от программирования на процедурных языках к принципам объектно-ориентированного программирования (ООП), у студентов часто возникают трудности. Использование унифицированного языка моделирования (UML – Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) облегчает процесс обучения студентов и создания ими объектно-ориентированных программ.

Цель работы – предложить методику широкого использования унифицированного языка моделирования при обучении студентов объектно-ориентированному программированию.

Основная часть. Унифицированный язык моделирования (UML) позволяет облегчить процесс программирования, сделать его более эффективным и наглядным и для создания программ, и для того, чтобы разбираться в уже созданных программах. Это универсальный язык, который применяется: при проведении объектно-ориентированной декомпозиции и анализа во время проектирования программного обеспечения и построения моделей для решения задач с объектно-ориентированным подходом. Унифицированный язык моделирования (UML) – попытка ввести использование чертежей (графических представлений) в технологию разработки программного обеспечения. Язык состоит из ряда графических обозначений, с помощью которых представляется описание архитектуры программного обеспечения, т.е. это графический язык, предназначенный, в том числе, для моделирования компьютерных программ, т.е. для наглядной визуальной интерпретации

программ высокоуровневой организации. Наиболее важным средством UML является набор разных диаграмм (классов, объектов, связей, пакетов, состояния и других). Они визуально информируют о содержании каждого типа и отношениях между ними во времени и пространстве. Таким образом, с помощью диаграмм можно легко разработать и иллюстрировать структуру того или иного процесса или задачи.

В отличие от библиотек графических изображений и многочисленных программ рисования, язык содержит ряд правил, в соответствии с которыми создаются графические представления. Именно эти правила делают UML языком моделирования, а не просто набором значков для изображения.

Первой задачей, которую приходится решать в результате анализа предметной области, является определение набора классов, присутствующих в моделируемой системе. Далее на основании связей между сущностями предметной области выясняются зависимости между классами и выделяются основные операции классов. Если несколько классов обладают набором одинаковых операций, то в большинстве случаев целесообразно вынести эти операции в отдельный класс, а исходные классы унаследовать от него. Причем во время дальнейшего моделирования, может изменяться как множество классов, так и их структура. Поэтому в первую очередь студентам практически необходимо знать компоненты UML для описания программных приложений на уровне диаграмм типов (классов и интерфейсов), позволяющих понять механизмы использования средств ООП. Этот вид диаграмм позволяет решить две основные задачи при моделировании проекта (а также его создании или описании): во-первых, определить отдельные сущности предметной области проекта, и, во-вторых, найти существенные зависимости между такими сущностями

Диаграммы классов могут быть полезны не только на этапе анализа и проектирования. Так, несмотря на то, что исходный код наиболее полно описывает программный проект, другим разработчикам часто очень сложно разобраться в нем, особенно если они не принимали участия в его создании. Для тех, кто недостаточно хорошо знает язык программирования, или только изучает его, особенно средства ООП, подобная «документация» (т.е. исходный код) бесполезна. Поэтому необходима система обозначений для документирования созданного проекта, так, чтобы другие могли быстро в нем разобраться. Для этого достаточно видеть лишь общую структуру классов, вдаваясь в подробности их реализации только в случае необходимости. В каком-то смысле, графические отображения ограждают от излишней детализации, так что можно сосредоточиться на осознании общей структуры программного проекта.

Заключение. Изучение и практическое использование средств унифицированного языка моделирования (UML) необходимо при проведении

объектно-ориентированной декомпозиции и анализа во время проектировании программного обеспечения и построения моделей для решения задач с объектно-ориентированным подходом. С помощью UML можно моделировать и использовать диаграммы классов на различных уровнях в зависимости от степени их детализации: концептуальном уровне (диаграммы классов отображают общую концепцию моделируемой системы, т.е. связи между основными понятиями предметной области), логическом (на котором диаграммы классов отображают базовые классы и интерфейсные члены классов предметной области, т.е. связи объектов этих классов, их атрибуты и операции) на уровне реализации, на котором диаграммы классов непосредственно показывают поля, свойства и методы конкретных классов. Такой подход к изучению принципов объектно-ориентированного проектирования и программирования значительно облегчает освоение этих принципов, а также разработку первоначальной структуры проекта. С помощью UML легко иллюстрировать структуру программы: отношения между различными классами, между отдельными объектами и связи между ними, что позволяет разобраться в общей структуре программы, не вдаваясь в детали кода.

Список литературы

1. Загвоздкина А. В. Эффективная методика изучения языка программирования C++ в интегрированной среде Visual Studio .NET / А. В. Загвоздкина, Т. И. Семенова, В. А. Загвоздкин // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. – 2019. – Т. 8. № 4. – С. 42-48. – EDN: RXEBMR.
2. Семенова Т. И. Роль математического образования при подготовке специалиста в области информационных технологий / Т. И. Семенова, А. В. Загвоздкина // Мобильный бизнес. Перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) XLI международной конференции РАЕН. – 2018. – С. 136-138. – EDN: XSXFYD.
3. Волков А. И. К вопросу о подготовке IT-специалистов / А. И. Волков // Современные информационные технологии в управлении и образовании: Сборник научных трудов. В 3-х ч. – М.: ФГУП НИИ «Восход», 2015. – Ч. 3. – С. 37-43.
4. Волков А. И. Базовая подготовка специалистов по IT-направлениям / А. И. Волков, А. Ю. Ермакова // Экономика, статистика и информатика. – Вестник УМО. – 2015. – №6. – С. 115-117. – EDN: VBGZSX.
5. Воробейчиков Л. А. Алгоритмизация и программирование. Учебник для вузов / Л. А. Воробейчиков, А. В. Загвоздкина, В. Н. Шакин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023 – 456 с.

МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ГРУПП ОДНОРОДНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Звягинцева А.В., д-р техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-2218-9230,
Ковалев И.Ю.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
a.zvyagintseva@donnu.ru, ilyakovalev2023@mail.ru

Введение. Современные технологические комплексы в нефтехимии, энергетике и металлургии характеризуются высокой степенью цифровизации и автоматизации [1]. С развитием технологий в области мониторинга стало возможным получать, хранить и обрабатывать огромные объёмы данных о динамике технологического процесса, состоянии основного и вспомогательного оборудования, а также о возникающих ошибках [2]. Чаще всего технологические данные представляются в виде временных рядов [3]. Прямой анализ исходных данных затруднен из-за высокой размерности, наличия шумовых компонент и сложных нелинейных взаимозависимостей. Это создаёт новый уровень сложности, требующий эффективных адаптивных решений при анализе основных взаимосвязей между временными рядами в различных задачах, включая индексацию, обнаружение аномалий, кластеризацию, классификацию и прогнозирование. Традиционные системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) решают задачи визуализации и оперативного контроля, однако их возможности для анализа сложных состояний системы ограничены [4]. В связи с этим эффективное решение данной задачи лежит в области применения методов машинного обучения.

Результаты кластеризации формируют семантическую основу для построения высокоточных адаптивных моделей, что позволяет разложить общую модель на набор параметров, релевантных для каждого устойчивого режима. Автоматическая идентификация и верификация текущего состояния технологического процесса предоставляет оператору понятный контекст и рекомендованные действия, снижая когнитивную нагрузку. Также раннее обнаружение и точная классификация аномальных паттернов, предшествующих отказам, дает возможность принять превентивные меры.

Целью работы является исследование методов интеллектуального анализа данных для кластеризации и классификации состояний сложных технологических систем на основе анализа многомерных временных рядов. Рассматривается задача выделения групп однородных событий (установившихся режимов, переходных процессов, аномалий) как

ключевого этапа для построения систем предиктивной аналитики и поддержки принятия решений.

Основная часть. Процесс анализа представляет собой последовательность этапов, включающую предобработку данных, выделение информативных признаков, кластеризацию / классификацию и последующее использование полученных моделей для прогнозирования.

На *начальном этапе* выполняется предобработка данных. Исходные временные ряды подвергаются процедурам сглаживания, фильтрации и нормализации. Также на этом этапе определяются описательные статистики: сумма, медиана, среднее, длина, стандартное отклонение, дисперсия, максимальное и минимальное значения каждого ряда.

На *следующем этапе* проводится кластерный анализ (обучение без учителя) для разведочного анализа данных с целью обнаружения ранее неизвестных групп событий, часто используются гибридные методы. Например, PCA для редукции размерности, затем DBSCAN для первичного выделения кластеров и аномалий. Результатом кластерного анализа является разметка исторических данных: каждому временному интервалу ставится в соответствие идентификатор класса, который интерпретируется как определенный режим или тип события.

На *третьем этапе* применяются алгоритмы классификации, на основе которых строятся модели для автоматической классификации новых наблюдений в реальном времени. Хорошо себя зарекомендовали деревья решений и ансамбли на их основе, которые обладают высокой интерпретируемостью, устойчивы к шуму и нерелевантным признакам [5]. Перспективным направлением является применение глубокого обучения, в частности, сверточных нейронных сетей (CNN) и сетей с долгой краткосрочной памятью (LSTM), которые позволяют осуществлять классификацию событий непосредственно по исходным временным рядам или их спектрограммам, автоматически извлекая наиболее релевантные признаки [6].

На *последнем этапе* выполняется прогнозирование на основе текущего состояния системы. Выделение однородных групп событий позволяет перейти от построения единой универсальной прогностической модели к созданию ансамбля специализированных моделей, каждая из которых адекватно описывает динамику системы в рамках конкретного режима [7]. Это позволяет не только повысить точность прогноза значений технологических параметров, но и оценивать вероятность перехода системы в другой режим или аварийное состояние.

Анализ и прогнозирование для каждой выделенной группы событий наблюдения значений предполагает определение вероятностных распределений как для отдельных событий временных рядов (события наблюдения значения определенного параметра), так и для совместных сложных событий (события наблюдения совокупности значений

параметров в определенный момент времени). Полученные распределения изучаются на «временную» устойчивость с целью выявления переходных процессов. Для этого оценивается устойчивость уровней временных рядов и устойчивость тенденций этих рядов.

Отличительной особенностью подхода является то, что осуществляется поиск взаимосвязей не только между технологическими динамическими параметрами, но и вероятностями наблюдения этих величин. При этом вероятности оцениваются как для событий наблюдения значений отдельных параметров, так и для совместных событий наблюдения совокупности значений этих величин в определенный момент времени. Построение регрессионных уравнений, характеризующих взаимосвязь вероятностей между различными видами событий, дает возможность создать ансамбль вероятностных моделей для прогнозирования.

Заключение. Таким образом, развитие методов кластеризации и классификации групп однородных событий является критически важным элементом при создании интеллектуальных систем управления следующего поколения. Такие системы будут обеспечивать не только надежность и безопасность эксплуатации оборудования, но и оптимальность технологических процессов по критериям энергоэффективности и качества продукции.

Список литературы

1. Аминов К. А. Цифровая трансформация нефтегазового комплекса как способ повышения эффективности производственных процессов в топливно-энергетическом секторе / К. А. Аминов, Ю. В. Ляндау // Инновации и инвестиции. – 2023. – №1. – С. 258–261.
2. Коровкин В. В. Перспективы цифровой трансформации российского машиностроения / В. В. Коровкин, Г. В. Кузнецова // *Ars Administrandi*. – 2020. – №2. – С. 291–313.
3. Иванова Е. В. Обзор современных систем обработки временных рядов / Е. В. Иванова, М. Л. Цымблер // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2020. – №4. – С. 79–97.
4. Тарасов И. Д. Диспетчерское управление и сбор данных scada / И. Д. Тарасов // *E-Scio*. – 2019. – №12(39). – С. 481–487.
5. Звягинцева А. В. Анализ моделей классификации для распознавания прецедентных событий в технологических процессах добычи нефти и газа / А. В. Звягинцева, И. Ю. Ковалев // Проблемы искусственного интеллекта. – 2025. – №2(37). – С. 66–78. doi:10.24412/2413-7383-2025-2-37-66-78.
6. Захаренко Д. В. Использование нейронных сетей глубокого обучения для классификации токсичных комментариев в социальных сетях / Д. В. Захаренко // Информатика. Экономика. Управление / *Informatics. Economics. Management*. – 2023. – №4. – С. 119–133. doi:10.47813/2782-5280-2023-2-4-0119-0133.
7. Милосердов Д. И. Усовершенствованная система нейросетевого прогнозирования групп временных рядов с непрерывным обучением / Д. И. Милосердов // Информационно-управляющие системы. – 2024. – №1(128). – С. 20–30. doi:10.31799/1684-8853-2024-1-20-30.

ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТОВ РОССИИ

Звягинцева А.В., д-р техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-2218-9230,

Коркишко В.В.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

a.zvyagintseva@donnu.ru, vv.korkishko@mail.ru

Введение. Анализ эффективности деятельности образовательных организаций является актуальной задачей, так как служит основой формирования их рейтингов, направленных на оценку популярности и достижений университетов, а также принятие управленческих решений в системе высшего образования. Сегодня на международном уровне существует пять общепризнанных глобальных рейтингов университетов – ARWU, THE, QS, Web, PRSP, при этом используются различные экспертные модели формирования рейтингов самих учебных заведений, их подразделений и сотрудников [1, 2]. В Российской Федерации широко известны аналогичные рейтинги: Forbes, RAEX, МИА «Россия сегодня», «Интерфакс», «Эксперт РА» и др. [3].

Целью работы является иллюстрация возможности применения методов комплексной оценки деятельности университетов как сложных социальных институтов по совокупности показателей и индикаторов для получения объективных выводов об их состоянии и развитии.

Основная часть. В качестве информационной основы использована находящаяся в открытом доступе база данных мониторинга деятельности организаций высшего образования (ВО) Минобрнауки России [4] в период с 2016 по 2024 годы, охватывающая 1234 организации, в том числе 39 национальных и федеральных университетов по всем субъектам Российской Федерации. В БД [4] для каждой организации представлены общие сведения, сведения по показателям мониторинга эффективности деятельности, результаты мониторинга образовательной организации по направлениям деятельности (образовательная, научно-исследовательская, международная, финансово-экономическая, а также инфраструктура и кадровый состав), роль организации в системе подготовки кадров для региона и др. характеристики. Общий объем представленных данных составляет порядка 4,5 млн. статистических наблюдений. Впервые с 2024 года в базе выставляются данные университетов Донецкой (ДНР) и Луганской (ЛНР) Народных Республик, а также Запорожской и Херсонской областей. Объем данных по новым регионам РФ составляет порядка 8 тыс. (в ДНР – 12 организаций ВО, в ЛНР – 14, в Запорожской области – 2, в Херсонской – 3). Некоторые сравнительные данные по видам деятельности университетов приведены в таблице.

Таблица

Сравнительная характеристика эффективности деятельности университетов России по
данным мониторинга 2024 года

Универси- Пока- затели*	Университеты новых регионов РФ					Университеты РФ		
	ДонНТУ	ДонГУ	МелГУ	ЛГУ им. В. Даля	ДонГТУ	ВГТУ	ВГУ	ДГТУ
1	4 931	14 802	11 876	13 042	4 332	15 835	17 925	30820
2	457	756	256	662	221	797	1 210	1 410
3	63,0	52,9	54,7	53,8	52,5	71,9	74,5	65,3
4	17,7	29,1	47,3	26,0	16,7	19,5	26,9	27,4
5	19,5	17,2	22,9	23,4	25,2	12,8	15,3	13,3
6	3,86	2,18	2,67	1,54	1,88	3,35	3,17	2,65
7	6	0	16	1	0	0	0	25
8	195,54	363,78	198,07	117,65	118,64	382,40	142,31	122,42
9	1 265	25 480	111 802	32 500	26 029	175 426	338 544	636 450
10	1,59	6,79	9,43	1,71	3,19	6,40	9,50	7,53
11	7,07	15,09	11,85	6,16	7,36	6,12	15,11	12,50
12	2 697,9	2 481,2	4 311,0	2 230,6	3 616,2	2 984,6	2 668,3	4 676,0
13	5,21	5,68	0,58	14,13	7,96	27,26	32,95	25,56

* – показатели деятельности университетов: 1) общая численность студентов, чел.; 2) общая численность ППС, чел.; 3) доля ППС, имеющих ученые степени, %; 4) доля ППС моложе 40 лет, %; 5) удельный вес студентов-магистрантов в общей численности обучающихся, %; 6) численность аспирантов на 100 студ., чел.; 7) общая численность докторантов, чел.; 8) число публикаций организации, индексируемых в РИНЦ, на 100 НПП, ед.; 9) общий объем НИОКР, тыс. руб.; 10) удельный вес доходов от НИОКР в общих доходах, %; 11) удельный вес численности НПП без ученой степени – до 30 лет, кандидатов наук – до 35 лет, докторов наук – до 40 лет, в общей численности НПП, %; 12) доходы образовательной организации из всех источников на одного НПП, тыс. руб.; 13) доля доходов из средств от приносящей доход деятельности в доходах по всем видам финансового обеспечения образовательной организации, %

Главные положительные характеристики, отражающие состояние университетов новых регионов России (табл.): 1) контингент студентов соизмерим с контингентом ведущих вузов близрасположенных регионов; 2) высокая доля студентов, обучающихся за счет бюджетных ассигнований; 3) количество публикаций в журналах, индексируемых в РИНЦ, на одного НПП, соизмеримо с соответствующим показателем опорных университетов Воронежской и Ростовской областей.

Главные отрицательные характеристики: 1) практически полное отсутствие внебюджетных доходов, в том числе от НИОКР; 2) крайне низкая доля доходов от оказания платных образовательных услуг; 3) средний возраст ППС значительно выше, чем в среднем по вузам, например, Воронежской области; 4) доля преподавателей с учеными степенями на 5–20% меньше по сравнению с опорными университетами Воронежской и Ростовской областей; 5) мало публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Таким образом, университеты новых регионов уступают университетами Ростовской и Воронежской областей в научной мощи и отличаются выраженной зависимостью от бюджетного финансирования.

Методика анализа данных. Используемая методика комплексной оценки детально изложена в источниках [5, 6]. На начальном этапе осуществляется выбор значимых показателей мониторинга эффективности деятельности университетов России. На основе выбранных показателей составляется массив данных для анализа по соответствующим направлениям деятельности. Каждое статистическое наблюдение рассматривается как простое событие наблюдения значения определенного показателя. Совокупность наблюдения значений нескольких показателей представляется совместным событием. Вероятности всех событий определяются алгоритмически [5, 6]. Это дает возможность количественно оценить состояние объектов анализа и их вероятности непосредственным расчетом. Далее находятся статистические распределения однородных событий в виде уравнений состояния групп объектов на основе применения методов кластерного, корреляционного и регрессионного анализа с использованием пробит-анализа [5, 6]. Уравнения состояния позволяют задать критерии комплексной оценки для многопараметрического ранжирования объектов. На заключительном этапе осуществляются варианты расчетов по определению эффективности деятельности университетов [5, 6].

Заключение. В настоящее время с использованием предложенной методики в Донецком государственном университете разрабатывается веб-ориентированный Доклад о развитии университетов России в 2016–2025 годах. Доклад формируется с учетом рекомендаций Организации экономического сотрудничества и развития, содержит разделы анализа состояния и развития университетов, используемые показатели рейтинга по аспектам деятельности, базу данных показателей, методологию оценки эффективности деятельности и сами результаты комплексной оценки.

Список литературы

1. Уфимский университет науки и технологий. Международные и национальные рейтинги университетов. URL: <https://uust.ru/ratings/reference/russia/> (30.09.25).
2. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Международные рейтинги университетов: практика составления и использования. URL: <https://www.econorus.org/sub.phtml?id=210> (30.09.25).
3. Левинзон С.В., Царькова Н.В. Национальные рейтинги высших учебных заведений мира. Технические науки. Современное состояние: монограф. 2017. – М.: Академия естествознания. – 61 с. URL: <https://monographies.ru/en/book/view?id=748> (30.09.25).
4. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования. МИРЭА. URL: <https://monitoring.miccedu.ru/> (30.09.25).
5. Звягинцева А. В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / А. В. Звягинцева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – 258 с.
6. Звягинцева А. В. Методика событийной оценки и результаты ранжирования стран, регионов и городов по комплексу показателей / А. В. Звягинцева // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11)'2016. – С. 147–184.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОГО 3D-ТУРА В СРЕДЕ PANO2VR

Золотухина И.Т., ORCID 0009-0002-9524-4907,

Егармин П.А., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0008-5397-7321

Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Лесосибирск, РФ
irinalsib888@gmail.com, egarmi@yandex.ru

Введение. Активное развитие технологий виртуальной реальности открывает новые возможности для интерактивного представления пространственных данных, что особенно актуально для образовательных учреждений. В настоящее время на рынке существует ряд программных продуктов для создания виртуальных туров, каждый из которых занимает свою нишу. Задача выбора оптимального инструментария является критически важной для достижения профессионального результата, обеспечивающего полный контроль над финальным продуктом, его дизайном и функциональностью.

Цель статьи: обосновать выбор программного обеспечения Pano2VR для создания виртуальных туров на основе сравнительного анализа с аналогами (KRPano, Panotour), представить и апробировать авторскую методику поэтапной разработки интерактивного 3D-тура для образовательного учреждения, обеспечивающую полный контроль над результатом и его независимость от внешних сервисов.

Основная часть. Прежде чем перейти к методике создания тура важно обосновать выбор программного обеспечения. Анализ функциональных возможностей позволяет выделить три основных подхода.

Высоким профессионализмом и практически неограниченными возможностями кастомизации отличается движок KRPano [1], признанный отраслевым стандартом для сложных проектов. Его основное преимущество — отличная производительность с панорамами сверхвысокого разрешения и глубокая настройка через правку XML-кода. Однако следствием такой мощи является высокий порог вхождения, требующий от разработчика серьезных технических навыков, что значительно удлиняет производственный цикл.

В противоположность ему, облачные сервисы, такие как Panotour [2], предлагают максимально упрощенный подход, ориентированный на скорость создания базового тура с элементарной навигацией через интуитивный интерфейс. Главными недостатками данной методологии являются существенная ограниченность в дизайне и функциональности, а также зависимость итогового продукта от подписки и стабильности работы стороннего сервера, что неприемлемо для долгосрочных и коммерческих проектов.

Выбранное для реализации решение Pano2VR занимает промежуточное положение. Данный продукт сочетает в себе глубину проработки деталей, доступную в KR Pano, с наглядностью и удобством визуального интерфейса [3]. Он предоставляет обширный инструментарий для ручного конструирования сложных навигационных схем и гибкий редактор интерфейса (скинов), позволяющий создавать уникальные элементы управления без написания кода. Ключевым аргументом в его пользу стала способность генерировать автономный пакет файлов в стандарте HTML5, готовый к размещению на любом веб-хостинге, что обеспечивает полную независимость от онлайн-сервисов и полный контроль над результатом.

Процесс создания виртуального тура представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов, реализованных в среде Pano2VR.

На первом этапе исходные цилиндрические панорамы импортируются в проект. Каждое изображение автоматически преобразуется в узловую точку (ноду). При отсутствии геотэгов на импортированных панорамах пространственная привязка осуществляется исключительно средствами программы. Критически важным элементом на данной стадии является предварительное планирование логической структуры тура, а именно определение ключевых точек перехода и маршрутов перемещения между помещениями, что закладывает основу для будущей навигации.

Далее формируется система навигации ручным методом. На данном этапе производится ручная расстановка связующих элементов (hotspots) между нодами. Для каждой точки перехода в свойствах указывается целевая нода и параметры ориентации взгляда пользователя после перехода. Этот метод, несмотря на значительные временные затраты, доказал свою высокую эффективность и необходимость в условиях отсутствия в исходных данных точных координат и наличия множества однотипных помещений, где автоматическая стыковка была бы невозможна. В результате формируется точная сеть переходов, моделирующая реальные маршруты перемещения.

На следующем этапе оптимизируем настройки обзора. Для фокусировки внимания пользователя на ключевых объектах интерьера и обеспечения комфортного уровня погружения производится ограничение углов обзора. В настройках видового окна устанавливаются лимиты по вертикали в диапазоне от -60° до $+60^\circ$. Это позволяет искусственно сузить вертикальный угол обзора, исключив из зоны видимости малозначимые области (потолочные перекрытия, пол со штативом), и сконцентрировать внимание на содержательной части помещения.

Важнейшим компонентом является разработка пользовательского интерфейса. С использованием модуля Skin Editor [4] создается интерфейс, проектируемый с учётом требований эргономики и корпоративного стиля. Разрабатываются и размещаются ключевые элементы управления:

навигационное меню со списком помещений, кнопки управления обзором, индикатор текущего местоположения. Для помещений, требующих дополнительного пояснения (аудитории, лаборатории), создаются информационные точки (info hotspots), которые подготавливаются для последующей интеграции контента.

Завершающей фазой является экспорт проекта в формате HTML5 с предустановленными настройками сжатия [5]. Генерируется автономный пакет файлов (HTML-страница, JavaScript-библиотеки, изображения, медиаресурсы), готовый к размещению на веб-сервере.

Заключение. Описанная методика была успешно применена для создания бета-версии виртуального тура по одному из этажей учебного корпуса. Ключевым результатом стало построение точной и интуитивно понятной навигационной системы ручным методом, что оказалось единственно верным решением для сложных интерьерных пространств без геоанных. Разработанный тур был экспортирован в автономном формате HTML5 и интегрирован в существующую информационную инфраструктуру, а в настоящее время находится в статусе открытой бета-версии и доступен для ознакомления на официальном сайте института (<https://lfsibgu.ru/tour/>). Отработанный процесс служит основой для масштабирования проекта и создания единой навигационной системы по всем корпусам института.

Список литературы

1. KRPano: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://share.google/leHKqfNuRNd8Z5NuY> (дата обращения: 09.09.2025).
2. Плагины для Panotour Pro – Виртуальный тур [Электронный ресурс] // Плагины Panotour. – URL: <https://www.panotourplugin.com/> (дата обращения: 09.09.2025).
3. Dishuk S. Pano2VR 5: обзор возможностей [Электронный ресурс] // Sergey Dishuk. – URL: <https://sergeydishuk.by/pano2vr5-review?ysclid=m8hhecrv3r700920872> (дата обращения: 10.09.2025).
4. Музей виртуальной реальности: новые технологии в искусстве [Электронный ресурс] // NewArt. – URL: <http://www.newart.ru/htm/myzavr/mz250.php> (дата обращения: 10.09.2025).
5. Pano2VR User Guide [Электронный ресурс] // GGNOME Documentation. – URL: <https://gnome.com/doc/pano2vr/guide/> (дата обращения: 11.09.2025).

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ
КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ
ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЛИЧНОСТИ,
ПРЕБЫВАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО СТРЕССА
ВОЕННОГО ВРЕМЕНИ**

Изосимова С.А., ORCID 0000-0002-1521-5579,

Сальников И.С., канд. техн. наук,

Пигуз В.Н., ORCID 0009-0003-3968-3144,

Ивашко К.С., ORCID 0000-0002-0195-2279,

Ковалева К.В. ORCID 0009-0002-8218-1898

ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта»,

г. Донецк, РФ

izosimova.snezhana@mail.ru

НИР «Разработка теоретических основ и компьютерных интеллектуальных технологий диагностирования и безмедикаментозной саморегуляции психоэмоциональных состояний личности», проводимая сотрудниками ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта» в текущем году является актуальным инновационным шагом в сфере компьютерной диагностики психоэмоциональных состояний личности.

Цель исследования – разработка научных основ определения функциональных показателей, новых средств и методов обработки процессов взаимодействия когнитивных дисфункций в динамических системах искусственного интеллекта [1]. Разработка компьютерной интеллектуальной системы управления эмоциональным состоянием личности, включающей методы диагностики экспрессивных проявлений личности и методы безмедикаментозной терапии психоэмоциональных состояний личности. Исследование возможностей вербальной терапии для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности. Регулирование экспрессивных проявлений фундаментальных эмоций на основе создания теоретических основ и обработки экспериментальных данных, необходимых для разработки систем психологической поддержки лиц, пребывающих в условиях хронического стресса военного времени.

Задача исследования – сформировать переход к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении интеллектуальных производственных решений, роботизированных и высокопроизводительных вычислительных систем, новых материалов и химических соединений, результатов обработки больших объемов данных, технологий машинного обучения и искусственного интеллекта.

Методы и приемы – метод исторического и статистического анализа, психодиагностика, психофизиологический сравнительный анализ, методика логотерапии (метод парадоксальной интенции).

Инновационный аспект разрабатываемой интеллектуальной системы заключается в плановом воздействии на языковую составляющую сознания с дальнейшим влиянием на мышление и языковые составляющие – речь и поведение индивидуума в конкретном стрессовом случае. При необходимости дальнейшую терапию проводит специалист.

При стрессовом воздействии, в описанном в монографии В. Самохвалова «Психический мир будущего» эксперименте [3], у человека происходит активация правого полушария и деактивация левого (доминантного) полушария мозга. Далее в процесс вовлекались гипоталамо-гипофизарные и височные области мозга. При этом под воздействием аномально громких звуков (например, взрывы) фиксировались следующие симптомы: «...изменялся порог звукового и обонятельного анализаторов, объективно фиксировалась преходящая амнестическая афазия» [3] (см. табл.). Также, вследствие испытания человеком чрезвычайной стрессовой ситуации, либо приступа боли, глубокой депрессии и т.п., возможно возникновение «синдрома второй жизни». Когда в сознании человека возникает второе «я» со своими привычками, знаниями, умениями и навыками, полностью или частично вытесняя при этом первоначальную личность» [3].

Таблица

Реакция центральной нервной системы человека под воздействием стрессора звукового характера

№ п/п	1	2	3
1	Полушария мозга	Правое	Левое
2	Функции	-	Доминант
3	Состояние	Активация	Деактивация

Суммируя вышесказанное, приходим к следующим выводам: 1) наиболее распространенными последствиями ПТСР являются тревога и страх с последующими в некоторых случаях деперсонализацией и дереализацией; 2) аудиальное воздействие, оказываемое на протяжении определенного времени или периодов, по степени и характеру воздействия на организм человека аналогично психоделическому. Исходя из этого, в интеллектуальную систему диагностирования были введены разделы «Эксперименты», «Арт-терапия» и «Тренажеры», позволяющие не только тестировать, но и освободить психоэмоциональную сторону личности от негатива и чрезмерного эмоционального напряжения. В процессе разработки находится итоговая таблица «Итоги», дающая возможность тестируемому (также наблюдающему его специалисту) в индивидуальном порядке следить за динамикой собственного психоэмоционального состояния и в случае необходимости вносить соответствующие коррективы.

Также в системе присутствуют разделы – «Распознавание эмоций с помощью компьютера», «Музыкотерапия», «Тренажеры» (тест Струпа, тест на запоминание слов и цветовые тесты – рис.).

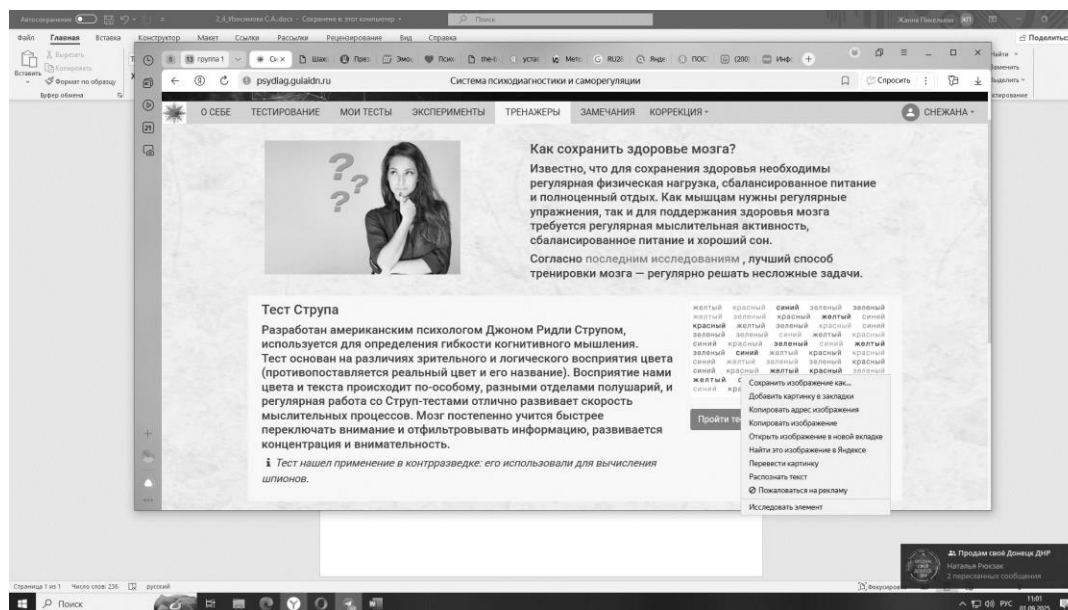


Рис. Окно системы «Тест Струпа»

Прорабатывается раздел «Библиотерапия», включающий примеры интеллектуальной лирики. Для формирования наглядной картины динамики тестирования присутствует раздел «Мои тесты», в котором сохраняются результаты по каждому, пройденному тестируемым, тесту [4]. Что поможет наблюдать психоэмоциональное состояние в динамике и корректировать его как самому тестируемому, так и специалисту.

Список литературы

1. Сальников, И. С. Анализ и систематизация процесса социальной адаптации людей, пострадавших от хронического стресса военного времени [Электронный ресурс] / И. С. Сальников, С. А. Изосимова, В. Н. Пигуз, К. С. Ивашко // Российский научный журнал «Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований». – 2024. – № 2 (14). – С. 6–12. – DOI: 10.24412/1994-3776-2024-2-6-12.
2. Самохвалов, В. Психический мир будущего [Электронный ресурс] / В. Самохвалов. – 400 с. – ISBN 966-572-007-4. – Режим доступа: <https://djvu.online/file/RA0qeFUcU9gar> (дата обращения: 17.02.2025 г.).
3. Кон, И. С. Открытие «Я»: Историко-психологический этюд [Электронный ресурс] // Новый мир. – 1977. – № 8. – С. 176–195. – Режим доступа: http://vivovoco.ibmh.msk.su/VV/PAPERS/ECCE/VV_EH11W.HTM (дата обращения: 27.02.2025 г.).
4. Пигуз, В. Н. Когнитивный аспект исследований стресса военного времени / В. Н. Пигуз, К. С. Ивашко, С. А. Изосимова // Проблемы искусственного интеллекта. – 2024. – № 3 (34). – С. 86–101. – ISSN 2413-7383. – DOI 10.24412/2413-7383-2024-3-88-101

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО TELEGRAM-БОТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ PYTHON И AIOGRAM

Калько А.И., ORCID 0000-0002-4578-8327, Прокопович М.В.

УО «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, РБ

lexa170594@mail.ru

Введение. Современные предприятия, особенно в сфере услуг и розничной торговли, активно используют мессенджеры как ключевой канал коммуникации с клиентами. Telegram, благодаря своей популярности и открытому API, представляет собой перспективную платформу для построения автоматизированных систем обслуживания и продвижения. Однако управление корпоративным каналом, включая рассылку новостей, сбор отзывов и модерацию комментариев, часто осуществляется вручную, что является трудоемким и малоэффективным процессом. Существующие готовые решения зачастую не обладают необходимой гибкостью и требуют значительных затрат на адаптацию под специфику конкретного бизнеса [1, 2].

Целью данной работы является проектирование специализированного Telegram-бота, позволяющего автоматизировать ключевые процессы взаимодействия с клиентами через корпоративный канал. В задачи исследования входило: обоснование выбора технологий, проектирование архитектуры системы, проектирование программного обеспечения, а также его последующая разработка.

Основная часть. В статье рассматривается процесс разработки программного обеспечения для автоматизации управления корпоративным Telegram-каналом и взаимодействия с клиентами. Предложено решение в виде многофункционального Telegram-бота, реализующего функции сбора обратной связи, рассылки акций, модерации контента и анализа статистики. В основе решения лежит клиент-серверная архитектура с использованием асинхронного фреймворка aiogram для Python и легковесной СУБД SQLite. Приведено обоснование выбора стека технологий, описана архитектура системы с использованием UML-диаграмм (вариантов использования, последовательностей, активностей), детализирована структура базы данных.

Логика работы системы была формализована с помощью UML-диаграмм. Диаграмма вариантов использования (Use Case), представленная на рисунке, определяет основные сценарии взаимодействия акторов (пользователь, администратор) с системой: доступ к каналу, оставление отзыва, задавание вопроса, управление рассылками, модерация чата, просмотр статистики.

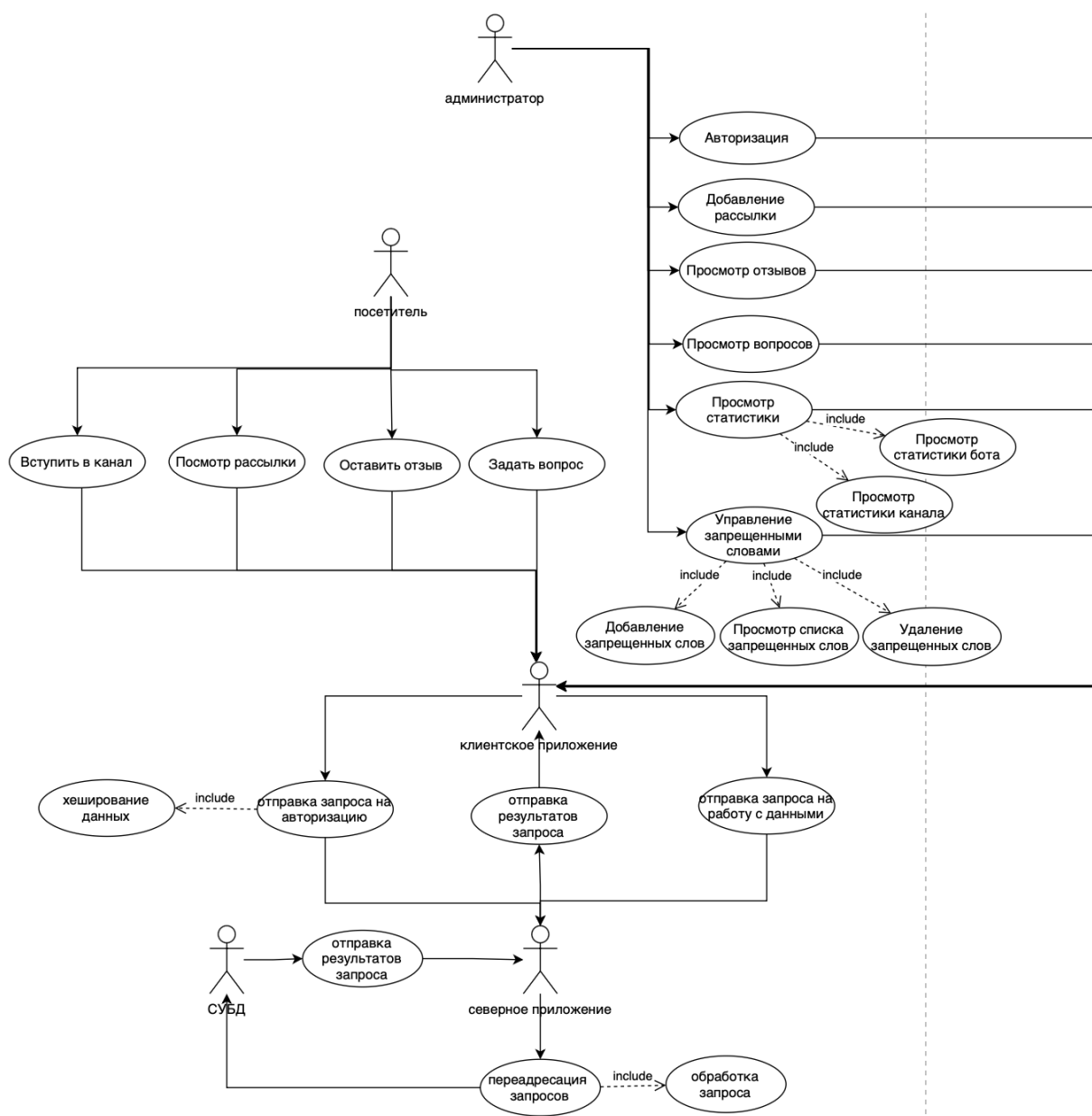


Рис. Диаграмма вариантов использования

Важным преимуществом предложенного решения является его модульная архитектура, которая позволяет легко расширять функционал. Например, возможна интеграция с внешними CRM-системами или добавление новых аналитических отчетов.

Заключение. Спроектированное программное обеспечение представляет собой предполагаемое решение для автоматизации управления корпоративным Telegram-каналом. Использование UML на этапе проектирования обеспечило четкое структурирование требований и логики работы.

Перспективы дальнейшего развития проекта видятся в разработке функционала Telegram-бота с последующим внедрением проекта на предприятии.

Список литературы

1. Калько, А. И. Разработка системы мониторинга качества воздуха с использованием Arduino / А. И. Калько, К. Ю. Матусевич, М. В. Прокопович // Наука – практике: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 19 мая 2023 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи : БарГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 205–206.
2. Калько, А. И. Создание приложения «Фоторобот» с применением объектно-ориентированного подхода / А. И. Калько, М. В. Прокопович // Наука – практике: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 19 мая 2023 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи: БарГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 206–207.
3. Бобко, М. И. Сетевая архитектура распознавания образов для определения людей с лишним весом / М. И. Бобко, А. И. Калько // Инновации. Интеллект. Культура: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 435-летию основания г. Тобольска, году Даниила Чулкова в г. Тобольске, Тобольск, 22 апреля 2022 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 138-141. – EDN VCLSMB.
4. Калько, А. И. Инновационное программное средство для прогнозирования социально-экономического развития регионов / А. И. Калько // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: Сборник статей VI Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Минск, 06–08 декабря 2023 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2023. – С. 166-170. – EDN YPWMCA.
5. Калько, А. И. Проектирование клиент-серверного приложения для идентификации человека по изображению его почерка с содержанием элементов и средств защиты информации / А. И. Калько, О. И. Наранович // Интеллектуальная энергетика: Сборник трудов I Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 21–23 ноября 2023 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 60-64. – EDN OPLOLZ.

УДК 378.147

ЦИФРОВАЯ ЭКОСИСТЕМА СОВРЕМЕННОГО ВУЗА: ОТ LMS ДО ИНТЕГРАЦИИ С ВНЕШНИМИ СЕРВИСАМИ

Короткая А.А., ORCID 0009-0009-2408-1398

Бендерский политехнический институт ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», г. Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика
corotcaia-al@mail.ru

Введение. Современные образовательные учреждения функционируют в условиях стремительной цифровой трансформации, затрагивающей все сферы деятельности – от организации учебного процесса до взаимодействия с внешними партнёрами. Если на начальном этапе цифровизация сводилась к использованию отдельных сервисов (электронная почта, онлайн-тестирование, облачные хранилища), то в настоящее время

всё более актуальным становится создание целостных цифровых экосистем, объединяющих различные инструменты в единую систему.

Ключевую роль в этих процессах играют системы управления обучением (Learning Management System, LMS), которые изначально выполняли функцию электронных платформ для размещения учебных материалов, но постепенно превратились в ядро интегрированной цифровой среды вуза. На базе LMS осуществляется подключение сервисов видеоконференций, облачных технологий, интерактивных приложений, аналитических инструментов и внешних образовательных ресурсов.

Цель данной статьи – комплексно рассмотреть структуру цифровой экосистемы современного вуза, определить её ключевые компоненты, обозначить риски и перспективы развития.

Понятие «экосистема» в цифровом контексте подразумевает совокупность взаимосвязанных платформ, сервисов и приложений, которые функционируют как единое целое и поддерживают основные процессы жизнедеятельности организации. В образовании цифровая экосистема обеспечивает интеграцию учебных, научных, административных и воспитательных функций.

В отличие от фрагментарного использования цифровых технологий, экосистемный подход предполагает:

- единую точку входа для пользователей;
- взаимосвязанность компонентов;
- масштабируемость и адаптивность системы;
- возможность персонализации образовательного опыта.

Интеграция внешних сервисов: возможности и практика. LMS (Moodle, Canvas, Blackboard, Google Classroom и др.) являются центральным элементом цифровой инфраструктуры образовательного учреждения. Их ключевые функции включают: размещение учебных материалов, администрирование курсов, контроль знаний и электронный документооборот, коммуникацию преподавателей и студентов.

Современные LMS развиваются в сторону интеграции: они поддерживают внешние плагины, API и LTI-протоколы, что позволяет подключать сторонние сервисы. Благодаря этому LMS превращается из замкнутой системы в «шлюз» к широкому спектру цифровых возможностей.

Одним из ключевых направлений является интеграция облачных сервисов, таких как **Google Workspace for Education**, **Microsoft 365 Education** и **Яндекс 360 для образования**. Эти платформы предоставляют доступ к инструментам для совместной работы (Google Docs, OneDrive, Teams, Яндекс.Диск), что значительно расширяет возможности коллективной проектной деятельности. Например, использование Microsoft Teams позволяет объединять учебные курсы с системой управления заданиями, чатами и видеоконференциями, обеспечивая единую среду взаимодействия.

Подключение к международным электронным библиотекам и базам данных (**Scopus, Web of Science, eLIBRARY.ru, SpringerLink, IEEE Xplore**) обеспечивает студентам и преподавателям возможность работы с актуальной научной информацией. В университете ПМР реализована связка LMS и библиотечных сервисов, что позволяет автоматически проверять корректность ссылок, отслеживать использование научных источников и формировать цифровой портфолио обучающихся.

Современные экосистемы активно используют внешние решения для тестирования и анализа данных об успеваемости. Например, подключение систем **ProctorEdu, Examus, Respondus** обеспечивает автоматизированный прокторинг экзаменов. Аналитические сервисы, интегрированные с LMS, позволяют формировать персонализированные траектории обучения: система на основе собранных данных предлагает студенту дополнительные материалы, рекомендует онлайн-курсы и оценивает его прогресс в сравнении с однокурсниками.

Практика интеграции внешних сервисов демонстрирует, что современный вуз формирует не замкнутую систему, а **открытую цифровую экосистему**, в которой учебный процесс органично соединяется с глобальными информационными ресурсами, инструментами анализа и профессиональными сервисами. Это создает предпосылки для повышения качества образования, расширения образовательных траекторий студентов и усиления конкурентоспособности вуза в условиях цифровой трансформации.

Кроме того, цифровая экосистема способствует развитию компетенций XXI века: критического мышления, коллаборации, цифровой грамотности и умения работать с большими массивами информации.

Риски и вызовы внедрения. Несмотря на значительный потенциал, формирование цифровой экосистемы сопряжено с рядом проблем: несовместимость разных платформ и сервисов, высокие затраты на внедрение и поддержку, необходимость повышения цифровой компетентности педагогов, угрозы информационной безопасности и защите персональных данных.

Для преодоления этих вызовов вузам необходимо разрабатывать институциональные стратегии цифровизации, включающие обучение кадров, нормативное регулирование и развитие цифровой инфраструктуры.

Перспективы развития цифровых экосистем вузов. В ближайшие годы цифровые экосистемы будут развиваться в следующих направлениях:

1. внедрение искусственного интеллекта для персонализации обучения;
2. развитие виртуальной и дополненной реальности для практико-ориентированного обучения;
3. формирование единого образовательного пространства, объединяющего обучение, научную деятельность и карьерное сопровождение;
4. усиление взаимодействия между вузами и внешними образовательными платформами.

В перспективе, экосистемный подход будет определять стратегию развития образования в условиях цифровой экономики.

Заключение. Цифровая экосистема современного вуза представляет собой комплексную среду, ядром которой выступает LMS, а функциональное наполнение обеспечивается интеграцией внешних сервисов. Экосистемный подход позволяет не только повысить эффективность образовательного процесса, но и создать условия для персонализации обучения, развития цифровых компетенций и подготовки специалистов нового поколения.

Список литературы

1. Андреева, Н. В. Цифровая трансформация образования: вызовы и перспективы / Н. В. Андреева // Вестник образования. – 2023. – №2. – С. 15–22.
2. Băltescu, C. Digital Ecosystems in Higher Education: From LMS to Learning Analytics / C. Băltescu. – Bucharest: Springer, 2022. – 210 p.
3. Siemens, G. Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education / G. Siemens, P. Long // EDUCAUSE Review. – 2011. – Vol. 46 (5). – P. 30–40.
4. Вербицкий, А. А. Цифровая образовательная среда: педагогические риски и перспективы / А. А. Вербицкий // Педагогика. – 2022. – №7. – С. 22–28.
5. Карпов, А. В. LMS и их роль в формировании цифровой образовательной среды / А. В. Карпов, М. Е. Сафронова // Вестник высшей школы. – 2021. – №4. – С. 56–63.

УДК 004.7:004.855.5

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МОШЕННИЧЕСТВА В СЕТЯХ

Котенко В.Н., ORCID 0009-0006-3867-1645,

Демко Е.Ю., ORCID 0009-0009-3660-5750

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
kotenko1967@mail.ru, demko.eliza@gmail.com

Введение. В современном мире обеспечение безопасности сетей становится одним из приоритетных направлений исследований. Каждый год мошеннические схемы эволюционируют, что требует разработки новых методов и алгоритмов для их своевременного обнаружения и предотвращения. Машинное обучение, благодаря своей способности выявлять скрытые закономерности в больших объемах данных, является самым перспективным инструментом в борьбе с мошенничеством в сетях.

Актуальность разработки алгоритмов машинного обучения для обнаружения мошенничества в сетях объясняется несколькими важными причинами. В современном мире количество киберугроз постоянно растёт, и злоумышленники используют всё более сложные и умные методы для

взлома и обмана пользователей. Традиционные способы защиты, основанные на заранее заданных правилах, уже не справляются с новыми и неизвестными видами мошенничества. Кроме того, объем передаваемых данных в сетях увеличивается очень быстро, и вручную отслеживать подозрительную активность становится невозможно. Алгоритмы машинного обучения позволяют автоматизировать процесс анализа данных, выявлять скрытые закономерности и быстро реагировать на потенциальные угрозы. Это особенно важно, потому что такие алгоритмы могут адаптироваться и учиться на новых данных, обнаруживая даже те атаки, которые ранее не встречались. Кроме того, развитие современных вычислительных технологий делает возможным использование сложных моделей машинного обучения в реальном времени.

Целью работы является разработка алгоритмов машинного обучения для обнаружения мошенничества в сетевых данных, что позволит повысить эффективность систем безопасности и снизить финансовые потери. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) провести обзор и анализ современных методов обнаружения мошенничества в сетях с использованием алгоритмов машинного обучения;
- 2) исследовать особенности и проблемы обработки сетевых данных в контексте выявления мошеннической активности;
- 3) разработать и реализовать алгоритмы машинного обучения, адаптированные для детектирования аномалий и мошеннических схем;
- 4) провести экспериментальную оценку разработанных методов на реальных данных и сравнить их с существующими решениями;
- 5) выработать рекомендации по интеграции предложенных алгоритмов в существующие системы безопасности.

Основная часть. Для разработки алгоритмов обнаружения мошенничества с помощью глубокого обучения был собран большой объем данных о сетевой активности, – записи о соединениях, передаваемых данных, логах работы приложений и другой сетевой активности. Данные содержат большой объем информации, помогающей понять, как именно происходит обмен данными и какие действия выполняют пользователи или устройства в сети. Эти данные могут включать такие параметры, как IP-адреса отправителя и получателя, время начала и окончания соединения, объем переданных данных, используемые протоколы, количество и частоту запросов, коды ошибок и другие технические показатели. При помощи этих параметров можно выявлять закономерности и аномалии, характерные для мошеннической активности [1]. Например, резкое увеличение объема передаваемых данных, частые попытки подключения к разным адресам, необычные временные интервалы между запросами или нестандартные последовательности

действий могут указывать на подозрительную активность. При разработке алгоритмов машинного обучения, эти данные проходят этап предварительной обработки: очистка от лишнего шума, нормализация, а также преобразование в удобный для анализа формат, – вектор признаков. На основе этих признаков нейросеть обучается распознавать закономерности, характерные для нормального и мошеннического поведения. В процессе обучения нейросеть настраивает свои параметры так, чтобы максимально точно отличать обычный трафик от подозрительного. После завершения обучения алгоритм способен автоматически анализировать новые данные и выявлять мошеннические действия, даже если они ранее не встречались.

Для решения задачи обнаружения мошенничества в сетевых структурах предполагается использование совокупности методов машинного обучения, сочетающих классические алгоритмы и современные нейросетевые подходы. Выбор обусловлен спецификой предметной области: мошенническая активность носит скрытый и динамически изменяющийся характер, при этом данные, фиксирующие сетевые события, характеризуются высокой размерностью, неоднородностью и значительным дисбалансом классов, когда доля подозрительных транзакций существенно ниже по сравнению с нормальными. В рамках исследования целесообразно применять методы классификации, позволяющие формировать модели, разделяющие нормальные и мошеннические действия. Простые статистические подходы, такие как логистическая регрессия, обеспечивают интерпретируемость получаемых результатов и могут быть использованы для построения базовых моделей. Более сложные ансамблевые алгоритмы, в частности «случайный лес» и градиентный бустинг, позволяют повысить точность распознавания за счёт комбинации множества слабых классификаторов и адаптации к сложным закономерностям в данных [2]. Важным направлением являются методы обнаружения аномалий, позволяющие фиксировать нетипичные проявления поведения в сетевом трафике, даже если подобных случаев ранее не наблюдалось. Для этого планируется использовать как алгоритмы, основанные на статистическом выделении выбросов, так и модели на базе нейросетевых автоэнкодеров, обучающихся восстанавливать нормальные паттерны взаимодействий и фиксирующих отклонения как потенциальные признаки мошенничества. Рекуррентные архитектуры, такие как LSTM и GRU, позволяют анализировать последовательности событий и выявлять подозрительные цепочки действий во временных рядах. В свою очередь, графовые нейронные сети открывают возможность моделировать сетевые взаимодействия в виде графа, где мошенническая активность проявляется через аномальные связи и нетипичные структуры взаимодействий между узлами. Поскольку задача существенно усложняется сильным дисбалансом классов, особое внимание уделяется корректной подготовке данных и выбору метрик качества. Для

повышения устойчивости обучения предполагается использование методов искусственного увеличения числа примеров редкого класса, таких как генеративные техники, а также применение специализированных функций потерь, чувствительных к несбалансированным выборкам.

Разработка алгоритмов для обнаружения мошенничества в сетях основывается на комплексном подходе, сочетающем интерпретируемые статистические модели, мощные методы ансамблирования, алгоритмы выявления аномалий и современные нейросетевые технологии. Такое сочетание позволит не только эффективно распознавать известные сценарии злоупотреблений, но и выявлять новые, ранее не встречавшиеся формы мошеннической активности, что делает разрабатываемые решения устойчивыми и адаптивными к изменяющейся среде угроз.

В **заключении** стоит отметить, что, использование информации о сетевых соединениях и активности в совокупности с методами глубокого обучения позволяет сформировать эффективную систему, обеспечивающую своевременное выявление и предотвращение мошеннических действий в компьютерных сетях.

Список литературы

1. Ключев Д. С. Анализ возможностей искусственного интеллекта для расследования мошенничества / Д. С. Ключев, А. Б. Смушкин, Ю. В. Соколова, С. Е. Платонов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 116–122.
2. Tuskov A. A. Обнаружение мошенничества с кредитными картами с помощью машинного обучения: экспериментальный подход / A. A. Tuskov, E. V. Shchanina и др. // Наука Красноярья: экономический журнал. – 2022. – № 11–3. – С. 17–28.

УДК 004.056

ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОЛЯМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Котенко В.Н., ORCID 0009-0006-3867-1645,

Коваль Г.Д., ORCID 0009-0005-2811-2703

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

kotenko1967@mail.ru, koval.gk@yandex.ru

Введение. В современном цифровом пространстве практически каждый пользователь взаимодействует с множеством веб-сайтов и онлайн-сервисов, каждое из которых требует создания учетной записи и пароля для аутентификации. Такое обилие цифровых идентификаторов ставит перед пользователями сложную задачу: необходимость запоминать или надежно

хранить десятки, а иногда и сотни уникальных и сложных паролей [1]. К сожалению, попытки упростить эту задачу часто приводят к небезопасным практикам, таким как повторное использование паролей, выбор легко угадываемых комбинаций или хранение учетных данных в незащищенных файлах, что создает серьезные риски утечки данных [2].

Анализ существующих подходов выявляет три основные категории: встроенные в браузер менеджеры, облачные сервисы и локальные приложения. Браузерные решения удобны, но их безопасность привязана к безопасности самого браузера и учетной записи в нем. Облачные сервисы обеспечивают синхронизацию между устройствами, но требуют от пользователя доверия к сторонней компании, чьи централизованные серверы могут стать привлекательной целью для хакеров. Локальные приложения предлагают максимальный уровень контроля и безопасности, однако зачастую обладают высоким порогом вхождения из-за сложного интерфейса или необходимости ручной настройки синхронизации файлов [3].

Актуальность разработки инновационной системы обусловлена наличием свободной ниши для локального менеджера паролей, преимуществами которого являются бесплатность, открытый исходный код и сочетание надежности хранения данных под полным контролем пользователя (по аналогии с KeePass, – программного обеспечения с открытым исходным кодом для безопасного хранения и управления паролями, которое позволяет создавать зашифрованную базу данных, где логины и пароли защищены современными алгоритмами шифрования (AES-256, ChaCha20 и Twofish). Такой подход устраняет барьеры доверия к сторонним сервисам и высокий порог вхождения существующих решений, делая инструменты цифровой безопасности более доступными для широкого круга пользователей.

Целью является проектирование и разработка настольного приложения для безопасного управления паролями, направленного на повышение цифровой безопасности пользователя. В рамках реализации данной цели создается система, позволяющая надёжно хранить учетные данные, такие как логины, пароли и заметки, в локальном зашифрованном хранилище, полностью контролируемом пользователем, с использованием сильного мастер-пароля и современных алгоритмов выработки ключа (KDF).

Основная часть. В ходе выполнения проекта был проведен анализ предметной области и существующих решений, на основе чего была создана инновационная система с современным и интуитивно понятным графическим интерфейсом. Основной экран системы, демонстрирующий список сохраненных записей и элементы управления, показан на рис.

В качестве технологического стека были выбраны: язык программирования Python 3.12 за его кроссплатформенность и богатую экосистему; фреймворк NiceGUI для построения современного и визуально привлекательного пользовательского интерфейса; интегрированная среда разработки PyCharm.

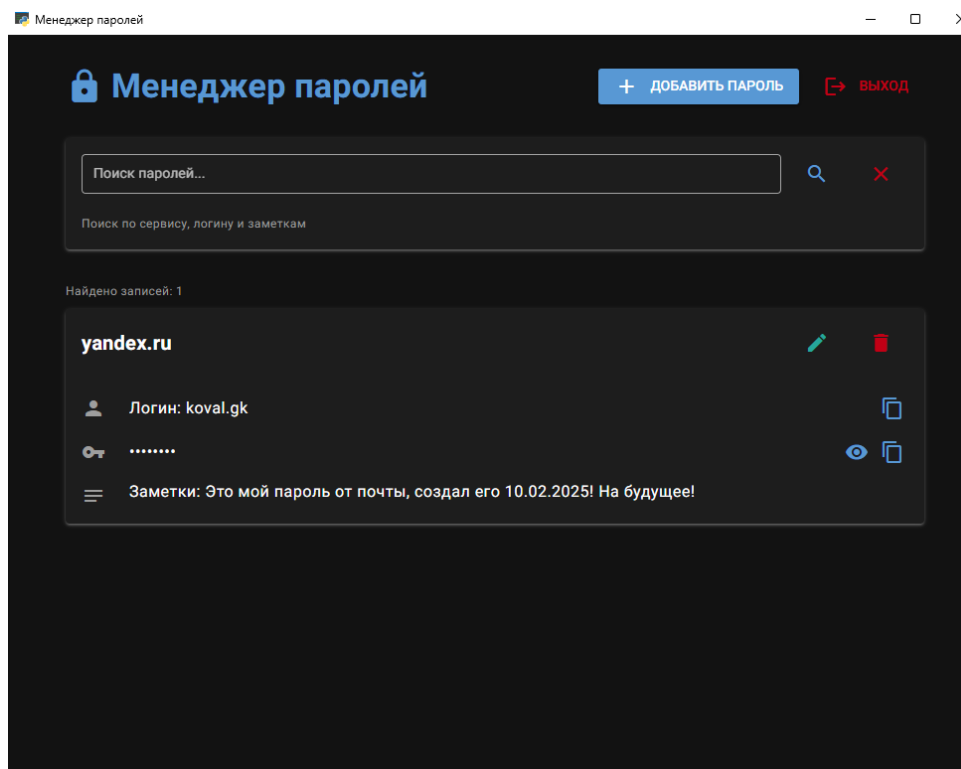


Рис. Основной экран приложения с добавленной записью

Критически важным аспектом приложения является безопасность, реализованная с помощью проверенной библиотеки `cryptography`. Процесс защиты данных включает несколько ключевых этапов. Во-первых, для преобразования запоминаемого пользователем мастер-пароля в стойкий криптографический ключ и защиты от атак перебора (брутфорс) применяется алгоритм PBKDF2HMAC. Он использует хеш-функцию SHA-256, 100 000 итераций и уникальную 16-байтную криптографическую соль для каждого хранилища. Высокое число итераций делает подбор мастер-пароля вычислительно чрезвычайно затратным, а соль гарантирует, что даже одинаковые пароли в разных хранилищах будут приводить к разным ключам шифрования, что защищает от атак по радужным таблицам. Во-вторых, непосредственное шифрование данных (списка паролей, сериализованного в JSON) выполняется с помощью симметричного алгоритма Fernet. Он представляет собой высокоуровневую реализацию AES-128 в режиме CBC (Cipher Block Chaining) для обеспечения конфиденциальности, а также включает проверку целостности и аутентичности данных через HMAC с SHA256. Это защищает не только от прочтения, но и от незаметного изменения зашифрованных данных. Вся информация, включая соль (salt), хеш мастер-пароля (password_hash для быстрой проверки корректности ввода) и основной зашифрованный блок данных (data), хранится локально в едином файле формата .json.

Приложение предоставляет пользователю полный набор операций для управления записями (CRUD), включая добавление, редактирование и

удаление, а также функции быстрого поиска по содержимому и безопасного копирования логина или пароля в системный буфер обмена.

Заключение. Следует подчеркнуть, что разработанная система является полноценным и безопасным инструментом для управления паролями. Она предоставляет пользователю полный контроль над своими данными благодаря локальному хранению, а применение проверенных временем криптографических алгоритмов и практик обеспечивает высокий уровень защиты от несанкционированного доступа. Будучи бесплатным решением с открытым исходным кодом, инновационная система способствует формированию у пользователей более ответственного подхода к защите персональной информации.

Список литературы

1. Пугач, А. А. Микросервисы в системе дистанционной подачи документов в вуз / А. А. Пугач, В. И. Бондаренко, В. В. Бондаренко // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции, Донецк, 17–18 ноября 2020 года / Под общей редакцией С. В. Беспаловой. Том 1. Часть 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2020. – С. 274-277. – EDN EQKJFV.
2. Четверть россиян не уверены в безопасности созданных ими паролей. – Текст : электронный // Kaspersky: официальный сайт. – URL: <https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/chetvert-rossiyan-ne-uvereny-v-bezopasnosti-sozdannyh-imi-parolej> (дата обращения: 07.09.2025).
3. Управление паролями: что это такое, системы и программные решения // Сайт RT-Solar. URL: https://rt-solar.ru/products/solar_inrights/blog/4814/ (дата обращения: 07.09.2025)

УДК 004.415.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЁТА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ АБИТУРИЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ВУЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ

Котенко В.Н., ORCID 0009-0006-3867-1645,

Королёв А.В., ORCID 0009-0003-7235-203X

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
kotenko1967@mail.ru, badron.korol@mail.ru

Введение. В современных условиях высшие учебные заведения ежегодно обрабатывают значительные объемы данных о поступающих абитуриентах. Эффективное управление этой информацией является критически важным для успешной работы приемных комиссий и кафедр университетов.

Основные проблемы современных решений включают: сложность интерфейса, избыточность функционала, недостаточную специализацию для потребностей конкретных кафедр, отсутствие эффективных аналитических инструментов. Многие кафедры продолжают использовать устаревшие методы работы с данными, включая ручной ввод информации в электронные таблицы или неспециализированные базы данных, что приводит к снижению эффективности работы и увеличению вероятности ошибок.

Для формирования единой интегрированной информационной среды вуза модуль «Приемная комиссия» является одним из главных во всей системе, – именно из него вуз первоначально получает максимальный объем информации о поступающих студентах. Для проектирования информационной системы, решающей задачу автоматизации, необходимо составить ее концептуальное описание [1].

В процессе реализации проекта системы учёта и обработки информации абитуриентов решаются следующие задачи:

- 1) анализ предметной области и выявление требований к системе;
- 2) проектирование структуры базы данных для хранения информации об абитуриентах;
- 3) разработка алгоритмов фильтрации и поиска данных;
- 4) создание интуитивно понятного пользовательского интерфейса;
- 5) реализация функций импорта и экспорта данных.

Актуальность разработки системы учёта и обработки информации абитуриентов обусловлена значительным увеличением количества поступающих в высшие учебные заведения за последние годы. Современные кафедры вузов ежегодно обрабатывают огромные массивы данных, связанных с приемной кампанией, что требует эффективных инструментов для их управления и анализа. Особенно актуальной эта проблема становится в период активной фазы приема документов, когда необходимо оперативно обрабатывать значительные объемы информации об абитуриентах.

Существующие коммерческие решения часто характеризуются высокой стоимостью и сложностью адаптации под специфические потребности отдельных кафедр. Разработка специализированного приложения позволяет создать инструмент, максимально адаптированный под конкретные задачи образовательного учреждения, с возможностью дальнейшего развития и модификации функциональности.

Цель данной работы заключается в проектировании и разработке Windows-приложения на языке программирования Python для контроля и обработки данных абитуриентов кафедры, которое обеспечит эффективное хранение и управление информацией об абитуриентах, автоматизацию формирования рейтинговых списков и отчетов, а также предоставит инструменты для анализа и визуализации данных о поступающих.

Результат. В результате исследования была спроектирована и реализована система учёта и обработки информации абитуриентов с использованием современных методов фильтрации данных.

Архитектура системы построена на принципах объектно-ориентированного программирования и включает следующие компоненты:

1) модель данных, – включает классы для представления абитуриента, персональных данных, контактной информации, образовательной истории, деталей заявления и дополнительной информации;

2) система интерфейсов, – реализованы интерфейсы для стандартизированного доступа к данным;

3) реестр абитуриентов, – обеспечивает централизованное управление списком абитуриентов с возможностями фильтрации, поиска и сортировки;

4) пользовательский интерфейс, – включает главную форму с таблицей абитуриентов (рис. 1), формы добавления и редактирования данных (рис. 2), а также специализированные формы для фильтрации и экспорта информации.

Номер	ФИО	Код	Рейтинг	Льгота	Оригинал	Город	Обан
1	Иванова Мария Сергеевна	12346	286.5	Многостатная	Да	Краснодар	Н
2	Петров Илья Андреевич	12347	287.3	Нет	Да	Волгоград	Д
3	Смирнова Дарья Павловна	12348	286.0	Отличник	Нет	Ростов-на-Дону	Н
4	Кузнецов Артем Дмитриевич	12349	285.8	Имвлад	Да	Татарстан	Д
5	Волкова Екатерина Олеговна	12350	284.1	Нет	Да	Алтай	Н
6	Сидоров Никита Игоревич	12351	283.9	Отличник	Нет	Ростов-на-Дону	Д
7	Григорьев Максим Алексеевич	12353	291.5	Многостатная	Да	Новосибирск	Н
8	Сергеева Татьяна Владимировна	12354	280.2	Нет	Да	Ростов-на-Дону	Д
9	Орлов Денис Игоревич	12355	288.8	Имвлад	Да	Челябинск	Н
10	Королев Алексей Владимирович	09.03.01	300.0	Отличник	Да	Москва	Н

Рис. 1. Главное окно системы

Рис. 2. Форма добавления и редактирования

Особое внимание уделено реализации эффективных алгоритмов фильтрации, позволяющих быстро находить необходимую информацию среди большого объема данных. Система поддерживает фильтрацию по числовым параметрам (рейтинг), категориальным признакам (наличие льгот, оригиналов документов) и текстовым полям с поддержкой частичного совпадения. Техническая реализация обеспечивает:

1) удобный и интуитивно понятный интерфейс, оптимизированный для работы сотрудников кафедры;

2) высокую производительность при работе с базами данных объемом до 20 000 записей;

3) защиту персональных данных абитуриентов;

4) возможность создания исполняемых файлов для распространения без установки дополнительного программного обеспечения.

Система логирования обеспечивает отслеживание всех операций с данными, что обеспечивает безопасность и аудит действий пользователей.

Заключение. Разработанная система учёта и обработки информации абитуриентов с использованием методов фильтрации позволяет значительно повысить эффективность работы сотрудников приемных

комиссий, снизить вероятность ошибок при обработке данных и ускорить процесс формирования отчетности. Применение современных технологий, подобно интеллектуальному ассистенту [2] и объектно-ориентированное программирование, как процесс, приближаются к моделированию реального мира, так как предоставляет программисту такие инструменты как классы и объекты. Принципы объектно-ориентированного программирования, такие как инкапсуляция, наследование и полиморфизм, а также интерфейсы и делегаты позволяют логично и последовательно описать необходимые для решения частной задачи сущности.

Использование аналитического функционала системы на примере кафедры компьютерных технологий ФГБОУ ВО «ДонГУ» позволило выявить школы и техникумы Донецка и Донецкой области, а также города Донецкой агломерации, из которых за последние 5 лет поступило максимальное число абитуриентов, что позволит в будущем оптимизировать агитационный процесс при наборе на кафедру.

Список литературы

1. Иванов, С. А. Системный анализ процесса приема абитуриентов в высшие учебные заведения / С. А. Иванов, С. В. Удахина, Ю. И. Родионова // Экономика и управление. – 2019. – № 10(168). – С. 91-96. – DOI 10.35854/1998-1627-2019-10-91-96. – EDN ULNUGT.
2. Бондаренко, В. И. Подготовка данных и выбор способа обучения модели интеллектуального ассистента для образовательной организации / В. И. Бондаренко, В. О. Елисеев // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 127-130. – EDN FMYJSQ.

УДК 004.424.4:69.059.8

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕМОНТА КВАРТИРЫ

Котенко Ю.В., ORCID 0009-0008-4281-2572,

Кривенчук А.Ю., ORCID 0009-0003-8655-031X

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
melin1989@mail.ru, pancreper1@gmail.com

Введение. Развитие информационных и строительных технологий, доступность разнообразных строительных материалов привели к тому, что многие владельцы жилья сталкиваются с трудностями при подборе оптимальных материалов для ремонта и расчёте их стоимости, что может приводить к перерасходу материальных средств и увеличению временных

затрат. Автоматизация процесса подбора строительных материалов и вычислений, связанных с этим процессом, позволяет значительно упростить подготовку смет, снизить вероятность ошибок, уменьшить финансовые расходы [1]. Для решения этой задачи необходим программный инструмент, который учтёт параметры помещений (площадь и высота), характеристики отделочных материалов (расход, стоимость, тип покрытия) и специфику ремонтных работ.

Цель и задачи исследования. Цель работы – разработать программный продукт для автоматизации подбора строительных и отделочных материалов, необходимых для ремонта квартиры, который позволит избежать лишних материальных затрат. Программа должна быть простой и интуитивно понятной, не требовать от пользователя специальных знаний в сфере строительства, обеспечивая возможность создания проектов с несколькими помещениями, ввода параметров комнат, автоматического расчёта площадей и итоговой стоимости материалов.

В рамках настоящего исследования был выполнен комплекс дополнительных задач, направленных на проектирование и создание программного продукта для автоматизации расчетов при ремонте жилых помещений. Основные этапы работы:

1. Проведен анализ предметной области и обзор уже существующих программных решений. Осуществлен системный анализ требований к программным средствам в сфере ремонта жилых помещений, а также сравнительный анализ возможностей и архитектурных решений аналогичных программных продуктов, доступных на рынке.

2. На основе выявленных основных функциональных требований пользователей к подобным приложениям и анализа конкурентных решений разработано техническое задание, включающее все требования к проектируемой системе.

3. Выбрана платформа .NET с использованием языка программирования C# и интегрированной среды разработки Microsoft Visual Studio для реализации программного продукта, с целью обеспечения кроссплатформенной совместимости, высокой производительности и удобства сопровождения кода.

4. Спроектирована структура приложения и пользовательского интерфейса. Разработана объектно-ориентированная модель приложения, включающая ключевые классы, такие как «Room», «Material» и др., а также создан графический интерфейс пользователя при помощи технологии Windows Forms, обеспечивающий понятное взаимодействие с системой.

5. Реализовано приложение имеющее практическое применение, поддерживающее следующие основные функции: создание и управление ремонтными проектами, подбор и учёт строительных материалов, автоматический расчёт площадей и сметной стоимости работ, сохранение проектных данных, а также генерация итоговых отчётов в формате PDF.

6. Проведено тестирование реализованного программного продукта с подтверждением корректности выполнения заявленных операций, устойчивости к ограниченным условиям и соответствия техническому заданию.

Интерфейс и архитектура приложения

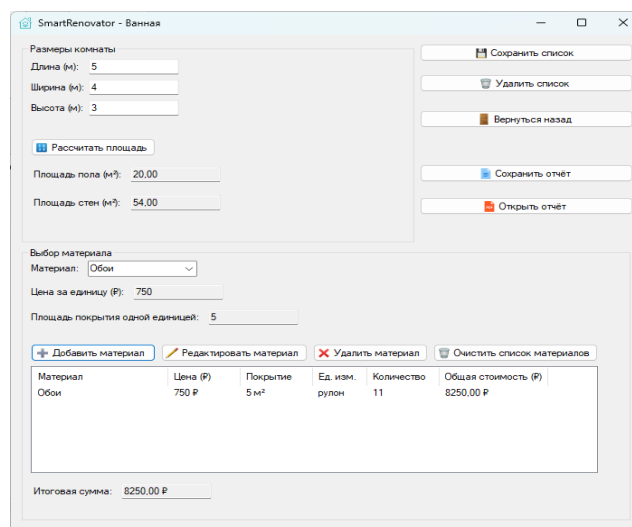


Рис. Главное окно приложения

Программа представляет собой десктопное приложение с графическим интерфейсом (рисунок). Стартовая форма программы отображает список проектов (помещений): пользователь может создать новую комнату или открыть существующую. После выбора комнаты становится доступным основное окно приложения. В нём приведена таблица выбранных материалов, поля для ввода размеров помещения (длина, ширина, высота) и кнопки действий: расчёта площади, добавления/редактирования/удаления материалов, генерации отчёта и т.д.

Результаты исследования и практическая значимость. В результате проведённого исследования разработано программное приложение «SmartRenovator», обладающее практической ценностью и предназначенное для автоматизации процесса планирования ремонта жилых помещений. Оно предоставляет пользователю следующие функциональные возможности:

1. Создавать проект ремонта с несколькими помещениями;
2. Вводить размеры помещений (длину, ширину, высоту) и автоматически рассчитывать площадь пола и стен;
3. Выбирать отделочные материалы из встроенной базы данных, после чего автоматически рассчитывается необходимое количество и стоимость;
4. Сохранять данные проектов в файлы для дальнейшего редактирования;
5. Формировать подробный отчёт в формате PDF по введённым данным.

Использование системы исключает ручные вычисления и снижает вероятность ошибок, что значительно экономит временные затраты и материальные ресурсы. Приложение ориентировано на широкий круг пользователей без специального строительного образования и опыта. Простота и интуитивность интерфейса делают его удобным инструментом для частных лиц, планирующих ремонт жилых помещений, а также для специалистов по отделочным работам. Практическая ценность проекта заключается в том, что он обеспечивает минимизацию материальных затрат и оптимизацию процессов подготовки ремонтных смет.

Заключение и перспективы развития. В ходе работы успешно решены все поставленные задачи: проведён глубокий анализ предметной области, связанной с ремонтом помещений, составлено грамотное, подробное техническое задание для проекта, спроектирована архитектура и реализован программный продукт, автоматизирующий процесс подбора строительных и отделочных материалов для ремонтных работ. Проведённое тестирование подтвердило корректность функционирования приложения в рамках ключевых пользовательских сценариев. Разработанный программный продукт обеспечивает полноценную работу в автономном офлайн-режиме и готов к применению конечными пользователями.

По запросу, дальнейшие направления развития проекта могут быть связаны с: расширением и пополнением базы материалов более полным ассортиментом; интеграцией с онлайн-каталогами поставщиков; добавлением синхронизации проектов через облако; реализацией дополнительной визуализации (3D-представлением интерьера) для более наглядного планирования ремонта.

Список литературы

1. ГРАНД-Смета – программный комплекс для составления смет // Сайт ГРАНД-Смета.
URL: <https://www.grandsmeta.ru/> (дата обращения: 21.03.2025)

УДК 004.7:004.896

ОНЛАЙН-КИНОТЕАТР С ЭЛЕМЕНТАМИ СОЦСЕТИ И ИНТЕГРАЦИЕЙ СЕРВИСОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Котенко Ю.В., ORCID 0009-0008-4281-2572,

Мигунов Б.М., ORCID 0009-0004-0712-6594

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
melin1989@mail.ru, migunov.bbbb@mail.ru

Введение. В условиях цифровой трансформации общества онлайн-кинотеатры заняли прочное место в структуре медиапотребления, обеспе-

чивая пользователям удобный доступ к широкому спектру аудиовизуального контента. Однако функционирование таких платформ не может ограничиваться исключительно предоставлением медиаконтента. Современные пользователи ожидают наличия персонализированных сервисов, интеллектуальных функций и возможностей для социального взаимодействия.

Существующие на рынке решения (START, «Кинопоиск», Wink и др.) обладают рядом ограничений: недостаточной глубиной анализа пользовательского поведения, ограниченным набором социальных функций и неполной интеграцией технологий искусственного интеллекта (ИИ). Эти обстоятельства обуславливают актуальность разработки онлайн-кинотеатра, сочетающего функциональность потокового сервиса, элементы социальной сети и интеллектуальные технологии для повышения качества пользовательского опыта.

Глубокое обучение является новейшей главой в истории инноваций, стремящейся автоматизировать интеллект постепенно. В последние несколько лет был достигнут большой прогресс в этой сфере, превосходящий предыдущие достижения в компьютерном зрении, распознавании речи и машинном переводе» [1].

В рамках настоящего исследования для проектирования и реализации онлайн-кинотеатра, совмещающего функции социальной сети и интегрированные сервисы искусственного интеллекта, был решён комплекс следующих подзадач:

- проведён анализ предметной области и существующих аналогов;
- исследована структура организации и ключевые функциональные компоненты платформы;
- определена базовая функциональность, включающая социальные механизмы взаимодействия пользователей;
- выявлены бизнес-процессы, подлежащие автоматизации с применением методов ИИ;
- выполнено проектирование базы данных на концептуальном, логическом и физическом уровнях с последующей нормализацией;
- разработаны и реализованы модули искусственного интеллекта, в том числе рекомендательные системы, средства анализа эмоциональной окраски пользовательских отзывов, классификаторы и генераторы визуального контента;
- спроектирован и реализован пользовательский интерфейс;
- создано клиент-серверное веб-приложение с интеграцией интеллектуальных сервисов;
- осуществлено внедрение разработанного решения с обеспечением соответствия заданным функциональным требованиям.

Актуальность и научная новизна работы заключается в интеграции методов компьютерного зрения и обработки естественного языка в рамках

единой платформы онлайн-кинотеатра. В отличие от существующих подходов, в которых указанные технологии применяются изолированно, предложенный в работе комплексный метод обеспечивает более высокую точность прогнозирования и повышает качество взаимодействия пользователя с системой за счёт следующих компонентов:

- применения сверточных нейронных сетей (CNN) для анализа визуального контента и моделей обработки естественного языка (NLP) для анализа текстовых отзывов с целью построения адаптивных рекомендательных алгоритмов;

- разработки механизма интеллектуальной фильтрации спойлеров на основе комбинированного анализа эмоционального тона, контекста и ключевых слов с использованием NLP-моделей;

- генерации визуальных элементов (статического медиаконтента) для персонализации профиля пользователя.

В отличие от традиционных решений, предложенная система ориентирована на создание динамической цифровой экосистемы, в которой пользователь получает персонализированные рекомендации и возможность коммуникации в тематических сообществах с поддержкой интеллектуальных сервисов.

Цель настоящего исследования заключается в разработке онлайн-кинотеатра, сочетающего удобный, интуитивно понятный пользовательский интерфейс, расширенные социальные функции и интеграцию технологий искусственного интеллекта. Реализация данной цели предполагает обеспечение персонализированного доступа к контенту, интеллектуальный анализ пользовательского поведения и создание условий для повышения качества взаимодействия аудитории с системой.

Архитектура разработанного решения реализована в формате клиент-серверного веб-приложения:

- фронтенд реализован на React.js для обеспечения адаптивного интерфейса и включает социальные функции – чаты и обсуждения;

- бэкенд разработан на Node.js с использованием Nest.js для выполнения обработки запросов и интеграции с ИИ-модулями – TensorFlow и PyTorch;

- база данных – PostgreSQL – используется для хранения профилей пользователей, истории просмотров, метаданных контента и социальных взаимодействий. При ее проектировании учитывались требования нормализации данных для минимизации избыточности;

- ИИ-компоненты развернуты как микросервисы, взаимодействующие с веб-модулями по API.

Традиционные рекомендательные системы, основанные на коллаборативной фильтрации и простых контент-ориентированных алгоритмах, ограничены в персонализации и подвержены проблеме «холодного старта». В представленном же решении реализована гибридная архитек-

тура, объединяющая анализ визуального контента, лингвистическую интерпретацию отзывов и рецензий, динамику социального взаимодействия. Для преодоления проблемы «холодного старта» предусмотрена инициализация векторных представлений предпочтений новых пользователей на основе онбординг-опроса (выбор жанров и тем) или стандартных эмбедингов, вычисленных из агрегированных данных популярного контента.

Ключевым элементом выступает использование векторных представлений предпочтений: эмбединги позволяют описывать пользователей и медиаконтент в едином многомерном пространстве, что обеспечивает точное сопоставление интересов аудитории с характеристиками материала (жанр, эмоциональная окраска, визуальные особенности). Это повышает персонализацию рекомендаций и учитывает не только историю просмотров, но и социальную активность пользователя.

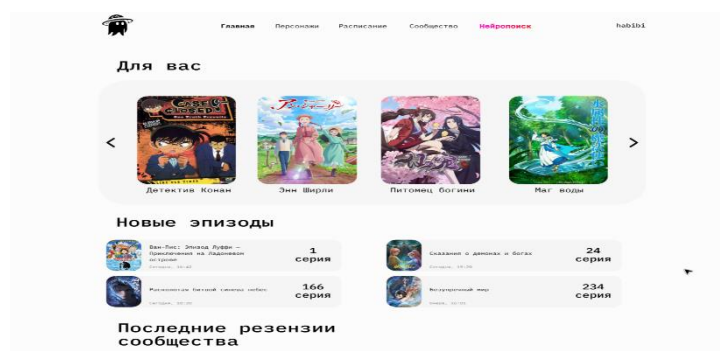


Рис. Главная страница веб-сайта

Для анализа отзывов применяются предобученные трансформер-модели, такие как RuBERT, что позволяет выявлять сложные эмоциональные оттенки (ирония, скепсис, энтузиазм) и использовать их, например, в механизмах фильтрации спойлеров. Фильтрация спойлеров реализуется через гибридный подход: помимо эмоционального тона, модель анализирует контекст с помощью правил на основе регулярных выражений и семантического парсинга, что повышает точность и предотвращает ложные срабатывания на нейтральных отзывах.

В обработке видеоконтента используются сверточные нейронные сети (ResNet), обеспечивающие высокую точность распознавания персонажей, объектов и сцен. Сверточная нейронная сеть является особой архитектурой искусственной нейронной сети, имитирующей особенности зрительной коры головного мозга и предназначенной для эффективного распознавания сложных изображений. Ключевая идея, лежащая за ResNet – введение остаточных блоков, которые содержат «обходную связь идентичности», обходящую один или большее количество слоев [2]. Это расширяет возможности поиска по кадрам, автоматизирует каталогизацию и формирует тематические подборки.

Реализован модуль генерации аватаров на основе вариационных автоэнкодеров и диффузионных моделей, что обеспечивает персонализированную визуализацию и повышает вовлеченность пользователей.

Заключение. Разработанное веб-приложение реализует интегрированную архитектуру интеллектуальных модулей, включающую рекомендательные алгоритмы, анализ эмоциональной окраски пользовательских отзывов и идентификацию визуального контента. Интеграция технологий искусственного интеллекта обеспечивает персонализацию подбора медиа-контента, автоматизацию поиска релевантных материалов и формирование рекомендаций, с учётом индивидуальных предпочтений. Благодаря применению мультимодальных методов система превосходит функциональные возможности традиционных онлайн-кинотеатров, предоставляя пользователю не только доступ к контенту, но и расширенные инструменты взаимодействия с платформой.

Список литературы

1. Траск Э. Грожаем глубокое обучение / Э. Траск // Библиотека программиста. – СПб.: Питер, 2022. – 352 с. – ISBN: 978-5-4461-1334-7.
2. Черкасова И. С. Классификация видео контента на основе сверточных нейронных сетей / И. С. Черкасова // E-Scio. – 2021. – URL: <https://e-scio.ru/wp-content/uploads/2021/12/Черкасова-И.-С.pdf> (дата обращения 26.09.2025)

УДК 004.415.2

СКРЫТЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ ДЛЯ БПЛА: ПРИМЕРЫ АТАКИ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Котенко Ю.В., ORCID 0009-0008-4281-2572,

Ткаченко Д.С., ORCID 0009-0003-6742-8490

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

melin1989@mail.ru, dongu_tkachenko@mail.ru

Аннотация. В статье описываются примеры возможных атак и защитные технологии против скрытых каналов передачи данных [1], которые могут использовать беспилотные летательные аппараты при попытках обхода систем глубокого анализа пакетов (DPI) и «белых списков» в российской телекоммуникационной среде. Рассматриваются методы обнаружения и нейтрализации туннелирования через DNS, легитимные платформы и пассивная навигация. Приводятся практические рекомендации по усилению контроля и примерные сценарии реагирования.

Введение. Современные операторы связи в РФ активно используют DPI и жёстко прописанные «белые списки» разрешённых сервисов. Это снижает риск несанкционированного трафика, но создаёт новые векторы угрозы, когда устройства, в том числе БПЛА, пытаются маскировать свои каналы в разрешённом потоке.

DNS-туннелирование. Пример атаки. БПЛА кодирует команды в поддомены DNS-запросов к контролируемому злоумышленником домену; данные «HELLO» преобразуются алгоритмом base32 в JBSWY3DP, после чего генерируются запросы вида JBSWY3DP.control-server.ru. При ориентировочной частоте 1 запрос на 0.5 с и размере закодированного поддомена около 64 байт восходящий канал составит $R_{\uparrow} \approx 64/0.5 = 128 \text{ B/s}$, что далее уменьшается при учёте случайных задержек, повторов и кодов коррекции ошибок. С использованием записи вида TXT нисходящий канал формируется в ответе DNS: каждая TXT-запись содержит одну или несколько строк RDATA длиной до 255 байт, причём суммарный объём полезных данных в одном UDP-ответе ограничен как правилами сборки DNS-сообщения, так и безопасным размером фрагмента без перехода на TCP (практически около 1232 байт при EDNS(0) или до 512 байт без расширений). С учётом служебных полей, компрессии имён и кодирования (overhead base32/base64 порядка 60–33 %) реальная полезная нагрузка одного TXT-ответа обычно составляет 200–900 байт; при частоте 2 запроса/с это соответствует $R_{\downarrow} \approx 0.4 - 1.8 \text{ KiB/s}$, а при отсутствии EDNS(0) – порядка 0.2–0.6 KiB/s без учёта потерь, коррекции ошибок и пр.

Пример защиты. Для выявления DNS-туннелей разумно одновременно смотреть на форму запросов и их поведение во времени. Фильтруют слишком длинные метки и имена (например, метки длиннее 63 байт), повышенную «случайность» поддоменов и резкий рост уникальных поддоменов к одному домену. Отслеживают частоту обращений к одному имени и общий поток запросов от клиента; заметные отклонения от обычного профиля считаются подозрительными и приводят к временной блокировке. В ответах дополнительно обращают внимание на нетипично большие пакеты и аномальный рост доли TXT-запросов и ответов; при срабатывании порогов такие сессии изолируются. Поверх этого используется Feedforward нейронная сеть [2], которая учится на обычном и туннелированном трафике и помечает отклонения.

Атака через «белые списки» сервисов. В условиях применения «белых списков» сервисов, обеспечивающих доступ к ограниченному набору платформ во время ограничений мобильного интернета, каналы управления БПЛА могут маскироваться под легитимный трафик популярных российских ресурсов, маршрутизируемых и приоритизируемых средствами операторского DPI. Типичный сценарий включает передачу видеопотока с борта через разрешённый мессенджер MAX, что внешне не отличается от обычной пользовательской сессии для систем фильтрации и контроля трафика. Командные сообщения могут инкапсулироваться во вложения и метаданные файлов в социальной сети «ВКонтакте» с использованием методов стеганографии и кодирования, что снижает вероятность детектирования на сетевом периметре. Аналогично

управляющие инструкции передаются через текстовые комментарии и личные сообщения в «Одноклассниках», используя сетевую стеганографию и устойчивые к цензурированию схемы кодирования, что усложняет обнаружение на уровне DPI и поведенческого анализа без углублённого контентного контроля. Этот способ ограничен только пропускной способностью сети на высоте полёта БПЛА.

Пример защиты заключается в сочетании контентного и поведенческого контроля: видеопотоки из социальных сетей анализируются моделями компьютерного зрения для выявления признаков наложенного стеганоконтента и атипичных визуальных паттернов, сопоставляемых с базовыми профилями источников. Однако это практически не реализуемо из-за необходимости огромных вычислительных мощностей.

Текстовые сообщения, комментарии и вложения проходят стеганодетекцию и анализ на предмет кодовых последовательностей, аномальной энтропии и командных шаблонов, что позволяет фиксировать скрытую передачу управления.

Параллельно профилируются сетевые сессии (частота, длительность, объёмы и распределение типов запросов), и алгоритмы обнаружения аномалий на основе машинного обучения отмечают отклонения от базовой линии с последующей автоматической изоляцией подозрительных потоков и эскалацией инцидента.

Навигация при помощи «радиокарты» местности. На борту хранится база станций с их координатами и параметрами излучения, а также «радиокарта», – ожидаемые поля уровней для различных частот и секторов; дрон периодически сканирует эфир (Cell ID/PCI, уровни RSRP/RSRQ/SINR для видимых сот) и по «отпечатку» сигналов находит наиболее вероятные координаты, объединяя эту оценку с инерциальной навигацией (IMU, барометр, компас).

Дальше автопилот решает простую задачу наведения: рассчитывает вектор на цель, формирует локальные опорные точки с учётом запретных зон и огибания препятствий; при ухудшении совпадения с радиокарткой дрон кратковременно полагается на инерциальный прогноз и высоту, затем уточняет позицию при появлении «богатого» по сотам участка.

Для защиты на практике применяют локальную динамическую перенастройку параметров сот вокруг объекта (мощность, диаграмма направленности, идентификаторы и частоты) и/или развёртывание маломощных псевдо-ячеек, формирующих «ложный» радиопрофиль, чтобы алгоритмы сопоставления сигналов теряли привязку, а инерциальная навигация быстро накапливала ошибку.

Заключение. Проведённый анализ демонстрирует, что в условиях широкого применения DPI и жёстких «белых списков» в РФ наибольшую практическую значимость для скрытого управления БПЛА сохраняют низкоскоростные, но устойчивые каналы на базе DNS-туннелирования и

маскирования под разрешённые платформы: при ограниченной пропускной способности они достаточны для инфраструктуры С2 и телеметрии, а их обнаружение требует перехода от изолированных сигнатур к многослойной аналитике.

Список литературы

1. Павленко, Б. В. Интеллектуально-алгоритмический метод калибровки прицелов / Б. В. Павленко, В. И. Бондаренко // Проблемы искусственного интеллекта. – 2024. – № 3(34). – С. 55-63. – DOI 10.24412/2413-7383-2024-3-55-63. – EDN BKGPOS.
2. Бубнов, Я. В. Обнаружение DNS-туннелей с помощью Feedforward нейронной сети / Я. В. Бубнов, Н. Н. Иванов // Вестник БГУИР. – 2018. – № 3(115). – С. 19–26. – URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/32162/1/Bubnov_Obnaruzheniye.pdf (дата обращения: 21.09.2025).

УДК 621.396.6

СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ НА ВИДЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

Ларочкина Д.А.,

Максименко И.И., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0009-0006-7269-5878

ФГБУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк

igor.maksimenko_1967@mail.ru

Введение. В последние годы системы распознавания лиц на видео получили широкое распространение благодаря развитию методов компьютерного зрения и нейросетевых технологий. Эти системы находят применение в самых различных областях – от обеспечения безопасности и видеонаблюдения до пользовательской аутентификации и анализа поведения.

Основной вызов при разработке таких систем заключается в высокой вариативности входных данных: изменения освещения, ракурса, качества видео и наличия посторонних объектов могут существенно снижать точность распознавания. Современные нейросетевые модели, в частности глубокие сверточные сети (CNN) и трансформеры, позволяют существенно повысить точность детекции и идентификации лиц, адаптируясь к сложным условиям съемки [1].

Актуальность. В условиях стремительного развития искусственного интеллекта и компьютерного зрения системы распознавания лиц на видео становятся ключевым элементом цифровой инфраструктуры. Современные нейросетевые архитектуры – такие как CNN, ArcFace и Vision Transformer – обеспечивают высокую точность даже в сложных условиях: при изменении освещения, ракурса или частичном закрытии лица. Это делает их вост-

ребованными в самых разных сферах: от систем безопасности и контроля доступа до ритейла, банковской аутентификации и умных городов.

Сегодня технологии позволяют обрабатывать видеопоток в реальном времени даже на устройствах с ограниченными ресурсами, благодаря развитию фреймворков (TensorFlow, PyTorch, MediaPipe) и аппаратных ускорителей. Однако вместе с техническим прогрессом растут и этические вызовы: вопросы приватности, предвзятости алгоритмов и защиты от злоупотреблений требуют комплексного подхода – не только технического, но и социального [2].

Цель данной работы – разработка и исследование системы распознавания лиц на видео с использованием нейросетей. Для этого будет проведен анализ современных методов компьютерного зрения, выбраны и обучены оптимальные модели, а также проведена их оценка по ключевым метрикам, таким как точность, скорость работы и устойчивость к изменениям внешних условий. Объектом исследования являются технологии распознавания лиц в видеопотоке с использованием нейросетевых алгоритмов.

Предметом исследования являются методы и модели нейросетевого анализа видеоизображений для распознавания лиц, включая архитектуры нейросетей, алгоритмы предобработки данных, детекции и идентификации лиц в динамических условиях.

Главный модуль web-приложения работает с данными, хранящимися в разработанной базе данных. Главной операцией web-приложения является загрузка видеозаписей, автоматическое распознавание лиц с применением нейросетевых алгоритмов и отображение результатов обработки в удобной для пользователя форме.

Описание метода решения задачи. В рамках реализации программного обеспечения была выбрана современная и проверенная архитектура нейронной сети – FaceNet на основе Inception-ResNet-v1, разработанная Google. Эта модель сочетает в себе преимущества модульных Inception-блоков, позволяющих эффективно извлекать признаки на разных масштабах, и остаточных связей (ResNet), обеспечивающих стабильное обучение глубоких сетей без проблемы затухающих градиентов. Обучение сети производилось с использованием функции потерь Triplet Loss, что позволило сформировать метрическое пространство эмбедингов, в котором лица одного человека группируются близко друг к другу, а разных – отдаляются на значительное расстояние.

Выбор FaceNet обусловлен её высокой точностью (до 99,63 % на датасете LFW), компактностью выходного вектора (всего 128 измерений) и возможностью использования без дообучения – достаточно лишь сравнения эмбедингов через косинусное сходство или классификатор (например, KNN). Это делает систему гибкой: можно легко добавлять новых пользователей, не переобучая всю сеть, что критически важно для

приложений вроде систем контроля доступа, умного дома или персонализированных интерфейсов [3].

Результатом работы является приложение для распознавания лиц на видео. База данных в составе позволяет пользователю хранить и изменять информацию о зарегистрированных людях, выполнять распознавание лиц на загруженных видеозаписях, просматривать найденные совпадения в виде списка или отдельных кадров, а также формировать отчеты по активности и количеству появлений конкретных пользователей [4].

Разработанное решение демонстрирует практическую применимость технологий компьютерного зрения в реальных сценариях – от обеспечения безопасности до анализа поведения и управления доступом. Оно может быть адаптировано под различные отрасли: от розничной торговли и образования до правоохранительных органов и умных городов. Кроме того, проект открывает возможности для дальнейшего масштабирования: интеграции с облачными сервисами, добавления модулей распознавания эмоций или поведенческих паттернов, а также повышения точности за счёт дообучения моделей на специализированных наборах данных. Таким образом, работа не только решает актуальную техническую задачу, но и закладывает основу для развития более интеллектуальных и адаптивных систем видеонаблюдения и анализа.

Список литературы

1. Айткенова М. К. Технология распознавания лиц / М. К. Айткенова, У. Б. Кусаинова, Ш. К. Нуран // Наука и реальность / Science & Reality. – 2022. – №. 2 (10). – С. 87-89.
2. Ерохин Д. Ю. Современные сверточные нейронные сети для обнаружения и распознавания объектов / Д. Ю. Ерохин, М. Д. Ершов // Цифровая обработка сигналов. – 2018. – Т. 3. – С. 64-69.
3. Котенко, В. Н. Применение метода инвариантных моментов для поиска объекта на изображении-сцене с использованием библиотеки open Computer vision / В. Н. Котенко // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции, Донецк, 17–18 ноября 2020 года / Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Том 1. Часть 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2020. – С. 239-241. – EDN RMYNNV.
4. Котенко, В. Н. Метод повышения качества выделения границ изображений с использованием алгоритма Particle Swarm Optimization / В. Н. Котенко, И. Н. Полищук // Проблемы искусственного интеллекта. – 2016. – № 1(2). – С. 53-63. – EDN WHKIWP.

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Латкин В.А., ORCID 0000-0002-9353-0662

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, РФ

latkinvadim@mail.ru

Введение. Большое прикладное значение для решения экологических задач в науках о Земле имеют картографические материалы, способные обеспечить пользователя информацией об окружающем геопространстве. Наиболее актуальным является комплексный картографический подход, заключающийся в применении съёмочных материалов и составленных с использованием компьютерных ГИС-технологий разнообразных карт для анализа территории, планирования, проектирования с целью дальнейшей практической деятельности на местности.

Цель исследования – разработка и создание картографических материалов с помощью компьютерных технологий для использования при анализе и решении экологических проблем территории.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие главные *задачи*:

- проанализировать современное экологическое состояние объекта исследования;
- осуществить процесс двумерного и трёхмерного картографирования с использованием определённого программного обеспечения.

Объект исследования – территория Михайловского района Алтайского края.

Основная часть. Оценка экологической стабильности и антропогенной нагрузки исследуемой территории проведена в ранней работе автора [1].

В последующей практической работе использованы *космические снимки*, отображающие территорию Михайловского района в ГИС *Google Earth* и *SAS.Planet*, имеющие пространственное разрешение 1 м и полученные со спутников компании Maxar (Digital Globe).

Неинтерактивная (статическая/статичная) 2D-карта. Проведя процесс дешифрирования космических снимков, а также используя различные информационные материалы, была составлена в ГИС *MapInfo Professional* карта экологических проблем исследуемой территории (рис. 1).

Интерактивная карта. Значимость карты заключается в наиболее полном, систематизированном восприятии информации, собранной воедино, о различных объектах территории района.

Конечный результат создания интерактивной карты в ГИС *QGIS* с отображением экологических проблем представлен на рис. 2.

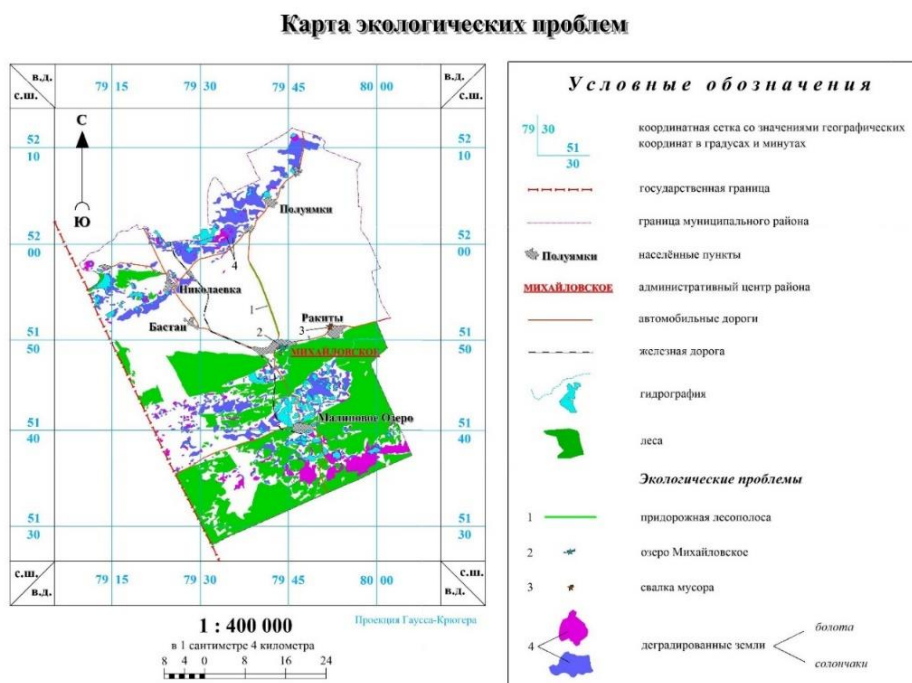


Рис. 1. 2D-карта экологических проблем

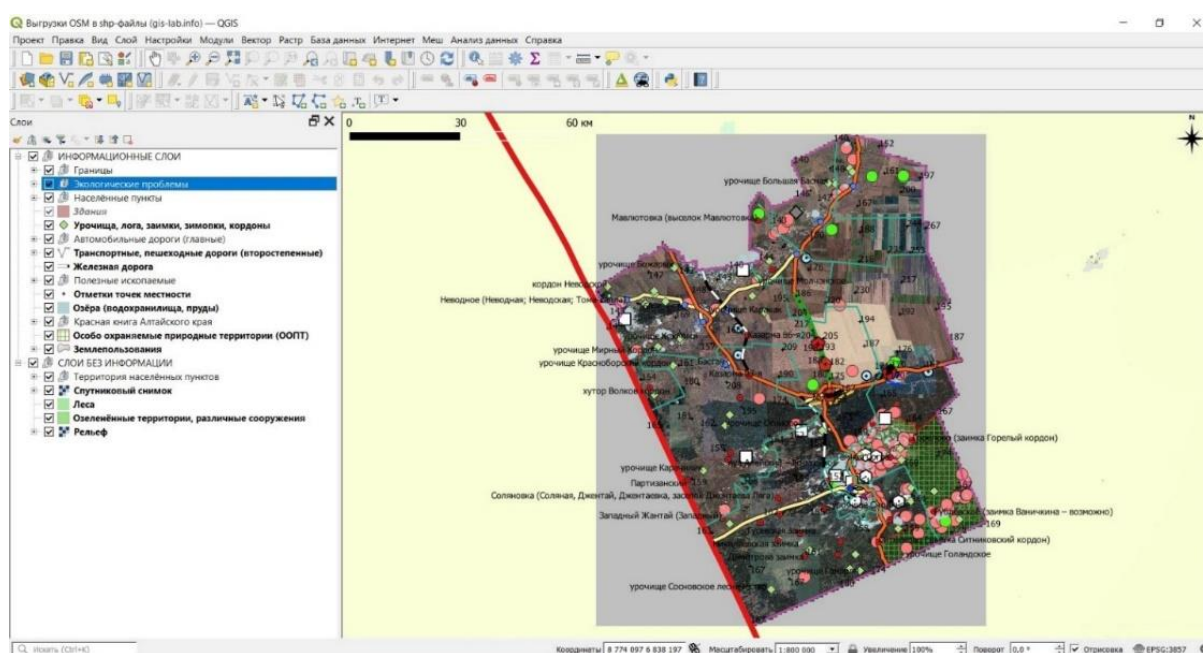


Рис. 2. Интерактивная карта с отображением экологических проблем

3D-модель рельефа. Для создания использовалась ГИС *QGIS* с установленным плагином *Qgis2threejs*, который позволяет 2D-визуализацию перевести в трёхмерный вид.

Фрагмент трёхмерной модели рельефа приведён на рис. 3.

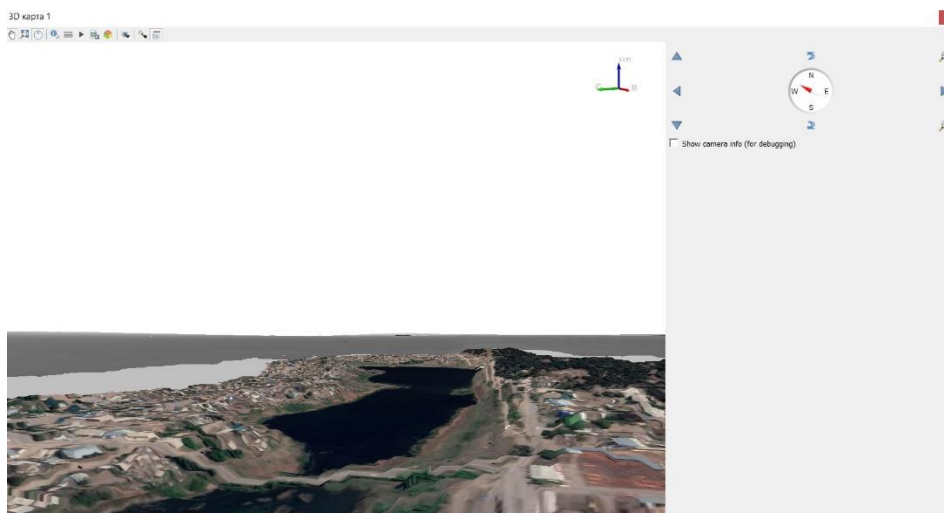


Рис. 3. 3D-модель рельефа участка территории (вертикальный масштаб $\times 7$)

3D-карта. Создание осуществлялось с использованием графического редактора игрового движка *Prism3D*.

Созданная карта в масштабе 1:1 (одна единица длины на карте соответствует одной единице длины на местности), охватывающая площадь 21,02 км², отражает среди прочего фактическое состояние проблемных участков (пример на рис. 4).



Рис. 4. Фактическое состояние участка озера Михайловского после проведения мероприятий по его очистке (слева – фото, справа – 3D-карта)

Заключение. Картографо-экологическое исследование с использованием компьютерных технологий ориентировано на восстановление и сохранение окружающей среды. **Практическая значимость** заключается в возможности применения материалов образовательными и научными организациями, органами власти, специалистами и общественностью в экологической сфере для информационных целей, планирования и проектирования.

Список литературы

1. Латкин, В. А. Оценка экологической стабильности и антропогенной нагрузки сельской территории на примере Михайловского района Алтайского края / В. А. Латкин. – Текст: непосредственный // Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти д.г.н., профессора В. С. Ревякина (26 марта 2025 г., Институт географии АлтГУ, г. Барнаул). – Барнаул, 2025. – С. 272-277. – EDN TBWOFN.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА НЕФТИ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ COMSOL MULTIPHYSICS

Ли А.О., Ким А.С.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, РФ
lee1_98@mail.ru

Введение. В настоящем исследовании рассматриваются задачи численного моделирования переноса загрязняющих веществ в акваториях, выполненные с применением программного комплекса COMSOL Multiphysics. В качестве объекта анализа выбрана бухта Чернышева, отличающаяся сложной геометрией и динамикой течений.

Цель работы – моделирование водных потоков и распространения нефтяных загрязнений с учётом ветрового воздействия, топографии дна и граничных условий, что позволяет оценивать потенциальные сценарии загрязнения и разрабатывать превентивные экологические меры.

Основная часть. Для получения достоверной геометрии расчетной области использовались данные, собранные с помощью кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS и Google Earth Pro. Батиметрическая информация экспортировалась в формат, совместимый с COMSOL. Дальнейшее моделирование проводилось в два этапа: сначала рассчитывалась картина течения воды, затем – распространение нефтяной плёнки по поверхности жидкости.

Для описания течения воды применялась система уравнений мелкой воды, отражающая закон сохранения массы и количества движения в неглубоких акваториях. Эта система включает:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_h = 0 \\ \frac{\partial hu}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_q = -gh\nabla h_B + \mathbf{F}, \quad hu = q, \\ \Gamma_h = hu \\ \Gamma_q = hu \times \mathbf{u} + g \frac{h^2}{2} \mathbf{I} \end{array} \right.$$

где h – высота поверхностного слоя воды над грунтом, t – время, Γ_h – векторный поток массы через поверхностный слой воды, u – скорость потока, Γ_q – поток импульса, g – ускорение свободного падения, ∇ – оператор дивергенции, h_B – высота грунта, $\mathbf{F}$ – силы, действующие на жидкость в заданной точке, q – объемный расход жидкости, Γ_h – это вектор потока массы (объема) воды через единицу площади, $\mathbf{I}$ – единичная матрица.

Результатом этого этапа стало получение поля скоростей и уровней воды, которые в дальнейшем использовались как входные данные для моделирования распространения загрязняющих веществ.

На втором этапе рассматривался перенос нефти по поверхности воды. Для описания движения загрязнений использовались уравнение Навье–Стокса и уравнение неразрывности:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mathbf{K}] + \mathbf{F} + \rho \mathbf{g} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \end{cases},$$

а также уравнение переноса концентрации примеси

$$\frac{\partial \epsilon_p \rho_{s_i} s_i}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{N}_i = 0,$$

где ρ – плотность жидкости, $\mathbf{u}$ – скорость течения, t – время, p – давление жидкости, $\mathbf{K}$ – тензор вязкости, $\mathbf{F}$ – массовые силы (например, электромагнитные), $\mathbf{g}$ – ускорение свободного падения, ∇ – оператор дивергенции, $\mathbf{I}$ – единичный тензор, ϵ_p – пористость (доля объема порового пространства в общем объеме породы), ρ_{s_i} – плотность i -ой компоненты нефти, s_i – насыщенность i -ой компоненты нефти (доля объема нефти в поровом пространстве), t – время, $\nabla \cdot \mathbf{N}_i$ – дивергенция потока массы i -ой компоненты нефти.

Особое внимание уделялось влиянию направления ветра на поведение нефтяной плёнки. Было проведено моделирование в трёх различных режимах: при ветре, направленном вдоль оси Ox вправо, влево и оси Oy вверх (рис. 1-3).

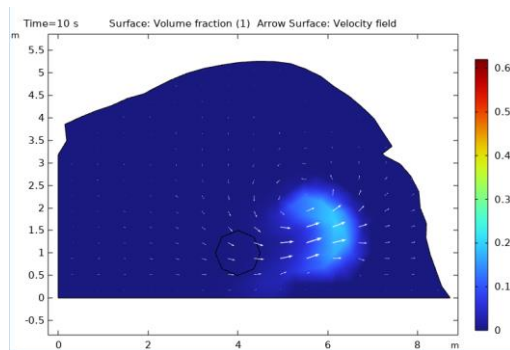


Рис. 1. Поведение нефтяной пленки при направлении ветра вправо вдоль оси Ox

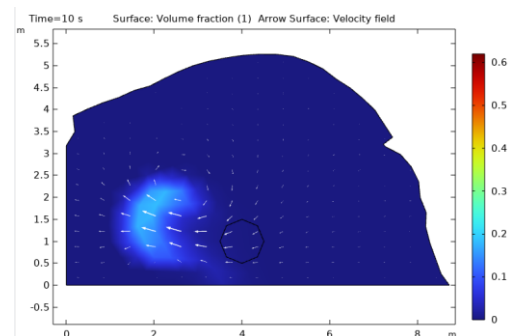


Рис. 2. Поведение нефтяной пленки при направлении влево вдоль оси Ox

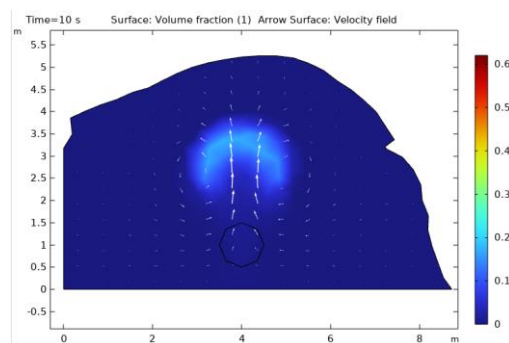


Рис. 3. Поведение нефтяной пленки при направлении ветра вверх вдоль оси Oy

Заключение. Расчёты показали, что даже при одинаковой начальной концентрации загрязнения динамика пятна сильно зависит от направления ветра.

Графическая визуализация позволила проследить распространение загрязнения, а также оценить скорость движения загрязнений. Отдельно анализировались участки с наибольшей концентрацией вещества и их перемещение с течением времени.

Будущие исследования могут быть направлены на учёт волн, температурного распределения и биологических факторов.

Список литературы

1. Ли Д. Математическое моделирование морских разливов нефти в районе Луаньцзякоу, недалеко от порта Яньтай / Д. Ли, С. Тан, Я. Ли, С. Ван, Х. Чжан. – 17 января 2018. – 23 с.
2. Пинхо Д. Л. С. Математическое моделирование разливов нефти в Атлантические иберийские прибрежные воды / Д. Л. С. Пинхо, Ж. С. Антунес ду Карму, Ж. М. П. Виейра. – Апрель 2004. – 11 с.
3. Беликов В. В. Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики / В. В. Беликов. – 2020. – 346 с.
4. Нсидибе Сандей. Численное моделирование и параметрический анализ чувствительности характеристик теплообмена и двухфазных потоков нефти и воды в горизонтальных и наклонных выкидных линиях с использованием OpenFOAM / Сандей Нсидибе, Абдельхаким Сеттар, Халед Четехуна, Николя Гаскойн // Теплофизика высоких температур. – 2023. – С. 1185–1199.
5. Леонов А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений C, N, P, Si / А. В. Леонов. – Южно-Сахалинск: Издательство СахГУ, 2012. – 148 с.

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА УНИВЕРСАЛЬНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ И ОПАСНЫХ ЗОН

Ломонос Г.Т., ORCID 0009-0000-9759-0008

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

lomonos.gn@gmail.com

Введение. Проблема обследования труднодоступных и потенциально опасных зон остается актуальной для различных отраслей промышленности, служб спасения и объектов критической инфраструктуры. Существующие решения часто характеризуются высокой стоимостью, узкой специализацией или ограниченными возможностями дистанционного мониторинга. В данной работе представлен прототип универсального робототехнического комплекса, сочетающего мобильность, многофункциональность сенсорной системы и развитый интерфейс оператора на базе SCADA-системы.

Архитектура робототехнического комплекса. В качестве центрального управляющего элемента выбран микроконтроллер Arduino Giga R1, обладающий рядом существенных преимуществ перед первоначально планируемой альтернативной архитектурой на базе комплекта ESP32 + 2×Arduino Nano. Ключевыми факторами выбора стали:

Единая вычислительная платформа – исключение необходимости организации межконтроллерного взаимодействия, что упрощает программную архитектуру и повышает надежность системы.

Высокая производительность – микроконтроллер на базе STM32H747XI с двухъядерной архитектурой Cortex-M7 (480 МГц) + Cortex-M4 (240 МГц) обеспечивает достаточные вычислительные ресурсы для одновременной обработки данных от множественных сенсоров и видеопотоков.

Расширенные возможности подключения – наличие 76 GPIO, множественных интерфейсов UART, I2C, SPI и встроенного Wi-Fi/Bluetooth модуля позволяет интегрировать всю необходимую периферию без дополнительных коммуникационных модулей.

Достаточный объем памяти – 8 МБ SDRAM и порт USB-2.0, который используется для подключения периферийных устройств к плате без использования дополнительных проводов, или использоваться для чтения и записи файлов на USB-флеш-накопитель, что позволяет, например, возможность буферизации данных и локального хранения информации [1].

Мобильная платформа реализована на базе гусеничного шасси с двумя двигателями постоянного тока и драйвером управления на микросхеме L293D (рис.). Такая конфигурация обеспечивает

дифференциальное управление, позволяющее осуществлять поворот на месте и маневрирование в ограниченном пространстве.



Рис. Основа аппаратной платформы прототипа робота

Сенсорная система оснащена многоуровневой системой датчиков для мониторинга окружающей среды и двумя видеокамерами видимого и инфракрасного диапазонов. Робототехнический комплекс оснащен манипулятором.

Интерфейс оператора системы дистанционного управления представляет специализированный пульт управления на базе SCADA-системы TRACE MODE 7 [2], обеспечивающий комплексный контроль всех функций робота. Система реализует управление движением, управление манипулятором, управление системой видеонаблюдения.

Интерфейс автоматизированного рабочего места (АРМ) интегрирует:

Видеопотоки – отображение в режиме реального времени от всех камер с возможностью масштабирования и записи.

Телеметрия датчиков – цифровая и графическая индикация всех измеренных параметров с сохранением временных трендов для анализа динамики изменения обстановки.

Графические органы управления – интуитивные элементы интерфейса для управления движением, манипулятором и камерами, включая виртуальный джойстик, ползунки регулирования скорости и кнопки дискретных команд.

Диагностическая информация – состояние связи, уровень заряда батарей, температура двигателей и контроллера.

Взаимодействие между роботом и пультом управления осуществляется по беспроводному каналу Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n). Встроенный в Arduino Giga R1 модуль Murata 1DX обеспечивает дальность связи до 50 метров в прямой видимости.

Программная реализация. Программное обеспечение робота разработано в среде Arduino IDE с использованием библиотек для работы с периферией (Servo.h для сервоприводов, Wire.h для I2C-устройств) и сетевого взаимодействия (WiFi.h). Архитектура ПО построена по

модульному принципу с разделением функциональности на независимые подсистемы: управление движением, обработка сенсорных данных, управление видеосистемой, сетевое взаимодействие.

SCADA-интерфейс TRACE MODE 7 APM оператора обеспечивает визуализацию данных в режиме реального времени.

В качестве экспериментальной апробации проведены предварительные испытания прототипа в лабораторных условиях, включающие верификацию функций управления движением, тестирование дальности и надежности работы датчиков в различных условиях освещенности и влажности, оценку качества видеопотока и задержек передачи данных при различных расстояниях от пульта управления.

Проверку корректности работы интерфейса SCADA APM оператора и синхронизации команд управления с реакцией исполнительных механизмов. Результаты испытаний подтвердили работоспособность всех подсистем комплекса и корректность взаимодействия между компонентами системы.

Заключение и перспективы развития. Разработанный прототип универсального робототехнического комплекса демонстрирует эффективность выбранной архитектуры на базе Arduino Giga R1 для создания многофункциональных мобильных роботов с развитой сенсорной системой и удобным интерфейсом оператора. Применение единого мощного микроконтроллера вместо распределенной системы упрощает разработку, повышает надежность и сокращает энергопотребление.

Перспективы дальнейшего развития включают:

Внедрение алгоритмов компьютерного зрения для автоматического обнаружения объектов и распознавания аварийных ситуаций.

Расширение функциональности манипулятора для выполнения простых операций по устранению аварийных ситуаций.

Интеграцию дополнительных сенсоров (газоанализаторы, тепловизоры, радиационные датчики) для расширения спектра решаемых задач.

Созданный прототип может найти применение при разработке роботизированных систем для служб МЧС, промышленных предприятий, жилищно-коммунального хозяйства и других областей, требующих дистанционного обследования потенциально опасных зон.

Список литературы

1. Arduino GIGA R1 User Manual. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/tutorials/giga-r1-wifi/cheat-sheet/> / (дата обращения: 4.07.2025).
2. Руководство пользователя TRACE MODE 7. Программный комплекс. 7-е издание (к релизу 7.1.0.3). ТУ 58.29.29-001-18957709-2022. Москва, 2024 ООО «АдАстрА» – 835 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАСС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ ПОКРЫТИЯ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

Луканов С.Ю., ORCID 0009-0008-2989-9415

ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет», г. Псков, РФ

lukanovysergey@gmail.com

Введение. Задачи планирования пути покрытия имеют широкий спектр применений, среди которых обследование местности, автоматизированная уборка, распыление химикатов, поисковые операции, полировка поверхностей и многие другие. В отличие от систем с одним агентом, в мультиагентных системах требуется не только эффективно исследовать пространство, но и координировать действия между агентами. Методы глубокого обучения с подкреплением зарекомендовали себя в подобных задачах, так как обладают способностью формировать более сложные и эффективные стратегии по сравнению с классическими эвристическими подходами. Популярные на текущий момент методы, разрабатывались как универсальные решения для широкого круга задач. Однако в задаче покрытия, где вознаграждения редки, шумны и зависят от совместных действий группы агентов, их применение оказывается ограниченным. Это требует разработки методов, специально адаптированных к особенностям задачи планирования пути покрытия.

Цель работы. Разработать алгоритм МАСС (Multi-Agent Coverage Controller), обладающий гибкой настройкой обновления стратегии, учитывающий межагентные взаимодействия и поддерживающий переменное число агентов.

Основная часть. При разработке алгоритма МАСС за основу был взят метод Proximal Policy Optimization [1], который был существенно модифицирован для решения поставленной задачи. В алгоритм интегрированы следующие компоненты:

- адаптивная обрезка суррогатной целевой функции;
- шлюзование модулированной функции преимущества;
- централизованный критик с вычислением контрфактического базиса;
- механизм многоголового самовнимания для поддержки переменного количества агентов.

В алгоритме МАСС используется адаптивный коэффициент ε , зависящий от значения функции преимущества и гиперпараметров, регулирующих степень обрезки в зависимости от знака данного значения. Преимущества дополнительно фильтруются через нелинейный шлюз. Это

снижает дисперсию и подавляет шумные обновления, повышая устойчивость обучения.

В авторском алгоритме используется парадигма централизованного обучения с децентрализованным выполнением [2]. Централизованный критик вычисляет контрфактический базис для лучшей оценки преимущества и распределения заслуг в мультиагентных системах по аналогии с алгоритмом СОМА [3]. Данный компонент реализован с использованием многоголового механизма самовнимания. Это позволяет обрабатывать переменное число агентов: входные кодированные представления агентов формируются как токены, к ним применяются слои внимания, а результат агрегируется [4]. Дополнительно используется нормализация числа агентов и маска присутствия. Каждый агент i формирует кодированное представление на основе своего локального наблюдения o_i и действия a_i , которое вычисляется по формуле (1):

$$h_i = f_{enc}(o_i, a_i). \quad (1)$$

Все представления собираются в последовательность токенов и далее применяется стандартный механизм самовнимания, вычисляемый по формуле (2):

$$Attention(Q, K, V) = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V, \quad (2)$$

где Q, K, V получаются линейными преобразованиями кодированных представлений h_i , T – число агентов в текущем состоянии, d_k – размерность ключей и запросов, используемая для нормализации.

Многоголовая версия механизма вычисляет несколько независимых компонентов и объединяет их в формуле (3):

$$MHSA(H) = Concat(head_1, \dots, head_m)W^O, \quad (3)$$

где $head_i$ – результат работы i -ой головы внимания, W^O – обучаемая матрица весов для объединения выходов всех голов в общее пространство.

На выходе получается агрегированное представление группы агентов, которое является инвариантным к перестановке агентов и масштабируемым к их количеству.

Алгоритм реализован на платформе Unity с использованием пакета Unity ML-Agents в виде пользовательского плагина. Два ключевых скрипта обеспечивают работу алгоритма:

- `mass_optimizer.py`: содержит класс `TorchMACSOptimizer`, который создает централизованного критика с многоголовым самовниманием, рассчитывает значения и контрфактический базис, реализует адаптивную обрезку и шлюзование;
- `mass_trainer.py`: отвечает за обработку траекторий агентов. Для каждого эпизода вычисляются оценки функций ценности и базисы, после чего в буфер записываются λ -возвраты и контрфактические преимущества.

В отличие от оригинальной реализации СОМА, вычисление всех $Q(s, a_i, a_{-i})$ не выполняется, вместо этого берется фактически выбранное действие и обучается отдельный критик, который сразу вычисляет оценку контрфактического базиса, что снижает вычислительные затраты.

Была произведена серия тестов алгоритма МАСС, где проверялся вклад отдельных компонентов. Оценивались колебания в обновлении стратегии во время обучения, эффективность обученных агентов по метрикам скорости покрытия и среднего межагентного расстояния в процентном соотношении с базовой реализацией РРО. Результаты приведены в таблице.

Таблица

Результаты тестирования компонентов алгоритма МАСС

Компонент	Колебания обновления стратегии	Скорость покрытия	Средняя межагентная дистанция
Адаптивная обрезка	-20...-40%	+1.5%	+1.43%
Шлюзование	-10...-25%	+2.7%	+2.26%
Централизованный критик	-30...-60%	+12%	+11.9%
Все компоненты МАСС	-42...-73%	+14.8%	+12%

Заключение. В работе представлен алгоритм МАСС, основанный на модифицированном методе РРО и адаптированный для задачи планирования пути покрытия в мультиагентных системах. В алгоритм интегрированы механизмы централизованного критика с контрфактическим базисом, многоголового самовнимания, адаптивной обрезки суррогатной целевой функции и шлюзования преимущества. Эти модификации позволяют повысить устойчивость обучения, корректно распределять вклад между агентами и эффективно поддерживать переменное количество участников.

Список литературы

1. Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., Klimov, O. Proximal Policy Optimization Algorithms [Электронный ресурс]. – arXiv preprint arXiv:1707.06347. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1707.06347> (дата обращения: 21.09.2025).
2. Lowe, R., Wu, Y., Tamar, A., Harb, J., Abbeel, P., Mordatch, I. Multi-Agent Actor-Critic for Mixed Cooperative-Competitive Environments // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2017. – Vol. 30. – P. 6379–6390, 10.48550/arXiv.1706.02275.
3. Foerster, J., Farquhar, G., Afouras, T., Nardelli, N., Whiteson, S. Counterfactual Multi-Agent Policy Gradients // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 32, No. 1. – P. 2974–2982, DOI: 10.5555/3504035.3504398.
4. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., Polosukhin, I. Attention is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008, DOI: 10.5555/3295222.3295349.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ БЕЗМАРКЕРНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ОЦЕНКИ ПОЗЫ ЧЕЛОВЕКА ПО МОНОКУЛЯРНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

Лямцев О.А., ORCID 0009-0005-9487-5688

ФГБНУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, РФ
gelo2003@yandex.ru

Введение. Оценка трехмерной позы человека по одному изображению представляет собой одну из задач компьютерного зрения, заключающуюся в построении скелетной модели тела из набора ключевых точек в трёхмерном пространстве. В последние годы глубокое обучение стало доминирующим подходом для решения этой задачи благодаря своей способности автоматически извлекать сложные пространственные зависимости и моделировать нелинейные отображения между двумерными наблюдениями и трехмерной структурой тела. Однако, несмотря на значительный прогресс, проблема остаётся чрезвычайно сложной из-за фундаментальной неоднозначности обратной задачи: восстановление 3D-координат суставов из 2D-проекции требует учёта окклюзий, вариаций освещения, сложных поз и масштабов, а также отсутствия глубинной информации в исходных данных.

Актуальность. Данная задача актуальна благодаря широкому применению в системах дополненной и виртуальной реальности, робототехнике, медицинской диагностике, спортивной аналитике и анимации. Методы на основе глубокого обучения позволяют восстанавливать трёхмерную позу человека непосредственно из обычных RGB-изображений, что обеспечивает высокую доступность и масштабируемость решений без необходимости в специализированном оборудовании. Несмотря на прогресс, задача сохраняет высокую сложность из-за неоднозначности восстановления глубины и разнообразия реальных условий. Поэтому разработка надёжных, обобщающих и физически корректных методов остаётся важным направлением исследований в компьютерном зрении и машинном обучении.

Целью данной работы является анализ ключевых проблем и методов глубокого обучения в задаче трёхмерного оценивания позы человека по одному изображению, без карт глубины и дополнительного оборудования.

Объект исследования – процесс восстановления трёхмерной позы человека на основе визуальных данных (в частности, одного RGB-изображения).

Предмет исследования – методы, проблемы и архитектуры глубокого обучения, применяемые для решения этой задачи.

В оценке 3D-позы человека выделяют два основных подхода: **генеративный и дискриминативный**. Генеративные методы используют параметрические модели тела и оптимизируют их проекцию на изображение, обеспечивая физическую правдоподобность, но требуя значительных вычислительных ресурсов. Дискриминативные подходы напрямую обучают отображение изображения в позу с помощью нейросетей, обеспечивая высокую скорость и простоту внедрения, особенно при работе с одним RGB-изображением. В последние годы активно развиваются гибридные методы, сочетающие преимущества обоих подходов. В данном исследовании основное внимание уделяется дискриминативным методам как наиболее подходящим для монокулярной оценки позы в условиях ограниченных ресурсов.

В дискриминативном подходе к 3D-оценке позы выделяют три стратегии: **прямую регрессию, подъём (2D-to-3D lifting) и методы на основе тепловых карт**. Прямая регрессия непосредственно предсказывает трёхмерных координат суставов по входным изображениям, но страдает от неоднозначности глубины. Подъём разделяет задачу: сначала детектируется 2D-скелет (например, с помощью OpenPose [1], AlphaPose [2]), затем он преобразуется в 3D, что повышает точность за счёт использования геометрических ограничений. Методы тепловых карт предсказывают вероятностные распределения положений суставов, обеспечивая устойчивость к неопределённости. На практике двухэтапные подходы и тепловые карты демонстрируют лучшие результаты по сравнению с прямой регрессией.

Графовые сверточные сети (GCN) [3] эффективны в 3D-оценке позы, моделируя локальные зависимости между суставами через скелетную топологию, но ограничены в учёте глобальных взаимодействий. **Трансформеры [4]**, напротив, благодаря механизму self-attention, захватывают глобальные корреляции между всеми суставами, что полезно при окклюзиях и сложных позах. Однако они игнорируют анатомическую структуру скелета и хуже моделируют локальные кинематические закономерности. Таким образом, GCN сильны в локальном контексте, трансформеры – в глобальном, но оба подхода имеют компромиссы между топологической осведомлённостью и выразительностью представления.

Ключевые проблемы в трехмерной оценке позы. Основная сложность 3D-оценки позы по одному изображению – неопределённость глубины: разные 3D-позы могут проецироваться в одинаковый 2D-силуэт. Решением является повышение точности путем добавления карт глубины, полученных из RGB-изображений с помощью специализированных нейросетей (например, с помощью MiDaS [5]) в исходное изображение. Дополнительные трудности создаются окклюзиями, вариативностью анатомии и сложными условиями съёмки. Для повышения устойчивости применяются многоакурсные данные и гибридные архитектуры: GCN

моделируют локальную скелетную топологию, а трансформеры – глобальные зависимости. Ограниченная обобщающая способность на реальных данных компенсируется методами обучения без учителя, самообучения, слабого контроля и переноса обучения, снижающими зависимость от объёмной 3D-разметки.

Заключение. Проведённый анализ показал, что задача трёхмерной оценки позы человека по одному RGB-изображению остаётся одной из наиболее сложных и актуальных в компьютерном зрении, несмотря на значительные достижения в области глубокого обучения. Наиболее перспективными для монокулярной постановки являются дискриминативные методы, особенно двухэтапные подходы на основе 2D-to-3D lifting и представления в виде тепловых карт, которые позволяют эффективно справляться с неоднозначностью глубины и обеспечивать высокую точность. Современные архитектуры всё чаще комбинируют преимущества графовых свёрточных сетей и трансформеров, достигая баланса между локальной топологической осведомлённостью и глобальным контекстом. Для преодоления ограничений, связанных с недостатком размеченных данных и низкой обобщающей способностью, активно развиваются методы обучения без учителя, самообучения и переноса знаний. Таким образом, дальнейшее развитие области лежит в направлении создания гибридных, физически обоснованных и ресурсно-эффективных моделей, способных надёжно работать в реальных условиях без использования дополнительного оборудования.

Список литературы

1. Cao Z., Hidalgo G., Simon T., Wei S. E., Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields – 2018. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1812.08008> (дата обращения 10.09.2025).
2. Fang H.-S., Li J., Tang H., Xu C., Zhu H., Lu C. AlphaPose: Whole-Body Regional Multi-Person Pose Estimation and Tracking in Real-Time – 2022. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2211.03375> (дата обращения 11.09.2025)
3. Zheng C., Wu W., Chen C., Yang T., Zhu S., Shen J., Kehtarnavaz N., Shah M. Deep Learning-Based Human Pose Estimation: A Survey – 2023. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2012.13392> (дата обращения 15.09.2025).
4. Yang Z., Loo J. OpenPose: PyCAT4: A Hierarchical Vision Transformer-based Framework for 3D Human Pose Estimation – 2025. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2508.02806> (дата обращения 10.09.2025).
5. Birkl R., Wofk D., Muller M. MiDaS v3.1 – A Model Zoo for Robust Monocular Relative Depth Estimation – 2023. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2307.14460> (дата обращения 13.09.2025).

КОНТРОЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С АВТОМАТАМИ В БЭРОВСКИХ И Р-АДИЧЕСКИХ МЕТРИКАХ

Максименко И.И., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0009-0006-7269-5878

ФГБУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

igor.maksimenko_1967@mail.ru

Введение. Одно из центральных направлений исследования дискретных систем управления является идентификация объектов из конструктивно заданного потенциально бесконечного класса автоматов.

Грунский И.С. и его ученики получили ряд фундаментальных результатов в области экспериментов с конечными автоматами. В работе [1] были представлены концепции идентификаторов состояний, фрагментов и кофрагментов конечных автоматов.

В работе [2] впервые изучались эксперименты в классах автоматов Мили как совокупности конструктивных окрестностей в «бэровских» метрических пространствах. Позднее этот подход был перенесен на специализированные алгебраические структуры [3], алгебры Клини общего вида [4] и решетки со сложностью [5].

Актуальность настоящего подхода состоит в исследовании экспериментов для классов синхронных и асинхронных автоматов Мили в терминах предельных множеств для «бэровских» и р-адических метрик.

Целью данного исследования является разработка базовых принципов представимости синхронных и асинхронных автоматов с сохранением центральных теорем теории экспериментов над конечными автоматами Мили.

Основная часть. Приведем основные понятия и обозначения [1-5].

Под автоматом Мили будем понимать систему вида $A = (S, X, Y, \delta, \lambda, s_0)$, где S, X, Y – конечные алфавиты состояний, входов и выходов соответственно, $\delta \subseteq S \times X \times S$ – функция переходов, а $\lambda \subseteq S \times X \times Y$ – функция выходов, $s_0 \in S$ – начальное состояние [1].

Через $A(U)$ обозначим класс всех конечных (синхронных) всюду определенных, инициально связных, детерминированных автоматов Мили над внешним алфавитом $U = X \times Y$.

Асинхронным автоматом Мили назовем систему $A = (S, X, Y, \delta, \lambda, s_0)$, где S, X – конечные алфавиты состояний и входов соответственно, Y – счетный алфавит выходов, $\delta \subseteq S \times X \times S$ – функция переходов, а $\lambda \subseteq S \times X \times Y$ – функция выходов, $s_0 \in S$ – начальное состояние. Данное понятие обобщает классическое понятие асинхронного автомата [1].

Пусть $A_a(U)$ – класс всех асинхронных всюду определенных, инициально связных, детерминированных автоматов Мили над внешним алфавитом $U = X \times Y$.

Введем также динамический класс автоматов Мили $D(U, A_0)$, который конструктивно порождается деревом, в вершине которого находится «эталонный» автомат A_0 , а дуги дерева отмечены некоторой элементарной операцией «поломки» из конечного множества операций, не увеличивающей число состояний «эталонного» автомата.

Объединение классов синхронных и асинхронных автоматов будем обозначать класс как $A(U)$.

Контрольным экспериментом относительно априорно заданного класса $F \subseteq A(U)$ и автомата-эталона $A \in A(U)$ является такое множество вход-выходных слов $W \subseteq L_A$, что из включения $W \subseteq L_B$ для некоторого $B \in F$, вытекает $A = B$.

Множество всех вход-выходных слов автомата A длины не больше k обозначим через L_A^k .

Для исследования свойств контрольных экспериментов в классе автоматов $A(U)$ введем специальную «бэровскую» метрику β [2]. Также будем рассматривать семейство p -адических метрик β_p , полагая, что $\beta_p(A, B) = 0$, если $A = B$ и $\beta_p(A, B) = \frac{1}{p^k}$, где $L_A^k \neq L_B^k$ и $L_A^{k-1} = L_B^{k-1}$, где p – произвольное простое число, большее или равное мощности множества X . В дальнейшем любую из таких «бэровских» или p -адических метрик обозначим символом α .

Окрестностью с центром $A \in (A(U), \alpha)$ и радиусом $r \in R^+$ назовем следующее множество автоматов $O_r(A) = \{B \mid \alpha(A, B) < r\}$.

Автомат $A \in (A(U), \alpha)$ назовем предельным автоматом класса $F \subseteq A(U)$, если для произвольного $r > 0$ класс автоматов $O_r(A) \cap (F - \{A\})$ не пуст.

Для метрического пространства автоматов Мили $(A(U), \beta)$ справедлив следующий метрический критерий существования контрольного эксперимента

Теорема 1. Множество L_A^k для некоторого натурального числа k является контрольным экспериментом относительно класса $F \subseteq A(U)$ и автомата-эталона $A \in A(U)$ точно тогда, когда автомат A не предельный автомат класса F в «бэровском» метрическом пространстве $(A(U), \beta)$.

Для класса всех асинхронных автоматов Мили имеет место

Утверждение 2.

Контрольный эксперимент не существует в общем случае для класса $A_a(U)$ и произвольного автомата-эталона $A \in A_a(U)$.

Для динамического класса $D(U, A_0)$ выполнено противоположное утверждение

Утверждение 3.

Для класса $D(U, A_0)$ и любого автомата-эталона $A \in A_a(U)$ контрольный эксперимент всегда существует.

Для асинхронных автоматов Мили имеет место некоторая «адельная» демократия контрольных экспериментов

Утверждение 4.

Для всякого класса $F \subseteq A_a(U)$ и автомата-эталона $A \in A_a(U)$ существует контрольный эксперимент в «бэровском» метрическом пространстве $(A_a(U), \beta)$ точно тогда, когда существует контрольный эксперимент в p -адическом пространстве $(A_a(U), \beta_p)$ для любого простого числа p , превышающего мощность множества X .

Заключение. В данном исследовании критерии существования контрольных экспериментов для классов конечных автоматов Мили расширены на классы синхронных и асинхронных автоматов. Кроме того, эти критерии сформулированы в терминах «бэровской» и p -адических метрик.

В дальнейшем планируется более детально исследовать свойства потенциально бесконечного динамического класса автоматов $D(U, A_0)$.

Список литературы

1. Грунский, И. С. Синтез и идентификация автоматов / И. С. Грунский, В. А. Козловский. – Киев.: Наук. думка, 2004. – 245 с.
2. Максименко, И. И. Распознавание в эффективно-заданных классах автоматов / И. И. Максименко // Труды института прикладной математики и механики. – 1998. – Т. 2. – С. 115-123.
3. Максименко, И. И. Финитные представления в алгебраических системах / И. И. Максименко // Труды института прикладной математики и механики. – 2011. – Т. 18. – С. 56-67.
4. Максименко, И. И. Алгебраическая и топологическая представимость решеток / И. И. Максименко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2024. – № 2. – с. 44-50. – EDN RRMOKS.
5. Максименко, И. И. Представимость классов автоматов Мили в терминах бэровских и p -адических метрик / И. И. Максименко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 118-124. – EDN BMUQR.

УДК 004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ДАННЫХ В СЕТЯХ

Максименко И.И., Ганзеева И.В.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
igor.maksimenko_1967@mail.ru, iri.ver@mail.ru

Введение. В настоящее время цифровая экосистема характеризуется экспоненциальным ростом объема, скорости и разнообразия данных, передаваемых по сетям. Традиционные подходы к администрированию и

управлению сетевыми ресурсами, основанные на статических правилах и реактивных моделях, все чаще оказываются несостоятельными перед лицом таких вызовов, как повышенная сложность сетевой инфраструктуры, динамичность трафика и изощренность киберугроз. В этих условиях на первый план выходит задача перехода от ручного администрирования к интеллектуальному, прогнозирующему и автономному управлению.

Глубокое обучение, как наиболее перспективный раздел искусственного интеллекта, предлагает мощный инструментарий для решения этих задач. Способность глубоких нейронных сетей автоматически выявлять сложные, нелинейные зависимости и скрытые паттерны в больших многомерных данных делает их идеальным решением для анализа сетевого трафика, мониторинга производительности и обеспечения безопасности.

Актуальность использования глубокого обучения для администрирования данных в сетях заключается в необходимости перехода от реактивного, ручного управления к проактивному, интеллектуальному и автономному. Это единственный жизнеспособный путь решения проблем, порожденных масштабом, сложностью и динамичностью современных сетевых сред. Данное направление является ключевым для построения сетей следующего поколения, способных к самодиагностике, самозащите и самооптимизации.

Целью данного исследования является систематизация информации о применяемых методах глубокого обучения, оценка их преимущества по сравнению с классическими подходами и обозначение текущих проблем, и будущих направлений развития в области автономного сетевого администрирования.

Основная часть. Глубокое обучение (DL) – это область машинного обучения, которая может использоваться для обучения с контролем, полуконтролем и без контроля [1]. DL расширяет возможности искусственных нейронных сетей (ANNS), добавляя несколько скрытых уровней. DL включает в себя входной, различные скрытые и выходные уровни. В простой сети, как правило, используется только один скрытый слой, но в DL используется несколько скрытых слоев с несколькими нейронами [2]. Алгоритмы DL уже много лет широко применяются в обработке естественного языка (NLP), обработке изображений и беспилотных автомобилях [3]. Тем не менее, они еще недостаточно широко используются в области кибербезопасности.

Глубокая нейронная сеть (DNN) – это усовершенствованная версия ANN, которая состоит из нескольких слоев: входного слоя, нескольких скрытых слоев (по крайней мере, одного) и выходного слоя [4], [5]. DNN позволяет выявить структуру входных данных, лежащую в их основе, а также выявить сложные нелинейные взаимосвязи. DNN можно выполнять для неструктурированных и немаркированных данных. Он используется во многих областях для повышения производительности ML. Однако DNN

уязвим для чрезмерной подгонки, снижающей эффективность обучения модели.

Рекуррентная нейронная сеть (RNN). В рекуррентной нейронной сети выходные данные формальной фазы передаются в качестве входных данных для текущей фазы. Это полезно, когда входы и выходы зависят друг от друга. Скрытый слой в RNN возвращает некоторую информацию о последовательности. Другими словами, RNN обладает своего рода памятью, которая может сохранять прошлые события в последовательности для получения выходных данных. Как правило, обучать RNN сложно из-за проблем с исчезновением в градиенте [6] RNN эффективно используется в различных областях, таких как языковой перевод, создание субтитров к изображениям и распознавание речи [6].

Данный доклад посвящен исследованию возможностей и практических аспектов использования глубоких нейронных сетей для администрирования данных в сетях. В рамках работы будут рассмотрены ключевые архитектуры нейросетей, такие как сверточные (CNN) и рекуррентные (RNN, LSTM) сети, а также трансформеры, применительно к следующим задачам:

- 1) Интеллектуальный анализ трафика и классификация: автоматическое распознавание типов приложений и сервисов.
- 2) Прогнозирование аномалий и сбоев: предсказание перегрузок и отказов сетевого оборудования на основе исторических данных.
- 3) Кибербезопасность: обнаружение вторжений и аномальной активности в режиме, близком к реальному времени.
- 4) Оптимизация ресурсов: динамическое распределение полосы пропускания и маршрутизация трафика для повышения общей эффективности сети.

В процессе реализации проекта по использованию глубокого обучения для администрирования данных в сетях решается широкий спектр взаимосвязанных задач, которые можно разделить на несколько ключевых этапов.

1) Сбор и агрегация данных. Определение источников данных: логи сетевого оборудования (маршрутизаторы, коммутаторы, фаерволы), NetFlow/IPFIX данные, метрики производительности, данные датчиков IDS/IPS. Организация сбора и централизованного хранения потоковых и исторических данных.

2) Предобработка и очистка данных. Нормализация и стандартизация приведение данных к единому масштабу. Кодирование категориальных признаков. Преобразование текстовых данных (например, протокол TCP/UDP) в числовой формат.

3) Разметка данных. Маркировка аномалий определение и присвоение меток для известных сетевых атак, сбоев или аномалий в исторических данных. Формирование «чистых» данных, характеризующих нормальную работу сети, для обучения моделей обнаружения аномалий.

Обучение и валидация модели. Разделение данных на обучающую, вариационную и тестовую выборки. Подбор гиперпараметры настройка скорости обучения, количества слоев и нейронов для достижения максимальной точности. Борьба с переобучением применение методов регуляризации (Dropout, L1/L2)

Заключение. В данном исследовании мы оцениваем применение инструментов искусственного интеллекта, в контексте проблем, связанных с кибербезопасностью, рассмотрев как их преимущества, так и недостатки.

Наши результаты показывают, что глубокая нейронная сеть является перспективным ресурсом для повышения кибербезопасности.

Список литературы

1. Рупак М., Тянь Г. Юн и Чемберс Дж. 'Модели глубокого обучения для обеспечения кибербезопасности в сетях Интернета вещей', в сборнике материалов. IEEE, 9-й ежегодник. Вычислительная техника. Сообщество. Конференция-практикум. (CCWC), январь 2019 г., стр. 0452-0457.
2. Бернард Р. (2019). Глубокое обучение приходит на помощь. [Онлайн]. Доступный: <https://www.go-rbcs.com/columns/deep-learning-to-the-rescue>.
3. Аслан Ö. и Йилмаз А. А. Новая система классификации вредоносных программ, основанная на алгоритмах глубокого обучения // IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – С. 87936-87951.
4. Канциани А., Пашке А. и Кулурчелло Э. 'Анализ моделей глубоких нейронных сетей для практических приложений', 2016, arXiv: 1605.07678.
5. Гулли А. и Пэл С. Глубокое обучение с помощью Keras. – Мумбаи, Индия: Издательство Packt Publishing Ltd, 2017.
6. Берман Д., Бучак А., Чавис Дж. и Корбетт К. Обзор методов глубокого обучения для обеспечения кибербезопасности // Информация. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 122.

УДК 004.042

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Мартыненко А-А.М., ORCID 0009-0006-5009-8773, **Пименов А.Ю.,**

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

a.martinenko@donnu.ru, sosc6285@gmail.com

Введение: Индустрия спортивных комплексов с каждым годом развивается всё больше, в связи с чем возникает потребность работы с объёмными массивами данных: регистрация клиентов, организация тренировок, бронирование залов. Ведение учёта в виде простых таблиц, несомненно, приведёт к ошибкам и замедлению работы персонала. Поэтому необходимо разработать программы, пользователи которых будут легко осваивать их. Сами же программы должны адаптироваться под разные условия и расширяться при росте требований [1, 3].

В отличие от универсальных CRM-систем, требующих значительных ресурсов и предварительной настройки, разрабатываемое приложение ориентировано именно на специфику спортивных комплексов [4]. Оно позволяет внедрить автоматизацию без привлечения сторонних специалистов и дорогостоящего оборудования [7]. Такой подход делает моё приложение востребованным в среде небольших спорт комплексов, которым важна простота эксплуатации и минимальные финансовые затраты [6].

Цель исследования: Создание программного продукта для автоматизации процессов учёта клиентов спортивного комплекса. Для достижения цели изучалась предметная область, проведен анализ требований к подобным информационным системам, исследовались существующие аналоги программного обеспечения и подходы к моделированию и разработке архитектуры приложения [4, 6].

Основная часть: В итоге анализа продуман интерфейс клиентской части и архитектура модулей приложения, способ интеграции разрабатываемой системы с базой данных.

Система построена по модульной схеме: каждый блок отвечает за отдельное направление работы – регистрацию клиентов, формирование расписания, контроль абонементов и административное управление. Такой подход облегчает модернизацию: к программе можно подключать новые функции без переработки всего кода. Кроме того, модульная структура даёт возможность запускать приложение на разных платформах и при необходимости адаптировать его к специфике конкретного спортивного учреждения [3].

Каждый модуль может быть доработан или заменён без вмешательства в остальные компоненты системы, что повышает гибкость и снижает риски ошибок при обновлениях [1]. Такая архитектура облегчает внедрение дополнительных функций: онлайн-бронирования занятий, автоматического формирования отчётности или интеграции с внешними сервисами [3, 5].

Приложение разработано на языке программирования C#, с использованием среды разработки Visual Studio [1]. Выбор обусловлен наличием удобных инструментов для построения интерфейсов и встроенных средств отладки. Для хранения данных применялась XML-структура, обеспечивающая простоту переноса и минимальные требования к инфраструктуре.

В отличие от классических решений с тяжелыми СУБД, предложенный подход делает систему доступной для небольших спортивных учреждений [2].

На рисунке представлен модуль учета клиентов, позволяющий регистрировать данные новых членов спортивной организации, редактировать существующие записи, устанавливать статус и т.д.

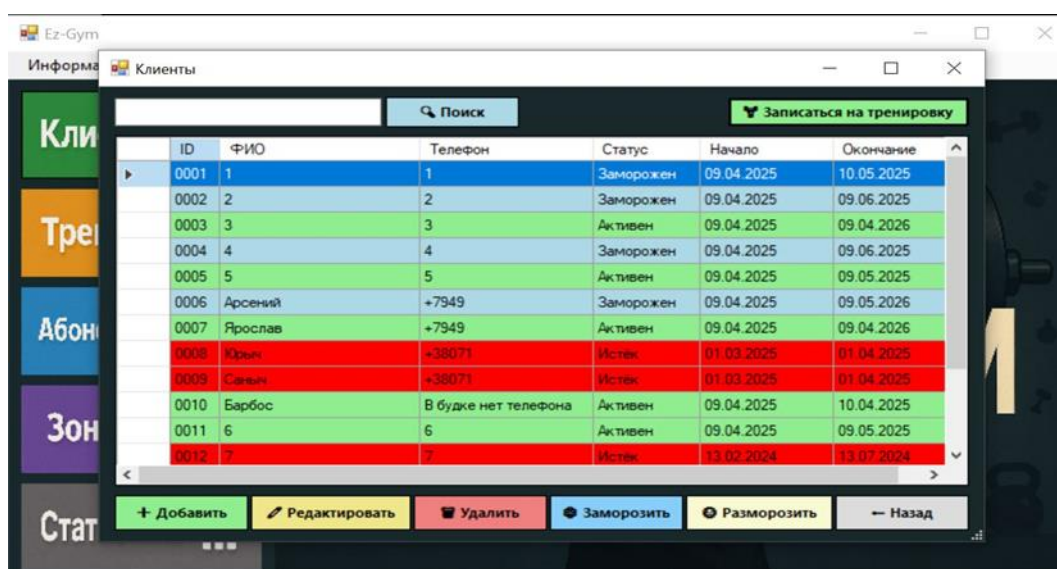


Рис. Элемент интерфейса программы

Разработанное приложение включает в себя следующие основные окна:

1. Окно учета клиентов – регистрация новых пользователей, хранение данных о посещениях и абонементных;
2. Окно тренеров – добавление/редактирование информации о тренерах, их расписание тренировок;
3. Окно абонементов – контроль действующих абонементов;
4. Окно зон – управление спортивными зонами, ведение отчетности и анализ загруженности объектов.

В процессе тестирования приложения не было выявлено каких-либо критических сбоев в работе. Пользователи оставили положительные отзывы о процессе работы в программе. Администраторы отметили удобство внесения данных и построения отчётов и простоту работы с данными о клиентах [4, 5].

Реализация приложения для спортивного комплекса имеет ряд практических преимуществ. Во-первых, автоматизация процессов позволяет сократить время на обработку данных и снизить нагрузку на персонал. Во-вторых, система исключает ошибки, связанные с человеческим фактором, и повышает точность ведения учета. В-третьих, наличие удобного интерфейса делает использование приложения доступным для сотрудников с разным уровнем компьютерной грамотности.

Перспективы развития проекта связаны с интеграцией мобильной версии, которая позволит клиентам самостоятельно записываться на тренировки, оплачивать услуги и отслеживать свое расписание [6, 7].

Внедрение аналитических инструментов для оценки эффективности работы тренеров, прогнозирования посещаемости и формирования маркетинговых предложений будет удобным и современным продолжением начатой работы.

Заключение. Использование этого приложения помогает оптимизировать ключевые процессы спортивного комплекса: упрощает работы с информацией о клиентах, снижает человеческий фактор, влекущий за собой ошибки в работе с клиентами, что само по себе – улучшает качество обслуживания посетителей. Представленный продукт показывает, что даже дешёвые в производстве программные решения способны значительно улучшить качество управления в сфере спортивных услуг.

Список литературы

1. Гамбургер М. Основы программирования на языке С# / М. Гамбургер. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 416 с.
2. Соколов, Д. И. Поршневые компрессоры: справ.: в 2 т. / Д. И. Соколов. – Москва: Вымпел, 2017. – Т. 2. – 183 с. – ISBN 978-5-00112-035-3.
3. ISO/IEC 9126. Software Engineering – Product Quality. International Organization for Standardization, 2001.
4. Белов А. Н. Информационные системы в спорте: опыт внедрения и перспективы развития / А. Н. Белов, П. П. Сидоров // Информационные технологии. – 2022. – №5. – С. 37–42.
5. ГОСТ Р 7.0.100–2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – М.: Стандартинформ, 2019.
6. Petrov A. Digitalization of Sports Infrastructure: Trends and Challenges / A. Petrov, I. Ivanov // Journal of Computer Applications. – 2023. – Vol. 12(2). – P. 15–22.
7. Министерство спорта РФ. Цифровизация спортивной инфраструктуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minsport.gov.ru/> (дата обращения: 19.09.2025).

УДК 004.042

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ШИФРОВАНИЯ И СТЕГАНОГРАФИИ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Мартыненко А-А.М., ORCID 0009-0006-5009-8773,

Тукмачев С.А.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

a.martinenko@donnu.ru, serg.tukmachev2006@mail.ru

Введение. В эпоху цифровых технологий защита конфиденциальной информации становится одной из ключевых задач. Традиционные методы криптографии эффективно шифруют данные, делая их нечитаемыми для посторонних. Однако они не скрывают сам факт передачи зашифрованного сообщения. Такой «видимый» обмен данными может привлечь внимание злоумышленников, которые могут попытаться перехватить и взломать

информацию. Это делает необходимым применение более сложных и комплексных подходов к обеспечению безопасности [1].

В этом контексте актуальность приобретает стеганография – подход скрывать не содержание, а сам факт существования секретного сообщения. В отличие от криптографии, которая концентрируется на превращении читаемого текста в нечитаемый, стеганография направлена на маскировку данных внутри других, безобидных файлов, таких как изображения, аудио- или видеозаписи. Таким образом, комбинация криптографии и стеганографии обеспечивает двойной уровень защиты, что значительно усложняет задачу для потенциальных хакеров.

Целью работы является создание программного продукта, который объединяет методы шифрования и стеганографии, демонстрируя практическую реализацию надёжной системы защиты данных.

Основная часть. Стеганография – это процесс сокрытия данных внутри другого файла-контейнера. Это делается таким образом, чтобы наличие скрытой информации было неочевидным для постороннего наблюдателя. Существуют различные подходы к реализации стеганографии:

Наиболее популярным методом является использование наименее значимых битов (LSB, Least Significant Bit). Этот метод основан на том, что последние биты в байтах, описывающих цвет каждого пикселя, можно заменить на биты скрываемого сообщения без видимых изменений в изображении. Человеческий глаз не способен различить незначительные изменения в цвете, вызванные такой заменой, поэтому изображение выглядит идентично оригиналу.

Помимо LSB, для стеганографии может использоваться альфа-канал. Альфа-канал в форматах, таких как PNG, отвечает за прозрачность пикселя. Он имеет 256 уровней прозрачности, и изменение наименее значимых битов в этом канале также не приводит к заметным визуальным изменениям. Это позволяет скрыть данные в изображении без искажения его цветовой информации.

Стеганография в аудио- и видеофайлах. Аналогичные методы применяются и для других мультимедийных форматов. Например, в аудиофайлах данные могут быть скрыты в наименее слышимых частотах звукового спектра или путем манипуляций с эхо-сигналом. В видеофайлах информация может встраиваться в отдельные кадры, в наименее значимые биты, или даже между кадрами [2].

Для демонстрации эффективности комбинированного подхода было разработано автономное программное обеспечение на языке программирования C# с использованием технологии WPF. Приложение имеет интуитивно понятный графический интерфейс и представляет собой единую систему, способную выполнять как криптографические, так и стеганографические операции [3].

Функциональные возможности приложения включают:

- Пользователь может выбирать различные алгоритмы шифрования и использовать ключ для защиты данных.
- Приложение позволяет внедрять зашифрованный текст в изображения (любой формат изображения). Поддерживается функция Drag-and-Drop для удобства пользователя.
- Извлечение информации из изображения осуществляется при помощи соответствующего алгоритма и ключа, если он использовался.

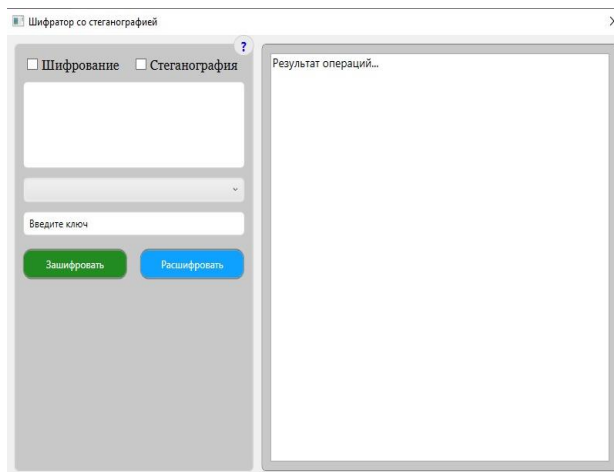


Рис. 1. Графический дизайн приложения

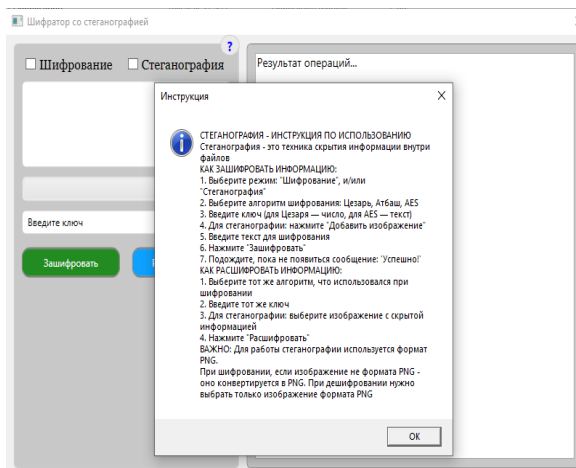


Рис. 2. Инструкция для работы с приложением

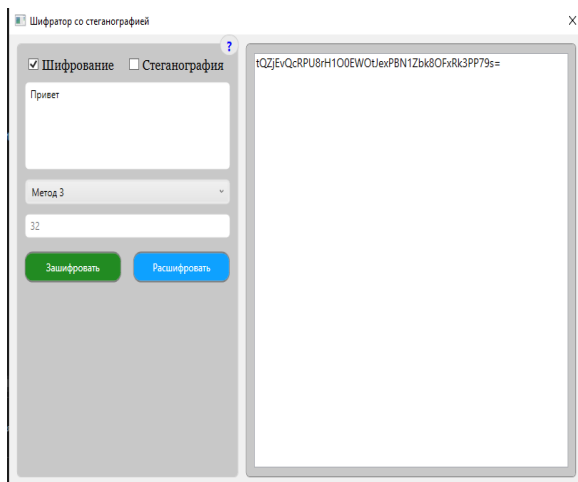


Рис. 3. Шифрование текста

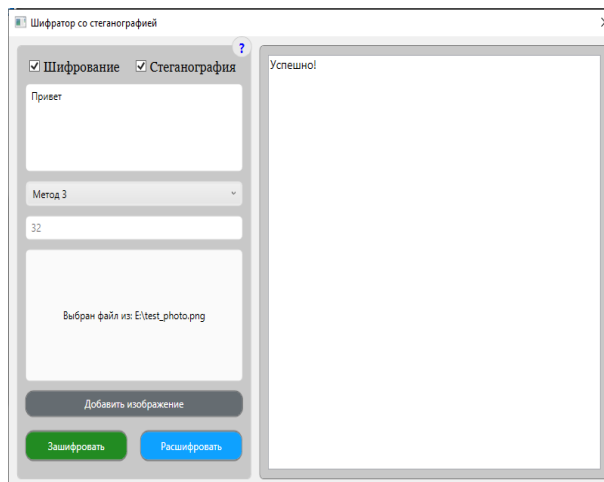


Рис. 4. Стеганография зашифрованного текста

Заключение. Разработанное приложение успешно демонстрирует практическую реализацию шифрования со стеганографией, предоставляя пользователю простой и эффективный инструмент для обеспечения конфиденциальности. Проект имеет потенциал для дальнейшего развития, включая интеграцию новых алгоритмов шифрования и поддержку других типов файлов, что сделает его еще более универсальным.

Проект представляет собой важный шаг к созданию доступных и надёжных инструментов защиты данных в условиях, когда утечки

информации происходят всё чаще, а обеспечение информационной безопасности становится одной из ключевых задач.

Список литературы

1. Герлинг Е. Ю. Использование стеганографии в социальных сетях и мессенджерах / Е. Ю. Герлинг, К. А. Ахrameева // I-methods. – 2022. – Т. 14, № 1. – В сб.: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сб. науч. статей / СПб. гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 63-67.
2. Ахrameева К. А. Сравнительный анализ возможностей использования стеганографического программного обеспечения для скрытого обмена данными в сети Интернет / К. А. Ахrameева, М. Ю. Федосенко // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1. – С. 37-43.
3. metanit.com – [Электронный ресурс]. Режим доступа: – URL. – <https://metanit.com/sharp/wpf>. Дата обращения 18.09.2025

УДК 004.851.2:551.509.313

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ И НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О МЕТЕОПОКАЗАТЕЛЯХ АТМОСФЕРЫ

Марчук Д.Н., ORCID 0009-0006-2898-4365,
Аверин Г.В., д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-1070-3677
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
MaGGiK01@yandex.ru

Введение. Прогнозирование погоды критически важно для экономики и безопасности общества. Традиционные физические модели (например, GCM, модели ЕМЕР) требуют огромных вычислительных ресурсов, а существующие нейросетевые подходы обычно игнорируют законы физики атмосферы, что снижает их надежность. Гибридный подход, сочетающий оба метода, позволяет преодолеть эти ограничения.

Актуальность работы. Существует явная необходимость в создании эффективных и точных моделей прогнозирования погоды и климата, которые сочетали бы в себе физическое содержание процессов и способность машинного обучения выявлять сложные скрытые паттерны в больших метеоданных [1].

Цель работы: разработать архитектуру гибридной (аналитико-нейросетевой) модели прогнозирования метеопоказателей, интегрирующей фундаментальные физические законы и методы глубокого обучения для повышения точности и достоверности краткосрочных прогнозов.

Решаемые задачи: проведение анализа существующих аналитических (физических) и нейросетевых моделей; разработка архитектуры гибридной модели на основе Physics-Informed Neural Networks (PINN) [2]; определение набора метеопоказателей и временного горизонта для прогнозирования; формализация и интеграция физических закономерностей в функцию потерь нейронной сети.

Основная часть. Физическая модель системы предусматривает рассмотрение атмосферы как открытой динамической неравновесной системы, которая описывается законами физики. В основе аналитической компоненты модели лежит совокупность уравнений, включающая: уравнения Навье-Стокса для движения сжимаемой жидкости с учетом силы Кориолиса; уравнение неразрывности; уравнения переноса тепла и влаги; уравнение состояния воздушной среды; эмпирические параметры и показатели, характеризующие свойства атмосферы.

Методы численного решения такой системы уравнений с учетом краевых условий (например, как это делается в моделях Global Circulation Models или GCM) требуют громадных вычислительных ресурсов и точного задания множества параметров, которые, в свою очередь, определяются с помощью методов усвоения данных (data assimilation).

В рамках гибридного подхода используется не прямое решение, а дифференциальные операторы этих уравнений для формирования физически информированной функции потерь [2].

В нейросетевой компоненте для выявления скрытых паттернов в данных предлагается использовать и сравнивать различные архитектуры глубокого обучения: LSTM (для выявления долгосрочных временных зависимостей), временные сверточные сети (TCN) (как эффективную альтернативу RNN) и трансформеры (для определения наиболее важных временных точек с помощью механизма самовнимания). Входные данные включают стандартизованные временные ряды температуры, давления, влажности, компоненты вектора скорости ветра и солнечной радиации.

Входные данные для всех нейросетевых моделей включают стандартизованные временные ряды температуры, давления, влажности, компоненты вектора поля скоростей (u , v) и солнечной радиации, а также эмпирические показатели.

Для работы с пространственными данными (например, с сетью метеостанций) могут применяться графовые нейронные сети (GNN), где станции представляются как узлы графа, а расстояния между ними – как ребра.

Архитектура гибридной модели на основе PINN. Ключевой особенностью является глубокая интеграция моделей по методологии PINN [2]. Процесс обучения включает:

1. Прямой проход: нейронная сеть выдает прогноз на основе исторических данных;

2. Расчет Data Loss: вычисляется стандартная ошибка между прогнозом и реальными данными;

3. Расчет Physics Loss (ядро метода): С помощью автоматического дифференцирования вычисляются производные от предсказанных полей, которые подставляются в аналитические уравнения. Физический штраф вычисляется как мера отклонения результата уравнения от нуля;

4. Минимизация совокупной функции потерь: Общая функция потерь $L_{total} = L_{data} + \lambda * L_{physics}$ минимизируется оптимизатором. Параметр λ регулирует вес физического ограничения, выступая в роли мощного регуляризатора и обеспечивая физическую правдоподобность прогнозов [2].

Ожидаемые результаты и преимущества. Предполагается, что предложенная гибридная архитектура превзойдет по метрикам (RMSE, MAE), как ориентированные на данные нейромодели, так и классические численные методы на коротких и сверхкоротких горизонтах прогнозирования (nowcasting).

Основные преимущества:

1. Повышенная точность за счет комбинации паттернов в данных и априорных физических знаний;

2. Физическая состоятельность: прогнозы не нарушают базовые законы сохранения;

3. Эффективность: прогноз делается одним проходом сети;

4. Робастность: учет физики позволяет давать адекватные прогнозы при неполных или зашумленных данных.

Заключение. Предложенный гибридный подход интегрирует физические законы в нейросетевую модель через функцию потерь. Это обеспечивает создание более точных, эффективных и физически обоснованных систем прогнозирования погоды. Модель обладает значительным потенциалом для развития, включая работу со спутниковыми снимками и данными мониторинга. Перспективным направлением также является масштабирование подхода для задач долгосрочного климатического моделирования.

Список литературы

1. Pathak J., Wikne, A., Fussell R., Chandra S., Hunt B. R., Girvan M., & Ott, E. (2018). Hybrid forecasting of chaotic processes: Using machine learning in conjunction with a knowledge-based model. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*.
2. Raissi M., Perdikaris P., & Karniadakis G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*.
3. Schultz M. G., Betancourt C., Gong B., Kleinert F., Langguth M., Leufen L. H., Stadler S. (2021). Can deep learning beat numerical weather prediction? *Philosophical Transactions of the Royal Society A*.
4. Hochreiter S., & Schmidhuber J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*.
5. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Polosukhin I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Моргунов Н.Р., Сеченева Е.В., Судаков Д.Е.

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, РФ
*morgunov68ru@gmail.com, ekaterina48_48_secheneva@mail.ru,
sudakov.dima1702@yandex.ru.*

В современной клинической практике важную роль играют методы визуализации, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ) и ультразвуковая диагностика (УЗИ). С их помощью можно определять многочисленные патологии уже в начальной фазе, оценивать структуру и функциональные характеристики органов и тканей, а также отслеживать эффективность назначенного лечения. Тем не менее, анализ подобных изображений требует высокой квалификации радиолога, отнимает значительное время и часто сопряжён с субъективными оценками. Это создаёт необходимые условия для внедрения технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта (ИИ), способных улучшить точность диагностики и снизить нагрузку на медицинских специалистов

Технологии компьютерного зрения в сочетании с методами машинного обучения широко применяются для решения задач классификации, сегментации и обнаружения патологий. Для задач классификации ключевую роль играют сверточные нейронные сети, способные различать патологические образования и здоровые ткани. Сегментация применяется для выделения зон интереса на изображении, например, опухолей или сосудистых структур. В данной области наиболее часто используют архитектуру U-Net и её модификации, которые позволяют точно отделять контуры опухолей на МРТ или очаги ишемии на КТ. Для решения задач обнаружения и локализации патологий всё более популярными становятся модели вроде YOLO и Faster R-CNN, которые способны в режиме реального времени выявлять подозрительные области.

Практические результаты использования таких технологий подтверждают их эффективность. К примеру, в работе по автоматическому анализу ультразвуковых изображений печени система, основанная на алгоритмах искусственного интеллекта, достигла точности распознавания доброкачественных и злокачественных очагов на уровне 96,9 %. Чувствительность при выявлении гепатоцеллюлярной карциномы возросла с 73,6 % у врачей до 78,1 % при применении алгоритма, а показатели специфичности и отрицательной прогностической ценности превысили

97 %. В другом исследовании, посвящённом использованию ИИ-системы для УЗИ молочных желез, была зафиксирована чувствительность 100 % в обнаружении злокачественных опухолей, что указывает на отсутствие пропусков, однако специфичность составила приблизительно 52 %, а общая точность – около 72 %. Следовательно, система смогла устранить риск пропуска рака, но сопровождалась ростом количества ложноположительных результатов.

Не менее значимые результаты демонстрируются при внедрении искусственного интеллекта в МРТ и КТ. Например, классификаторы, анализирующие области тела по данным этих исследований, достигают точности примерно 92 % для КТ и свыше 94 % для МРТ, что делает возможной автоматизацию предварительной сортировки данных в клинической практике. В сфере обработки изображений методы глубокого обучения способны не лишь увеличить точность диагностики, но и улучшить качество получаемых изображений. Применение алгоритмов суперразрешения и генеративных нейросетей помогает уменьшить шум, компенсировать артефакты, связанные с движением пациента, а также заметно снизить количество контрастных веществ или дозу рентгеновского излучения. Так, согласно исследованиям, использование ИИ позволяет уменьшить дозу контрастного агента при МРТ на 80-90 %, при этом не ухудшая диагностическую информативность.

Плюсы подобных методов ясно видны. Применение ИИ дает возможность в корне ускорить обработку снимков, тем самым облегчая работу врачей и повышая её продуктивность. Алгоритмы компьютерного зрения усиливают чувствительность и точность выявления патологий, в том числе на самых ранних этапах, когда визуальные проявления еще слабы. Эти решения помогают менее подготовленным врачам, унифицируя этап интерпретации и сокращая субъективные отклонения в оценке изображений. Кроме того, безопасность пациентов растёт, поскольку снижается уровень облучения и уменьшается потребность в повторных исследованиях.

Тем не менее существуют ограничения, препятствующих широкому внедрению технологий. Основная сложность заключается в требовании наличия обширных и тщательно размеченных наборов данных. Кроме того, модели зачастую обучаются на снимках, полученных в единственном медицинском центре, что приводит к снижению их точности при применении в иных условиях. Так называемая проблема обобщаемости приводит к тому, что показатели точности и чувствительности могут значительно снижаться на новых данных. Также остаётся вопрос объяснимости: большинство нейронных сетей функционируют как «чёрный ящик», что вызывает недоверие у врачей. Важную роль играют и этические вопросы, включая защиту персональных данных пациентов и юридическую ответственность за ошибки алгоритма.

Перспективы развития данного направления связаны с созданием универсальных моделей искусственного интеллекта для медицинской визуализации, способных адаптироваться под различные задачи. Все более растет интерес к созданию таких ИИ, позволяющих врачу не просто увидеть результат, но и понять, на чем он основан. Внедрение подобных решений в ежедневную клиническую практику даст возможность существенно увеличить эффективность диагностики, сократить расходы времени и ресурсов, а главное – повысить уровень медицинского обслуживания и улучшить результаты лечения пациентов.

Таким образом, использование методов компьютерного зрения и искусственного интеллекта в анализе медицинских изображений представляет собой одно из наиболее перспективных направлений современной биомедицинской инженерии. Существующие исследования демонстрируют высокую точность, в ряде случаев превышающую 95 %, а также существенное повышение чувствительности при выявлении сложных патологий. Однако для практического внедрения необходимо решать вопросы стандартизации данных, интерпретируемости моделей и их сертификации в медицинской сфере.

Список литературы

1. Минченков М. В. Алгоритм автоматической сегментации изображений для систем технического зрения / М. В. Минченков, А. В. Хельвас, Д. В. Юрин // Обработка информации и моделирование: сб. тр. – М.: МФТИ, 2002.
2. Васильев Ю. А. Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике / Ю. А. Васильев, А. В. Владзимирский, О. В. Омелянская др. // Медицинская визуализация. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 22–41. – DOI: <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1425>.
3. Шарова Д. Е. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Первая в мире серия национальных стандартов / Д. Е. Шарова, С. В. Гарбук, Ю. А. Васильев // Стандарты и качество. – 2023. – № 1. – С. 46–51.

УДК 004.932.2

МЕТОДЫ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ: ОБЗОР АРХИТЕКТУР, ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ И СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ

Мороз Е.С., ORCID 0009-0001-2472-9328

ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк, РФ
azidaan.moroz@yandex.com

Введение. Современные технологии компьютерного зрения применяются в самых разных областях – от автономного вождения и

медицины до робототехники и анализа ландшафтов. Семантическая сегментация решает задачу попиксельной классификации, обеспечивая глубокое пространственное понимание сцены и автоматизацию задач с требованиями к точной локализации. Она тесно связана с детекцией, ориентированным детектированием, instance- и panoptic-сегментацией, каждая из которых дополняет общий подход к анализу изображений. Основные вызовы – вариативность форм объектов, дисбаланс классов и высокая вычислительная сложность – подчёркивают важность корректной математической постановки задачи, выбора функций потерь и метрик качества для надёжного обучения и оценки моделей [1].

Цель. Проведение систематического анализа методов семантической сегментации, включающего:

1. обзор современных подходов к обнаружению и сегментации объектов, включая ориентированное и панорамное детектирование;
2. формализацию задачи семантической сегментации с акцентом на функции потерь и метрики качества;
3. выявление преимуществ и ограничений существующих методов и определение перспектив их дальнейшего развития.

Основная часть. Семантическая сегментация является ключевой задачей компьютерного зрения, направленной на попиксельную классификацию изображения и обеспечивающей глубокое понимание сцены для прикладных задач – автономного вождения, медицинской диагностики, робототехники и промконтроля. В подходах к анализу изображений выделяются взаимосвязанные задачи: обнаружение объектов, ориентированное обнаружение, сегментация экземпляров и панорамная сегментация, каждая из которых решает свою часть проблемы понимания сцены. Обнаружение объектов фокусируется на локализации и классификации посредством ограничивающих рамок; современные методы делятся на одноэтапные, такие как YOLO и SSD, обеспечивающие высокую скорость, и двухэтапные, например Faster R-CNN, обеспечивающие более высокую точность за счёт генерации и уточнения регионов-кандидатов. Ориентированное обнаружение расширяет классическую задачу, вводя рамки с произвольным углом наклона для корректной локализации вытянутых и наклонных объектов, но при этом повышая вычислительную сложность. Сегментация экземпляров позволяет отделять отдельные объекты одного класса и реализуется как через двухэтапные решения (Mask R-CNN), так и через одноэтапные и трансформерные подходы; появление foundation-моделей, таких как SAM, продемонстрировало мощную обобщающую способность и возможность сегментировать ранее не встречавшиеся объекты. Классическая семантическая сегментация обеспечивает карту классов для каждого пикселя, что даёт полное пространственное распределение, однако не различает экземпляры и требует значительного объёма размеченных

данных. Панорамная сегментация объединяет семантический и экземплярный подходы, предоставляя наиболее всеобъемлющее представление сцены, но предъявляет высокие требования к архитектурам и вычислительным ресурсам. Формальная постановка задачи семантической сегментации предполагает отображение входного изображения размера $H \times W \times C$ в карту меток тех же пространственных размеров, где каждому пикселю сопоставлен класс из множества K . Ключевым элементом обучения являются функции потерь, которые по уровню фокуса можно разделить на пиксельные, региональные и граничные. Пиксельные функции, например Cross-Entropy, измеряют ошибку классификации по каждому пикселю независимо и плохо справляются при сильном дисбалансе классов; Focal Loss смещает внимание на трудные примеры. Региональные функции, такие как Dice Loss, Jaccard (IoU) и Tversky Loss, оценивают совпадение предсказанных и эталонных масок и особенно полезны при работе с малыми объектами и несбалансированными классами; их модификации повышают устойчивость и учитывают семантическую близость классов [2].

Граничные функции потерь – Boundary Loss, Hausdorff Distance Loss, Active Boundary Loss – улучшают качество выделения контуров и критичны для задач, где важна точность границ, например в медицине [3]. Часто используют комбинированные функции (Combo Loss, Unified Focal Loss), объединяющие преимущества разных подходов и повышающие стабильность обучения. Оценка качества сегментации проводится с использованием набора метрик, каждая из которых даёт свой взгляд на результаты. Пиксельные метрики – Pixel Accuracy, Mean Pixel Accuracy, Frequency Weighted Pixel Accuracy – просты в интерпретации, но уязвимы к дисбалансу классов. Региональные метрики – Intersection over Union (IoU), Mean IoU, Dice Coefficient – отражают степень совпадения масок и являются более информативными для задач сегментации. Граничные метрики – Boundary F1, Hausdorff Distance, Average Surface Distance – измеряют точность контуров и важны при анализе тонких структур. Дополнительно применяются информационно-теоретические метрики (Mutual Information, Variation of Information) для оценки согласованности распределений предсказаний и эталонных данных. Основные проблемы оценки связаны с дисбалансом классов, влиянием размера объектов, сложностью сцен и субъективностью экспертной разметки, что требует комбинированного подхода – автоматических и экспертных проверок [4].

Оптимизация моделей базируется на градиентных методах и их адаптивных версиях – Adam, RMSProp, Adagrad – а также на регуляризации (Dropout, Batch Normalization, weight decay) и продуманных схемах изменения скорости обучения (циклический learning rate, warm restarts). Выбор архитектуры и функций потерь должен соотноситься с особенностями задачи – требованиями к точности границ, скоростью обработки и доступными вычислительными ресурсами [5].

Заключение. Семантическая сегментация превращает пиксели в семантические карты, обеспечивая точное локальное понимание сцены. Качество решений определяется архитектурой, функциями потерь и продуманной системой метрик. Трансформеры и foundation-модели расширяют универсальность – облегчают работу с ограниченной разметкой и ранее невиданными объектами. Сочетание пиксельных, региональных и граничных loss-функций повышает робастность при шуме и дисбалансе классов. Практический выбор инструментов должен учитывать требования к точности, скорости и вычислительным ресурсам для достижения оптимального баланса.

Список литературы

1. Segment Anything // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). / A. Kirillov, E. Mintun, N. Ravi et al. – 2023. – P. 2957–2966. – DOI: 10.48550/arXiv.2304.02643. – Текст: электронный.
2. Adapting Segment Anything Model for Unseen Object Instance Segmentation: preprint / R. Cao, C. Song, B. Yang et al. – 2024. – arXiv:2409.15481. – Текст: электронный. – URL: <https://arxiv.org/abs/2409.15481> (дата обращения: 22.09.2025).
3. Mazurowski, M. A. Segment Anything Model for medical image analysis: an experimental study / M. A. Mazurowski // Medical Image Analysis. – 2023. – Vol. 89. – Article 102918. – DOI: 10.1016/j.media.2023.102918. – Текст: электронный.
4. SAM 2: Segment Anything in Images and Videos: preprint / N. Ravi, V. Gabeur, Y.-T. Hu et al. – 2024. – arXiv:2408.00714. – Текст: электронный. – URL: <https://arxiv.org/abs/2408.00714> (дата обращения: 22.09.2025).
5. Loss Functions in the Era of Semantic Segmentation: A Survey and Outlook: preprint / R. Azad, M. Heidari, K. Yilmaz et al. – 2023. – arXiv:2312.05391. – Текст: электронный. – URL: <https://arxiv.org/abs/2312.05391> (дата обращения: 22.09.2025).

УДК 004.05

ИНТЕРАКТИВНАЯ СРЕДА ДЛЯ СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНОГО КОДА

Мотос Д.А., ORCID 0009-0004-4296-5051,

Егармин П.А., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0008-5397-7321

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Красноярский край, РФ
nic10100055@gmail.com, egarmi@yandex.ru

Введение. Сфера 3D-моделирования стремительно развивается и проникает в различные отрасли [1]. Онлайн-платформы, такие как Sketchfab [2] и CGTrader [3], играют ключевую роль в обмене моделями и их демонстрации. При этом российские создатели 3D-контента сталкиваются с ограничениями на зарубежных площадках, вызванными

недостатком инструментов для продвижения и ограниченным доступом к ключевым сервисам [4].

В связи с этим актуальной представляется разработка отечественной платформы, которая обеспечила бы независимость российских авторов, а также предоставила им возможности для продвижения, монетизации и формирования профессионального сообщества.

Цель работы – разработка концепции новой отечественной платформы для распространения и демонстрации 3D-моделей, которая может стать полноценной альтернативой зарубежным аналогам, в частности сервису Sketchfab [2].

Задачи работы:

- выявить ключевые функциональные требования к платформе для эффективной работы 3D-художников и разработчиков;
- обосновать актуальность и востребованность подобной платформы на российском рынке;
- определить преимущества и особенности платформы, направленные на продвижение, монетизацию и взаимодействие с аудиторией;
- рассмотреть возможные подходы к технической реализации с использованием современных технологий [5].

Основная часть. Концепция платформы предполагает создание веб-сайта и мобильного приложения, где 3D-художники, дизайнеры и программисты смогут демонстрировать свои работы в интерактивном режиме: исследовать модели со всех сторон, взаимодействовать с кодом, делиться проектами, получать обратную связь и находить партнеров.

Ключевые функциональные возможности платформы:

1. Интерактивная демонстрация 3D-моделей:

- загрузка и интерактивный просмотр моделей (вращение, масштабирование) непосредственно в браузере без необходимости установки дополнительных плагинов. В качестве основного формата для веб-отображения предлагается использовать glTF (GL Transmission Format), как современный и эффективный стандарт [1];
- поддержка распространенных форматов 3D-моделей (glTF, FBX, OBJ и др.);
- возможность добавления детального описания к модели: использованное программное обеспечение, текстуры, время создания и т.д.;
- интеграция с популярными 3D-движками для предварительного просмотра интерактивных сцен.

2. Публикация и совместная работа над кодом:

- публикация фрагментов кода, скриптов, шейдеров и целых проектов с подсветкой синтаксиса;
- поддержка языков программирования, распространенных в 3D-разработке (C#, C++, Python, GLSL и др.);

- интеграция с системами контроля версий (Git) для организации совместной работы над проектами;

- возможность комментирования и обсуждения кода для обмена знаниями.

3. Персонализированные профили и социальные функции:

- создание подробных профилей с информацией о навыках, опыте и используемом программном обеспечении;

- формирование портфолио из избранных работ;

- система подписок для отслеживания активности интересующих авторов;

- система комментариев и оценок для каждой опубликованной работы, а также создание тематических групп для обсуждений.

4. Дополнительные функции для поддержания активности сообщества:

- проведение регулярных конкурсов и челленджей для стимулирования творчества;

- раздел с обучающими материалами, статьями и блогами от опытных специалистов;

- новостная лента с анонсами событий индустрии, обновлений программного обеспечения;

- форумы и чаты для общения, обмена опытом.

Актуальность платформы обусловлена существующими ограничениями для российских авторов на зарубежных площадках. Предлагаемая концепция предоставляет уникальный набор инструментов для визуализации, коллаборации и построения сообщества, что делает ее востребованной на российском рынке.

Техническая реализация. Backend: C# (.NET), ASP.NET Core Web API (для API); Entity Framework Core (для базы данных); SQL Server (база данных); ASP.NET Core Identity (аутентификация). Выбор стека технологий .NET обусловлен его производительностью, кроссплатформенностью и широкими возможностями для разработки сложных веб-решений [5].

Frontend (Website): Blazor.

Mobile Apps: Xamarin, NET MAUI.

Архитектура: REST API.

Инфраструктура: Microsoft Azure.

Заключение. В работе рассмотрены ключевые аспекты создания платформы для авторов 3D-контента, включая функциональные требования и варианты технической реализации. Подчеркнута важность выбора технологического стека и архитектуры для достижения целей проекта по продвижению, монетизации и взаимодействию с аудиторией. Разработанная концепция представляет собой основу для дальнейшего технического проектирования и реализации платформы.

Список литературы

1. The glTF Ecosystem: Challenges and Opportunities / P. Vangorp, K. Vanhoey // Journal of Computer Graphics Techniques. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 1-15.
2. Sketchfab [Электронный ресурс]. – URL: <https://sketchfab.com/> (дата обращения: 25.09.2025).
3. CGTrader [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cgtrader.com/> (дата обращения: 25.09.2025).
4. Обзор рынка цифрового контента в России: вызовы и перспективы в новых условиях // Аналитический отчет Ассоциации электронных коммуникаций (РАЭК). – М., 2023. – 45 с.
5. Building Web APIs with ASP.NET Core: Developing Cloud-Native Applications / R. Page, K. Hirata. – O'Reilly Media, 2023.

УДК 004.853

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНСТРУМЕНТОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ PDF-ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Мухин П.М., ORCID 0009-0003-3253-7718,
Резниченко Т.А., канд. физ.-мат. наук, доц., ORCID 0009-0009-4661-3869
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский
университет», г. Белгород, РФ
pavel.muhin011@gmail.com, reznichenko_t@bsuedu.ru

Несмотря на широкое распространение цифровых форматов, значительная доля информации всё ещё хранится либо в сканированном виде, либо как PDF-файлы со сложной вёрсткой. Для ее использования в информационных технологиях и системах искусственного интеллекта необходимы эффективные, точные и универсальные инструменты.

Целью данного исследования является проведение анализа существующих программных решений для извлечения данных из PDF-документов и выявление наиболее эффективных инструментов для использования в задачах создания ИИ-помощников.

Наиболее популярные архитектуры современных ИИ-помощников используют внешние базы знаний для формирования контекста, прежде чем генерировать ответ с помощью LLM (Large Language Model, большая языковая модель). В базе знаний обычно содержится специфичная информация для конкретной компании и отрасли [2].

Источники такой проприетарной информации часто представлены в виде сканов или неструктурированных форматов, например PDF, что требует надежных методов парсинга и извлечения содержимого. В ходе

анализа предметной области выделено четыре основные категории инструментов для извлечения данных из PDF-документов:

- классические OCR-инструменты;
- программные библиотеки для прямого извлечения текста;
- специализированные решения для обработки

неструктурированных данных;

- мультимодальные LLM.

OCR (Optical Character Recognition, оптическое распознавание символов) – это проверенная временем технология компьютерного зрения для распознавания текста на изображениях и сканированных документах. Среди популярных инструментов выделяют Python библиотеки PyTesseract, EasyOCR и Keras-OCR. Однако для получения приемлемого качества результата необходимо проводить тщательную предобработку изображений – корректировать контраст, устранять искажения, удалять артефакты и шум. После извлечения текста, как правило, требуется постобработка – нормализация пробелов, исправление ошибок распознавания и восстановление структуры документа.

С появлением мультимодальных LLM, таких как GPT-4 и Claude 3.5, появилась возможность обрабатывать PDF-документы, предварительно конвертируя их в изображения. Вместо классического OCR, где происходит посимвольное распознавание, мультимодальные модели работают иначе – они «понимают» контекст содержимого и генерируют близкий к нему по смыслу текст [6].

OCR незаменимо для сканов, но требует сильной предобработки и дает среднюю точность, часто не сохраняет структуру. Мультимодальные LLM полезны для общего понимания PDF, но не подходят для точного распознавания текста, т.к. возможны искажения и «галлюцинации», то есть генерации текста, который выглядит правдоподобно, но может содержать неточности, особенно в цифрах, символах или редких терминах.

Когда PDF-документ содержит встроенные текстовые слои, гораздо эффективнее использовать специализированные библиотеки Python для работы с PDF, такие как PyPDF, PDFPlumber, PyMuPDF и другие. Эти инструменты оперируют не с изображениями, а с внутренней структурой PDF-файла, включая текстовые блоки, шрифты, кодировки и позиции символов.

Современные проекты по развитию интеллектуальных систем все же нуждаются в специализированных инструментах, способных извлекать данные из сложных, плохо структурированных документов. Для этих целей были разработаны программные решения, такие как Docling, Unstructured и LlamaParse. Они представляют собой более интеллектуальный уровень извлечения, совмещая классический OCR с моделями глубокого обучения для обработки естественного языка и анализа верстки. Работать с ними можно через соответствующие Python библиотеки или через интерфейс командной строки [5].

Python библиотека Docling, разработанная компанией IBM Research, является одним из самых популярных решений среди разработчиков ИИ-систем. Данная библиотека позволяет конвертировать PDF-документы в универсальный формат DoclingDocument, содержащий всю семантическую и визуальную структуру оригинала. Конвертированный документ можно сохранить в различных форматах, например JSON и Markdown [4].

Помимо прочего, согласно исследованиям, между временем конвертации PDF-документа в формат DoclingDocument и количеством его страниц наблюдается положительная линейная корреляция, что выделяет Docling среди конкурентов [5].

В таблице 1 представлено сравнение инструментов извлечения данных из PDF-документов и их подготовки для генеративных ИИ систем.

Таблица

Сравнение инструментов для извлечения данных из PDF

Категория инструментов	Сложность использования	Точность	Скорость	Стоимость	Локальность
Классический OCR (PyTesseract, EasyOCR и др.)	Высокая	Средняя/низкая	Средняя/низкая	Чаще бесплатно (Open Source)	Локально
Python-библиотеки для PDF (PyPDF, PyMuPDF и др.)	Низкая	Высокая	Высокая	Бесплатно (Open Source)	Локально
Инструменты для работы с неструкт. данными (Docling, Unstructured и др.)	Средняя	Высокая	Средняя/низкая	Чаще бесплатно (Open Source / API)	Локально/в облаке
Мультимодальные LLM (GPT-4, Claude 3.5 и др.)	Средняя	Средняя/высокая	Высокая/средняя	Разная (Open Source / API)	Локально/в облаке

Таким образом, выбор подходящего инструмента зависит от типа документа, требований к точности, инфраструктуры и целей использования.

Python-библиотеки, такие как PyPDF и PyMuPDF, – лучший выбор для несложных текстовых PDF, обеспечивающий высокую скорость и точность обработки. Docling и Unstructured – универсальные и мощные решения для сложных документов с версткой, таблицами и изображениями.

Будущие исследования в данной предметной области могут быть направлены на изучение методов обработки и представления сложных текстовых и графических элементов, например формул и диаграмм.

Список литературы

1. Кибербезопасность. RAG (Retrieval Augmented Generation) [Текст] / А. В. Аменицкий, И. В. Рухович, Л. А. Аменицкая, Д. А. Аменицкий // Наука, общество, технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: монография. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 166-180. – EDN BEOFAM.
2. Документация Python-библиотеки PyPDF версия 5.7.0 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://pypdf.readthedocs.io/en/stable/user/extract-text.html#ocr-vs-text-extraction>. – (дата обращения 04.07.2025).
3. Документация проекта Docling версия 2.39.0 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://docling-project.github.io/docling/>. – (дата обращения 04.07.2025).
4. Arash Javanmard. PDF Data Extraction Benchmark 2025: Comparing Docling, Unstructured, and LlamaParse for Document Processing Pipelines [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://procycos.com/en/blogs/pdf-data-extraction-benchmark/>. – (дата обращения 04.07.2025).

УДК 004.912:519'21

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СХОЖЕСТИ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Никитенко К.А., ORCID 0009-0000-3595-1592,

Звягинцева А.В., д-р техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-2218-9230

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

n1kitenkok@yandex.ru, a.zvyagintseva@donnu.ru

Введение. Современные методы обработки естественного языка требуют не только синтаксического, но и семантического анализа реплик пользователя. Поскольку один смысл может быть выражен множеством способов, ключевой задачей становится оценка семантической близости предложений. Перспективным направлением являются вероятностные методы, позволяющие моделировать неопределённость и статистические связи между словами и фразами. Эти подходы находятся на стыке лингвистики, статистики и машинного обучения и открывают возможности для более точного анализа смыслового содержания текстов.

Цель работы – систематизировать вероятностные методы оценки семантической близости предложений, выявить их особенности, преимущества и ограничения, а также определить перспективы их развития.

Основная часть. Семантическая близость – это мера степени сходства смыслов двух языковых выражений (слов, фраз или предложений), отражающая насколько они близки по значению независимо от различий в форме или структуре [1]. Например, «Ты хочешь

поесть?» и «Ты голоден?» имеют высокую близость, а «Ты голоден?» и «Сегодня идёт дождь?» – низкую.

Оценка семантической близости осложняется наличием синонимов, сильной контекстной зависимостью значений и вариативностью естественного языка, когда один смысл выражается разными формулировками. Основными трудностями являются:

1. Синонимичность: разные слова или выражения могут обозначать один и тот же смысл. Система должна уметь распознавать такие случаи, иначе близость будет занижена;

2. Контекстная зависимость: значение слов и предложений определяется обстоятельствами их употребления. Одно и то же выражение может иметь разные смыслы: «ключ» как инструмент и «ключ» как источник воды;

3. Вариативность речевых формулировок: один и тот же смысл можно выразить десятками разных способов (например: «ты идёшь домой?» и «Ты собираешься возвращаться?»). По отдельным словам они почти не совпадают, но семантически близки.

Задача оценки семантической близости с помощью вероятностных методов состоит в сопоставлении текстов на основе их формализации в виде вероятностных моделей. Представление текстов в виде формальных систем позволяет применять статистические инструменты для получения количественных оценок. Некоторые основные вероятностные методы оценки семантической близости предложений представлены в таблице.

Таблица

Вероятностные методы оценки семантической близости

Название	Основа подхода	Пример реализации	Область применения	Особенности	Преимущества	Недостатки	Примечание
1. Косинусовое сходство [2]	Сравнение угла между векторами	TF-IDF, ESA	Оценка близости коротких текстов	Хорошо на малых корпусах	Простота, скорость	Не учитывает порядок слов	Базовая метрика
2. Расстояние Жаккара [3]	Доля общих терминов	RapidMiner	Сравнение коротких сообщений	Лучше на коротких предложениях	Простота	Слабое качество на длинных текстах	FAQ-системы
3. LSA [4]	Сингулярное разложение матрицы	GenSim	Тематический анализ, кластеризация	Нужны большие корпуса данных	Выявляет скрытые темы	Вычислительно сложно	Исторически значимая модель
4. Skip-Gram с тематизацией [5]	Вероятностные эмбединги по темам	Skip-Gram LDA	Сравнение коротких текстов	Нужны большие корпуса данных	Учитывает темы текстов	Требует больших объёмов данных	Продвинутый гибрид

5. PMI [6]	Совместная встречаемость слов	PMI-Infinity, 15-MAG-PMI	Выявление близких слов	Нужны большие корпуса данных	Находит синонимы	Шум на малых данных	Базовый метод
6. Гауссовы эмбединги [7]	Слова как распределения	Word2Gauss	Моделирование неопределённости	Разнообразные корпуса	Учитывают неопределённости	Трудоёмко	Популярно сейчас

Ограничения вероятностных методов:

- 1) простые статистические методы обладают низкой точностью: они не улавливают глубину смысла и зависят от пересечения словарей;
- 2) тематические и вероятностные модели требуют значительных вычислительных ресурсов и качественных корпусов для обучения;
- 3) трудности масштабирования: по мере роста объёмов данных возрастает сложность вероятностного вывода;
- 4) сильная зависимость от качества предобработки текста (устранение опечаток, морфологический разбор, нормализация речи).

Перспективы совершенствования вероятностных методов:

- 1) развитие гибридных моделей, которые комбинируют вероятностные подходы с нейросетевыми методами;
- 2) более точный учёт контекста диалога: динамические вероятностные модели, адаптирующиеся к истории общения;
- 3) применение вероятностных эмбедингов для оценки неопределённости в ответах, что позволит системам быть более «избирательными», когда сходство низкое;
- 4) использование распределённых вычислений и оптимизаций для ускорения обработки больших диалоговых корпусов.

Выводы. Вероятностные методы оценки семантической схожести представляют собой важный инструмент анализа естественного языка. Они позволяют формализовать неопределённость, учитывать вариативность формулировок и измерять степень смыслового совпадения между предложениями.

Рассмотренные подходы (от простых статистических моделей до вероятностных векторных представлений) демонстрируют различный баланс между точностью и вычислительной сложностью. Несмотря на существующие ограничения, эти методы находят широкое применение в задачах кластеризации, классификации и информационного поиска.

Наибольшие перспективы связаны с развитием гибридных архитектур, сочетающих вероятностные и нейросетевые подходы. Такие системы способны обеспечивать более точное понимание смысла текстов и расширять возможности автоматизированной обработки языка.

Список литературы

1. Мера семантической близости // web.archive – 2022, URL: <https://clk.li/qCNP> (28.09.25).
2. Лукашевич Н. В. Распределённые представления слов и их применение в задачах NLP / Н. В. Лукашевич // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2020. – №2. – С. 45–48.
3. Бермудес С. Х. Г. О методе определения текстовой близости, основанном на семантических классах / С. Х. Г. Бермудес, С. У. Керимова // Инженерный вестник Дона. – 2020. – №4. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_65_Bermudez_Kerimova__2_.pdf_1a8adc1b77.pdf (01.10.25).
4. Turney P. D. Measuring Semantic Similarity with Latent Semantic Analysis in Modern NLP Pipelines / P. D. Turney // Computational Linguistics. 2021. V. 47, Issue 2: 321–345.
5. Михайлов Д. Е. Тематические расширения word2vec для улучшения качества эмбедингов / Д. Е. Михайлов, С. О. Кузнецов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. – 2022. – Вып. 21(28). – С. 189–203. URL: <http://www.dialog-21.ru/media/5421/mikhailovde.pdf> (28.09.25).
6. Смирнов И. В. PMI и его модификации в современных моделях векторных представлений слов / И. В. Смирнов // Научно-техническая информация. Серия 2. – 2023. – №4. – С. 12–25.
7. Зубкова Т. М. Вероятностные векторные представления слов: гауссовы эмбединги в задачах семантического анализа / Т. М. Зубкова, А. К. Федоров // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2023. – №1. – С. 55–68.

УДК 004.042

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА ВЕБ-СТРАНИЦ

Панченко А.В.,

Волкова Н.А., канд. физ.-мат. наук, ORCID 0000-0002-9272-4713

ГУАП «Государственный университет аэрокосмического приборостроения»,
г. Санкт-Петербург, РФ

prosto_data_96@mail.ru, volkova@guap.ru

Введение. Актуальность проблемы оптимизации скорости загрузки веб-страниц обусловлена постоянным ростом объема данных и сложности веб-приложений [2], что напрямую ухудшает пользовательский опыт. Исследования Google демонстрируют критическую важность скорости загрузки: при превышении времени загрузки страницы более 3 секунд 50% пользователей покидают сайт [1]. Кроме того, скорость загрузки является значимым фактором для поискового продвижения (SEO) и объема трафика, что делает ее приоритетной задачей для разработчиков и бизнеса.

Цель работы – анализ и сравнение методов оптимизации загрузки веб-страниц, выявление наиболее эффективных подходов с учетом тести-

рования производительности инструментом Google Lighthouse для улучшения пользовательского опыта и повышения ключевых бизнес- метрик.

Основная часть. Глубина проблемы оптимизации скорости загрузки обусловлена ее многогранным воздействием, выходящим далеко за рамки технических аспектов. Если ранее основной сложностью был лишь рост объема данных [2], то сегодня вызовы связаны со сложной архитектурой одностраничных приложений (SPA), обилием сторонних скриптов и необходимостью обеспечивать бесшовный опыт на устройствах с радикально разными возможностями. Это подтверждается данными: 53 % мобильных пользователей бесповоротно покидают сайт при загрузке свыше 3 секунд [1], а поисковые системы официально интегрировали скорость отклика в свои алгоритмы ранжирования, напрямую связывая производительность с SEO и объемом органического трафика.

Особого внимания заслуживает влияние производительности веб-ресурсов на бизнес- показатели. Исследования показывают, что улучшение времени загрузки на 100 миллисекунд увеличивает конверсию на среднем сайте на 1 %, а для крупных интернет-магазинов это может означать миллионные приросты годового дохода. Кроме того, быстрая загрузка страниц значительно снижает показатель отказов и повышает глубину просмотра, что особенно важно для контент-проектов и медиа-ресурсов.

Для комплексной оценки производительности веб-страниц применяется система ключевых метрик, ориентированных на пользовательский опыт. Она включает время до первого появления любого контента (FCP), загрузки самого большого элемента (LCP) и полной готовности страницы к взаимодействию (TTI). Также оцениваются визуальная стабильность (CLS) и задержка первого отклика на пользовательский ввод (FID).

Инструмент Google Lighthouse предоставляет детализированный анализ по этим и другим показателям, агрегируя их в интегральную оценку производительности (Performance Score) и предлагая конкретные рекомендации по оптимизации в шести ключевых категориях: производительность, доступность, лучшие практики, SEO, PWA и диагностические метрики.

Все перечисленные метрики и инструменты служат одной ключевой цели – созданию бесшовного и мгновенного пользовательского опыта (UX). Высокая производительность перестала быть сугубо технической задачей, превратившись в стандарт качества взаимодействия пользователя с цифровым продуктом. Ускорение загрузки визуального контента (LCP), минимизация внезапных сдвигов макета (CLS) и обеспечение мгновенной реакции на действия (FID) напрямую влияют на восприятие сайта как быстрого, надежного и удобного, что в конечном итоге формирует лояльность и доверие.

Современные методы оптимизации представляют собой многоуровневый подход. На серверной стороне это реализация эффективного

кэширования, внедрение современных алгоритмов сжатия (таких как Brotli, который на 14-26 % эффективнее Gzip) [3], оптимизация конфигурации веб-сервера и использование современных протоколов HTTP/2 и HTTP/3.

Оптимизация контента заключается в применении lazy loading для медиафайлов, минификации и объединения CSS и JavaScript-ресурсов [3], использовании современных форматов изображений (WebP, AVIF) [4] и внедрении adaptive loading для адаптации под возможности устройства.

Архитектурные решения включают развертывание CDN для географического распределения контента, предварительную загрузку критических ресурсов, использование сервис-воркеров для офлайн-работы и реализацию PRPL-паттерна для прогрессивных веб-приложений [5].

Завершающим элементом является непрерывный мониторинг и анализ, такие как отслеживание ключевых метрик в реальном времени (RUM), проведение A/B-тестирования и интеграция проверки производительности в процесс CI/CD для обеспечения устойчивого высокого качества.

Таким образом, современный подход к оптимизации требует комплексных мер на всех уровнях – от серверной инфраструктуры до клиентского кода. Однако выбор и приоритизация этих методов не могут быть универсальными.

Эффективность различных методов оптимизации значительно варьируется в зависимости от типа веб-приложения, его архитектуры и целевой аудитории [1]. Для контент-ориентированных сайтов наиболее результативными оказываются методы сжатия и кэширования, в то время как для веб-приложений критическое значение приобретает оптимизация JavaScript и уменьшение времени интерактивности.

Современные исследования показывают, что комплексное применение оптимизационных методик позволяет достичь улучшения показателей LCP на 35-40 %, FID на 25-30 % и CLS на 40-45 %. При этом важно отметить, что оптимизация является непрерывным процессом, требующим регулярного мониторинга и адаптации к изменяющимся условиям и технологиям.

Заключение. Оптимизация скорости загрузки является стратегической задачей, напрямую влияющей на ключевые бизнес-метрики: снижение показателя отказов и повышение конверсии. Грамотный выбор и внедрение методов оптимизации не только создают быстрые и удобные сайты, но и способствуют росту бизнеса за счет повышения удовлетворенности пользователей. Комплексный подход к оптимизации, подкрепленный объективными метриками и тестированием, является необходимым условием успеха современного веб – проекта.

Список литературы

1. Бакиров Р. А. Фронтенд-оптимизация: современные подходы к ускорению загрузки веб-страниц / Р. А. Бакиров // Научный аспект. – 2024. – Т. 42, № 4. – С. 5491-5495. – EDN HGMCYB.
2. Деарт В. Ю. Влияние современных способов оптимизации загрузки интернет страниц в браузерах на параметры качества обслуживания http-трафика / В. Ю. Деарт, И. С. Кожухов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 7. – С. 82-84. – EDN PWXFQN.
3. Жуков С. В. Анализ и разработка алгоритмов, оптимизирующих компоновку html документа для браузеров / С. В. Жуков, О. А. Ковалева, С. В. Ковалев // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2023. – № 3. – С. 114-126. – DOI 10.14357/20718632230312. – EDN VITVWW.
4. Калюх Е. Д. Оптимизация производительности веб-страниц с помощью HTML-кода / Е. Д. Калюх, А. П. Багаева // Современные цифровые технологии: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 01 июня 2023 года / Под общей редакцией А. А. Беушев, А. С. Авдеев, Е. Г. Боровцов, А. Г. Зрюмова. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2023. – С. 87-89. – EDN UJLUXU.
5. Ярулин Э. Р. Методы оптимизации работы веб-страниц с применением серверного рендеринга / Э. Р. Ярулин // Гагаринские чтения 2024: Сборник тезисов докладов 50-ой Международной молодежной научной конференции, Москва, 09–12 апреля 2024 года. – Москва: ООО Изд-во «Перо», 2024. – С. 313-314. – EDN CIZXUJ.

УДК 004.42

ПОДГОТОВКА ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИЗДАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ LUALATEX НА ПРИМЕРЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Полищук Ю.В., д-р техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-0245-5052,

Алексанян Д.А., ORCID 0009-0008-5937-2489,

Данилочкин Д.А., ORCID 0009-0008-0352-6362

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»,

г. Москва, РФ

youra_polishuk@bk.ru, aleksanyanda@yandex.ru, d.a.danilochkin@edu.mtu.ru

Процесс подготовки печатных комплектов экзаменационных билетов является периодическим и может быть автоматизирован в части формирования билетов в соответствии с требованиями образовательной организации. Это позволит как сократить время, затрачиваемое преподавателем на оформление, так и устранить возможные неточности оформления.

Таким образом, задача подготовки унифицированных комплектов экзаменационных билетов является актуальной как для кафедры, так и для преподавателей.

Существует ряд решений, направленных на автоматизацию процесса генерации билетов, которые можно разделить по типу использованного программного обеспечения (ПО) на использующие проприетарное ПО или свободное ПО, по способу реализации на десктопные или веб-приложения. В дальнейшем будет рассмотрено разделение по формату выходного файла со сгенерированными билетами.

Одним из используемых решений для формирования экзаменационных билетов является генерация по шаблону с сохранением в изменяемом формате, например, `dosx` и работа с итоговым файлом средствами текстового процессора [1]. Достоинством такого решения является простота редактирования итогового файла. Однако в готовый комплект билетов могут быть внесены ошибочные изменения в том числе при выводе на печать. Также открытие результирующего файла другим текстовым процессором может потребовать корректировки оформления билетов, что увеличивает итоговое время подготовки билетов.

Таким образом, рассмотренное решение не позволяет обеспечить полноценную кроссплатформенность при работе с итоговым файлом и не защищает файл от случайной модификации, что является существенным недостатком при формировании утверждаемых документов.

Этих недостатков можно избежать в случае сохранения итогового файла в формате `pdf`. Широко применимым решением является использование бесплатной издательской системы `LaTeX` [2]. Однако в силу высокого порога входа для работы с системой и сложностью работы с языком `TeX`, связанной с отсутствием разделения между разметкой данных и программированием время подготовки итогового документа увеличивается.

В связи с этим предлагается использование издательской системы `LuaLaTeX`, что позволит автоматизировать обработку входных данных за счет оформления экзаменационных вопросов в виде `Lua`-таблицы. Использование языка `Lua` для работы с данными позволяет включать в билет произвольное число вопросов, что подходит для комплектования билетов по различным дисциплинам. Пример структурированных входных данных представлен на рис. 1. Применение компилятора `LuaLaTeX` позволяет удобно подключить внешние шрифты [3] и использовать пакета `python` [4] для дополнения вопросов практическими задачами с фрагментами кода. В листинге (рис. 1) представлен пример загрузки фрагмента кода файла (22 строка листинга) и добавления кода непосредственно в тело вопроса (23 строка).

Демонстрационный пример итогового списка вопросов и практических заданий представлен на рис. 2. Пример билета с практической задачей приводится на рис. 3.

Предложенный пример позволяет генерировать комплект билетов установленного образца, при этом обеспечивается удобство модификации экзаменационных вопросов за счет размещения вопросов в `Lua`-таблицах.

```

1  return
2  {
3      ["fiop"] = [{"ст. преподаватель Королькова\,Т.В.}],
4      ["fioz"] = [{"д.т.н., профессор Полишук\,Ю.В.}],
5      ["zkaf"] = [{"Зав. кафедрой}],
6      ["dat"] = [{"Утверждено на заседании кафедры №\,7 от «03» марта-2025\,г.}],
7      ["kodps"] = [{"Направление подготовки:"}],
8      ["psstr"] = [{"09.03.01 Информатика и вычислительная техника}],
9      ["prmps"] = [{"Профили подготовки:"}],
10     ["prmpsstr"] = [{"Прикладные информационные системы; Искусственный интеллект и машинное обучение}],
11     ["dis"] = [{"Дисциплина:"}],
12     ["diasstr"] = [{"Операционные системы}],
13     ["kaf"] = [{"Кафедра:"}],
14     ["kaifstr"] = [{"Системное программирование}],
15     ["ttstr"] = [{"\centerline{\textbf{Список теоретических вопросов}}}],
16     ["tpstr"] = [{"\centerline{\textbf{Список практических заданий}}}],
17     ["q"] = {
18         {"t1", [{"Архитектура \textbf{ОС}. Ядро и вспомогательные модули.}]},
19         {"t2", [{"Функции \textbf{ОС} по управлению памятью.}]},
20         {"t3", [{"Файловая система. Определение, состав, типы файлов. Логическая организация файловой системы.}]},
21         {"t4", [{"Сегментно-страничное распределение памяти.}]},
22         {"p1", [{"Какой вывод будет в терминале? Поясните принцип работы функции fork(), назовите системные вызовы, которые будут выполнены {\varspace{-5pt}\fromfileipiton{demo_os_fork_ex.txt}}}],
23         {"p2", [{"Выполнится ли данный запрос в терминале: \par\hspace{1,4em}\inlineipiton{$ tail -n 50 /var/log/syslog | grep memtester \par\hspace{1,4em}{Какой результат он вернет?}}]}],
24     },
25     ["bfont"] = [{"\normalsize}],
26     ["b"] = {
27         {"t1", "t3", "p2"},
28         {"t2", "t4", "p1"},
29     }
30 }

```

Рис. 1. Структурированный список вопросов демонстрационного комплекта билетов

Экзаменационные билеты по дисциплине «Операционные системы»	
Список теоретических вопросов	
1. Архитектура ОС. Ядро и вспомогательные модули. 2. Функции ОС по управлению памятью. 3. Файловая система. Определение, состав, типы файлов. Логическая организация файловой системы. 4. Сегментно-страничное распределение памяти.	
Список практических заданий	
1. Какой вывод будет в терминале? Назовите системные вызовы, которые будут выполнены <pre> 1 int main() { 2 pid_t pid1 = fork(); 3 printf("my id = %d", getpid()); 4 return 0; 5 } </pre> 2. Выполнится ли данный запрос в терминале: \$ tail -n 50 /var/log/syslog grep memtester Какой результат он вернет?	

Рис. 2. Заголовок билетов, списки теоретических вопросов и практических заданий

 МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ)	Направление подготовки: 09.03.01 Информатика и вычислительная техника Профили подготовки: Прикладные информационные системы; Искусственный интеллект и машинное обучение Кафедра: Системное программирование Дисциплина: Операционные системы
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1	
1. Архитектура ОС. Ядро и вспомогательные модули. 2. Файловая система. Определение, состав, типы файлов. Логическая организация файловой системы. 3. Какой вывод будет в терминале? Назовите системные вызовы, которые будут выполнены <pre> 1 int main() { 2 pid_t pid1 = fork(); 3 printf("my id = %d", getpid()); 4 return 0; 5 } </pre>	
Составитель _____ Зав. кафедрой _____	ст. преподаватель Королькова Т.В. д.т.н., профессор Полишук Ю.В.
Утверждено на заседании кафедры № 7 от «03» марта 2025 г.	

Рис. 3. Пример экзаменационного билета

Рассмотренный пример компилировался в облачном сервисе Overleaf с применением компилятора LuaLaTeX для достижения кроссплатформенности и отсутствия необходимости установки ПО. Возможна установка свободного ПО для обеспечения автономности решения, например, дистрибутива TexLive.

Таким образом, в работе предложено решение, обеспечивающее автоматизацию процесса генерации экзаменационных билетов, позволяющее включать наглядные практические вопросы и не требующее закупки коммерческого ПО.

Список литературы

1. Панфилова А. С. Разработка приложения для генерации экзаменационных билетов / А. С. Панфилова // Современные информационные технологии. – 2022. – № 5. – С. 147-150.
2. Куприн А. В. Применение системы LaTeX для создания банка оценочных средств по высшей математике / А. В. Куприн // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. – 2020. – Т. 9. – № 1. – С. 38-42.
3. Полищук Ю.В. Способ синтеза мультивариантных документов с применением LuaLaTeX / Ю. В. Полищук, Я. В. Гончарова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2024. – Т. 21. – № 1(245). – С. 35-45. – DOI 10.14489/vkit.2024.11. pp.035-045.
4. Полищук Ю. В. Унификация формирования отчетности студентов с использованием редактора Overleaf / Ю. В. Полищук, Д. А. Алексанян // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: Донецкий национальный университет. – 2024. – С. 226-228.
5. The package piton. URL: <https://mirrors.mit.edu/CTAN/macros/luatex/latex/piton/piton.pdf> (дата обращения: 19.09.2025).

УДК 004.91

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ СЕМЕЙСТВ ДОКУМЕНТАЦИЙ НА ОСНОВЕ LUALATEX ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МНОГОЯЗЫЧНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Полищук Ю.В., д-р техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-0245-5052,

Гончарова Я.В., ORCID 0009-0003-5043-1247,

Данилочкин Д.А., ORCID 0009-0008-0352-6362

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»,
г. Москва, РФ

youra_polishuk@bk.ru, ianock2009@yandex.ru, d.a.danilochkin@edu.mtu.ru

Введение. Первой попыткой использования концепции публикации из единого источника (single source publishing (SSP)) принято считать проект

1993 года компании Schneider Electric, в рамках которого решалась задача генерации документации из единого источника на различных языках [1].

При решении данной задачи можно особо выделить проблематику ее решения для графических изображений.

Целью работы является апробация функциональных возможностей прототипа разработки семейств документаций (СД) на основе издательской системы LuaLaTeX [2] для разработки многоязычной документации с поддержкой вариативности на уровне графических изображений.

Основная часть. Вариативность для текстовой части документации реализуется в документации за счет применения инъекций, которые выполняют интеграцию своего контента в основной документ только при ее соответствии текущему компилируемому варианту документа (рис. 1).

```
1  % команда TeX вставки инъекции из файла
2  \newcommand{\putf}[2]{%
3  \directlua{injfile(\luastring{#1},\luastring{#2})}%
4  }
5  % пример использования
6  % \putf{|P07SP|P09SP|P12SP|}{input-1.tex}
7
8  % команда TeX вставки инъекции из строки
9  \newcommand{\putt}[2]{%
10     \directlua{injstr(\luastring{#1},\luastringN{#2})}%}
11     ↪          вторая переменная не расширяется
12 }
13 % пример использования
14 % \putt{|P07SP|P09SP|}{\textbf{|P07SP|P09SP|}}
```

Рис. 1. Примеры команд реализации инъекций

На листинге (рис. 1) приведены команды TeX, которые реализуют вставку контента инъекции из внешнего файла (putf) и из строки (putt). Указанные команды являются «оберткой» для Lua-функций [2].

С помощью указанных команд можно организовать вариативность как в текстовой части документации так и в графической, если она выполнена встроенными средствами LaTeX (например с помощью функционала пакета TikZ/PGF [3]). В этом случае графическое изображение формируется посредством команд, для которых реализуется вариативность на уровне текста.

В качестве примера рассмотрим схематичное изображение процесса генерации СД с применением прототипа. Для документа, включающего данное изображение, предусмотрены два варианта представления: «russian» – русский и «english» – английский.

С учетом указанного, первая инъекция в теле документа должна задать текущий язык документации. Это требуется для того, чтобы при компиляции документа были использованы соответствующие языковые настройки.

На рис. 2 представлен сгенерированный документ для варианта «russian».

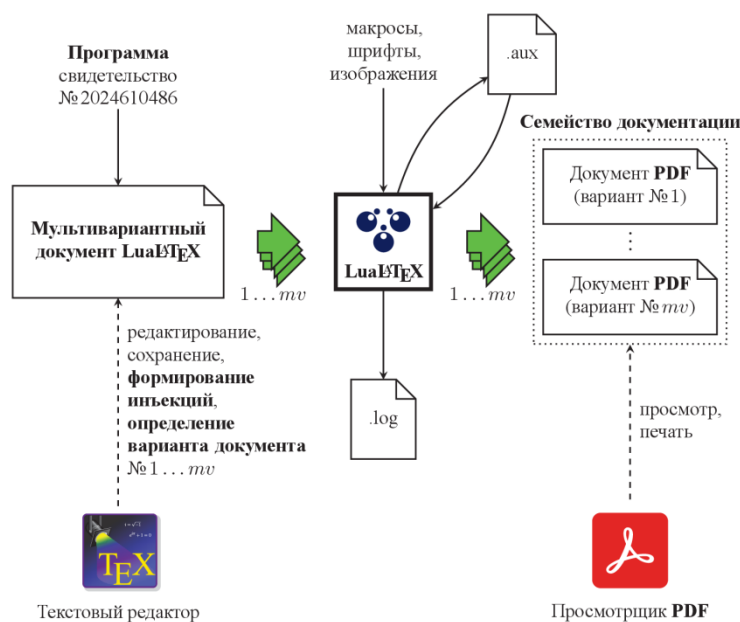


Рис. 2. Сгенерированный документ для варианта «russian»

Далее на рис. 3 представлен пример инъекции, выполняющей переключение языка в блоке изображения.

```

\documentclass{article}
\usepackage{multivariant}
\begin{document}
\multivariant{russian}{
  \node[doc, left=of
    arr-1.west](doc){\putt{|english|}{Multivariant}\|}
  \putt{|russian|}{Мультивариантный}\|}
  \hologo{LuaLaTeX}};

```

Рис. 3. Инъекции, выполняющей переключение языка в блоке изображения

Таким образом, вариативные фрагменты текстовой части или изображений могут быть реализованы на нескольких языках одновременно.

Английский вариант документа может быть получен посредством задания требуемого варианта и ее последующей компиляции (рис. 4).

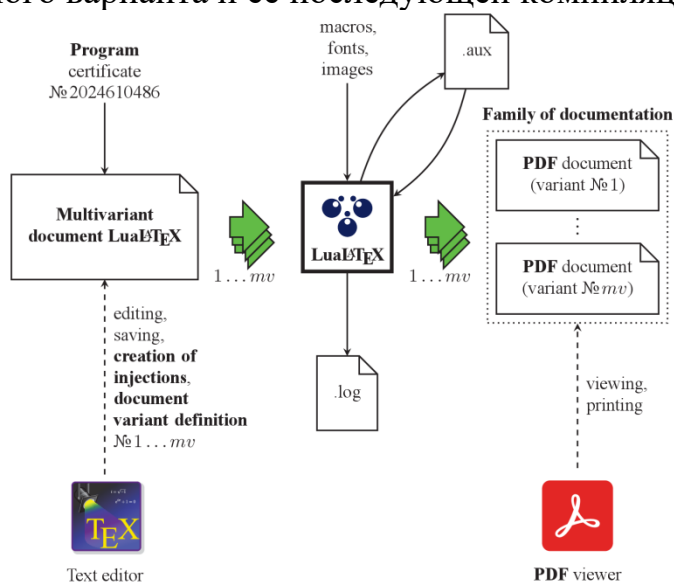


Рис. 4. Сгенерированный документ для варианта «english»

Заключение. В работе продемонстрирован функционал прототипа системы разработки СД, который реализует возможность разработки многоязычной документации с применением концепции SSP. Последнее увеличивает скорость модернизации документации и минимизирует вероятность появления в ней ошибок [4].

Список литературы

1. Sprung R. Translating into success: cutting-edge strategies for going multilingual in a global age / R. Sprung, S. Jaroniec. – Amsterdam: Benjamins, 2000. – 230 p.
2. Полищук Ю. В. Способ синтеза мультивариантных документов с применением LuaLaTeX / Ю. В. Полищук, Я. В. Гончарова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2024. – Т. 21, № 11(245). – С. 35-45. – DOI 10.14489/vkit.2024.11.pp.035-045. – EDN OGCIGR.
3. Поташов И. М. Графический пакет TikZ/PGF / И. М. Поташов // Перспективы развития математического образования в Твери и Тверской области: материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 21 апреля 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Тверской государственный университет; Тверская региональная общественная организация «Ассоциация учителей и преподавателей математики Тверской области». – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – С. 160-166. – EDN XMSRJB.
4. Гончарова Я. В. Системный подход решения задачи генерации вариантов мультивариантных документов / Я. В. Гончарова, Ю. В. Полищук // Кибернетика, информатика, аналитика: модели, инструменты, методы: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), Донецк, 10–11 апреля 2025 года. – Донецк: Донецкий государственный университет, 2025. – С. 24-27.

УДК 378:004

ПРИМЕНЕНИЕ ОНЛАЙН-КАЛЬКУЛЯТОРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ

Радовинчик О.А.

ФГБОУ ВО «Луганский государственный медицинский университет
им. Свт. Луки», г. Луганск, РФ
oradovinchik@mail.ru

Введение. Медицинская статистика является фундаментальной дисциплиной, которая систематизирует и представляет современные знания о применении статистического анализа и математических методов в медицине. Целью этой дисциплины является формирование у студентов практических навыков работы с современными методами решения теоретических и прикладных задач в области медицины и смежных дисциплин. При преподавании медицинской статистики важно обеспечить два ключевых аспекта:

1. **Актуальность:** Содержание курса должно соответствовать последним достижениям науки, включать новейшие методы описания статистических данных в медицинских и фармацевтических исследованиях, а также статистические методы, используемые при планировании и анализе экспериментов и измерений в медицине и фармации.

2. **Практическая значимость:** Полученные знания должны быть востребованы не только на клинических и фармацевтических кафедрах университета, но и в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников. Это напрямую связано с формированием необходимых профессиональных компетенций в процессе обучения.

Целью данной статьи является анализ интерактивных систем обработки медицинских данных.

Основная часть. В процессе обучения будущих врачей необходимо обеспечить межпредметную интеграцию знаний и навыков, полученных студентами в области медицинской статистики. Такой подход позволит им глубже понять методы анализа экспериментальных данных, оценить достоверность результатов исследований, а также решать задачи, связанные с планированием и проведением экспериментов. Основы медицинской статистики являются фундаментальной дисциплиной, которая вооружает студентов систематизированными и актуальными знаниями о применении статистических методов в медицине и фармации. Целью преподавания этой дисциплины является формирование у студентов практических умений, необходимых для решения теоретических и прикладных задач в области медицины, фармации и смежных областях. При этом важно:

1. Соответствие содержания курса современным научным достижениям, включая новейшие методы описания статистических данных и анализа результатов экспериментов в медицинских и фармацевтических исследованиях.

2. Обеспечение практической востребованности полученных знаний не только в рамках университета, но и в будущей профессиональной деятельности выпускников. Это напрямую связано с формированием профессиональных компетенций на этапе обучения.

Материалами исследования служат возможности онлайн-калькуляторов для эффективного и методически оправданного использования на занятиях по дисциплине «Основы медицинской статистики».

Предлагается два подхода к использованию онлайн-калькуляторов в образовательном процессе. Первый подход предполагает полную интеграцию калькуляторов в учебный процесс с акцентом на их методическое применение. Второй подход предусматривает ограничение использования калькуляторов за счет тщательного отбора заданий, направленных на развитие навыков самостоятельных вычислений.

Современные технологии дают возможность педагогу лучше учитывать индивидуальные особенности и потребности каждого студента,

более точно и объективно оценивать успеваемость. Педагогу предоставлен широкий спектр цифровых ресурсов для организации педагогической деятельности и разработки гибких учебных программ. Он получает мгновенную обратную связь, обучает навыкам безопасного и эффективного использования Интернета и цифровых ресурсов, эффективно используя онлайн-платформы [1].

Использование интерактивных веб-страниц со статистическими программами формирует определенные навыки и компетенции:

1. Способность к анализу исходных данных, являющихся основой для расчета медицинских показателей.

2. Навык анализа и обработки данных, необходимых для решения поставленных медицинских задач.

3. Умение подбирать адекватные инструментальные средства для обработки медицинских данных с учетом специфики решаемой задачи.

Использование онлайн сервисов статистических расчетов дает возможность студентам более оперативно и с высокой точностью вычислить разнообразные статистические показатели, включая среднее значение, медиану, моду, стандартное отклонение и другие. Они позволяют создавать разнообразные графики и визуализации, облегчающие интерпретацию информации. Для работы на занятии студенты чаще всего используют калькуляторы сайтов <https://statorials.org/ru>, <https://stanly.statpsy.ru/all/>, так же используется online-калькулятор «Statistics Kingdom», находящийся в свободном доступе по ссылке: <https://www.statskingdom.com/>. Преимущества использования online-калькулятора «Statistics Kingdom» заключаются в грамотной с позиции статистической теории подаче материала и объяснения результатов.

Заключение. В условиях стремительного развития цифровых технологий использование разнообразных прикладных и интерактивных программных продуктов статистической обработки данных открывает перед будущими специалистами широкие возможности для углубленного изучения различных аспектов применяемых статистических методов. Такой подход к обучению способствует повышению академического уровня студентов, формированию у них универсальных компетенций в области анализа и синтеза информации, специфичной для медико-биологических наук [3]. Применение программных пакетов статистической обработки данных позволяет студентам самостоятельно проводить исследования, грамотно интерпретировать полученные результаты и эффективно решать профессиональные задачи с использованием информационно-коммуникационных технологий. Интерактивный формат обучения способствует раскрытию академического потенциала каждого студента за счет активного вовлечения его не только в аудиторную работу, но и в самостоятельные исследования, что, в свою очередь, стимулирует саморазвитие и личностный рост.

Список литературы

1. Радовинчик, О. А. Роль цифровизации в процессе преподавания «основы математической статистики» студентам медицинского вуза / О. А. Радовинчик // Цифровая трансформация образования: современное состояние и перспективы: Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции, Курск, 13–14 декабря 2024 года. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2024. – С. 408-411.
2. Лобанова, Е. Е. Применение современной технологии преподавания медицинской статистики как фактора повышения качества образования / Е. Е. Лобанова // Сб. тр. XXVII Итог науч. конф. молодых ученых МГМСУ – М, 2005 -С 99-100.
3. Радовинчик, О. А. Перспективы цифровизации образовательного процесса высших учебных заведений в контексте обучения будущих врачей / О. А. Радовинчик // Современное образование: преемственность и непрерывность образовательной системы «школа – университет – предприятие»: Сборник материалов XV Международной научно-методической конференции. Электронный ресурс, Гомель, 20–21 февраля 2025 года. – Гомель: Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, 2025. – С. 391-393.

УДК 621.1

UNITED CYCLE КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПТ-30-8,8

Савельев М.О.,

Матвеев Ю.В., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-3947-2630,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург, РФ
matthewsowell@mail.ru

Введение. Внедрение цифровых двойников коренным образом меняют подход к эксплуатации и обслуживанию энергетического оборудования. Актуальной данной работы обусловлена необходимостью разработки и валидации цифрового двойника турбины, позволяющего в режиме моделирования анализировать, прогнозировать и улучшать её характеристики, снижая риски [1]. Данная программа предназначена для решения задач определения наилучших структуры и состава оборудования теплоэнергетического объекта и расчета стационарных эксплуатационных режимов работы [2,3].

Цель исследования – подтвердить эффективность программного комплекса (ПК) «United Cycle» для моделирования работы основного оборудования тепловых схем энергетических объектов на примере турбины ПТ-30-8,8.

Методы и материалы. Этапы моделирования можно разбить на несколько пунктов, а именно: создание модели, создание тепловой схемы,

параметризация, выбор режима, задание параметров режима, расчет режима и просмотр результатов [4]. Важно перед началом создания цифрового двойника задаться ключевыми параметрами и понимать структуру выстраиваемой модели. Чтобы смоделировать работу элемента тепловой схемы, необходимо определить состояние рабочих тел на его входе и выходе [5,6].

После ввода основных параметров системы цифровой двойник позволяет спрогнозировать и вычислить значение в точке. Так ПК «United Cycle» графически выводит результат расчета (рис. 1 и 2).

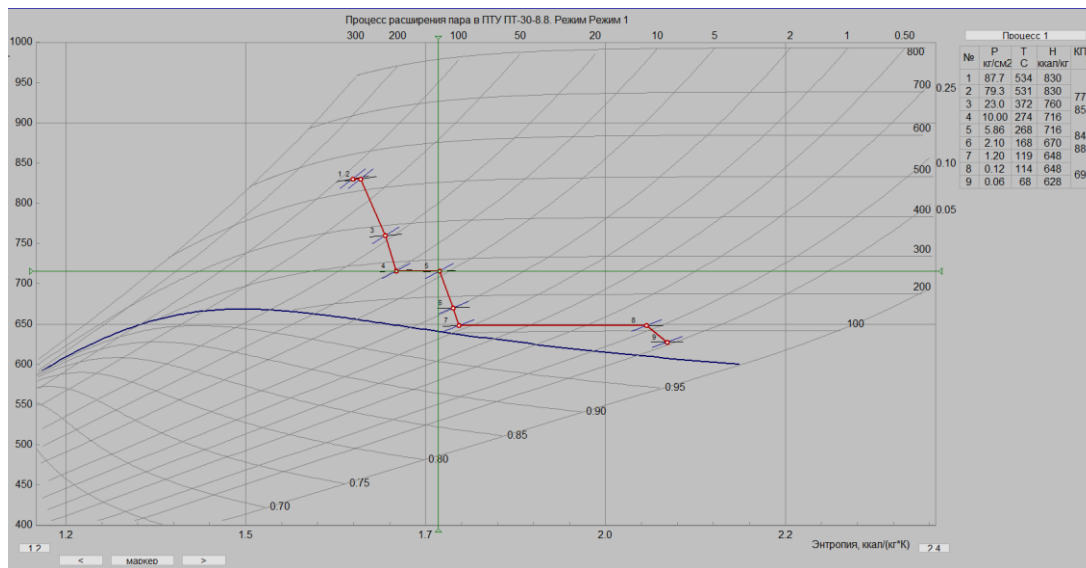


Рис. 1. Процесс расширения пара в ПТ-30-8,8

Режим 1

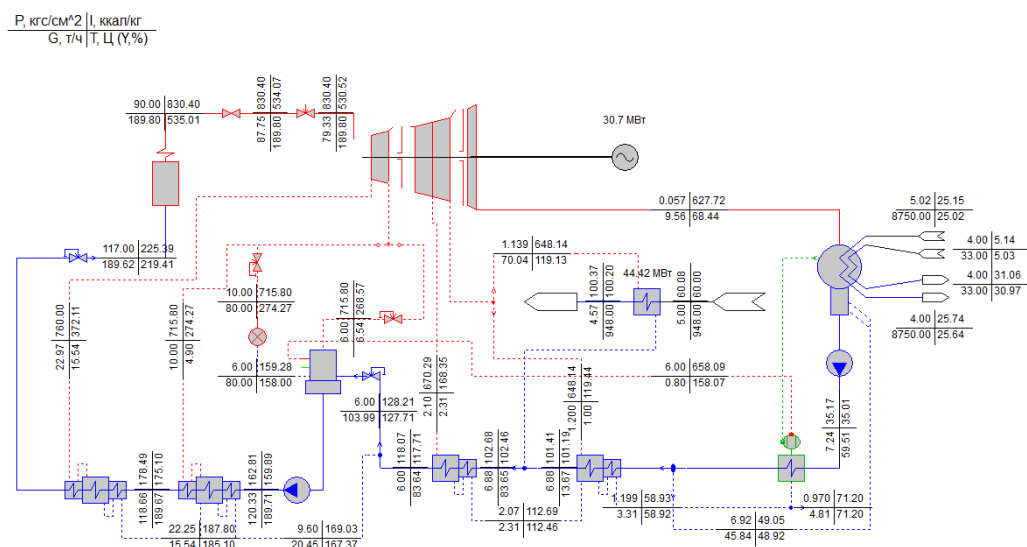


Рис.2. Выходные значения цифрового двойника ПТ-30-8,8

Анализ результатов и обсуждение. Важным условием соответствия полученных значений является проверка модели на адекватность, т.е.

сравнение фактически рассчитанных показаний с теоретическими, взятых с принципиальной схемы. Среднее относительно отклонение в рамках валидации цифрового двойника должно составлять не более 2 % [2].

Полученное отклонение было рассчитано следующим образом

$$\frac{G_{\text{свежего пара (теор.)}} - G_{\text{свежего пара (расч.)}}}{G_{\text{свежего пара (теор.)}}} * 100\% \quad (1)$$

$$\frac{189,80 - 189,70}{189,80} * 100\% = 0,05 \%$$

В целях наглядности свели данные по модели в таблицу.

Таблица

Сравнение рассчитанных в ПК «United Cycle» и контрольных параметров работы турбины ПТ-30-8,8

Наименование параметра	Данные модели	Контрольные данные	Отклонение, %
Расход свежего пара, т/ч	189,80	189,70	0,05
Температура свежего пара, °С	535,01	535,00	0,001
Давление свежего пара, кг/см ²	90,0	90,0	0
Давление пара после промперегрева, кг/см ²	0,0580	0,0573	1,22
Мощность на клеммах генератора, МВт	30,70	30,00	1,90
Расход питательной воды на входе в парогенератор, т/ч	189,62	189,80	0,09
<i>Среднее относительное отклонение:</i>			<i>0,6522</i>

Суммарное среднее относительное отклонение для модели турбины ПТ-30-8,8 составляет менее 2 %, что позволяет нам говорить о правильности построения конструктора и параметризации моделей. Данное отклонение связано с грубым расчетом, округленными значениями, принимаемыми в ходе расчета, и других методических ошибок.

Закключение. Таким образом, в ходе исследования достоверности применения ПК «United Cycle» были сформулированы несколько основных выводов:

- ПК «United Cycle» позволяет достоверно рассчитать стационарные режимы работы ПГУ.
- Программа может использоваться для анализа тепловых схем отдельных энергоустановок и станций в целом.
- При использовании ПК возможно дать точную оценку эффективности различных вариантов модернизации энергоблоков, а также провести обработку данных тепловых испытаний для повышения точности модели.
- Возможности ПК «United Cycle» позволяют разработать инструменты для мониторинга и управления тепловой экономичностью энергоустановок.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года.

2. CAD United Cycle webpage, <https://msystema.wordpress.com/in-english/>
3. United Cycle – моделирование стационарных режимов работы теплоэнергетических установок Том 1. Описание пользователя, Санкт-Петербург, 2007.
4. United Cycle Software for simulation of Flow Sheets of Power Plants / S. Romanov, A. Kutakhov, N Zhuk, O. Demidov, K. Romanov // ECOS-2003, Kopenhagen. – PP. 1691-1696 (2003).
5. United Cycle. (2011) САПР «United Cycle» Создание тепловой схемы [Видео файл] // YouTube. 1 ноября (<https://youtu.be/0fJiC60Y6Pk>).
6. United Cycle. (2014) САПР «United Cycle». Параметризация элементов тепловой схемы [Видео файл] // YouTube. 30 ноября (<https://youtu.be/-YVKYAehL9k>).

УКД 004.94

BIM-ТЕХНОЛОГИИ – КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Сигачева М.А.¹, ORCID 0009-0002-7913-3609,

Сигачева К.А.², ORCID 0009-0009-2493-3837,

Пахомова Ю.А.³, канд. экон. наук, доц., ORCID 0000-0002-8738-6561

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
г. Воронеж, РФ

²ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, РФ

³ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ»,
г. Москва, РФ

marinasigachiova@yandex.ru, siga4evakarina@yandex.ru, yapakhomava@fa.ru

В настоящее время компьютерные технологии прочно закрепились во всех сферах человеческой деятельности. Строительство так же преуспело в использования цифровых технологий во многих технологических операциях. В современном мире прослеживается как явный рост количества новых строительных объектов, так и усовершенствование объектов уже существующих, приводящие к усложнению расчетов несущих конструкций. В связи со стремительной урбанизацией значимость компьютерных технологий в строительной отрасли высока.

В 2014 году на государственном уровне начались обсуждения о необходимости интенсификации внедрения цифровых технологий в строительную отрасль. Подчеркивались важность и потенциал информационного моделирования для повышения эффективности и качества производства. Данное событие послужило катализатором для активизации процессов внедрения BIM-технологий.

Внедрение BIM-технологий обусловлено необходимостью решения ряда задач, включая совершенствование традиционного подхода к процессу строительства зданий и их эксплуатации [1, 2], повышение

эффективности технологических процессов [3], а также рост управляемости. [4]

ВІМ-технологии – это не программный софт или база данных для трехмерного моделирования будущего объекта. Данная компьютерная разработка представляет собой современную высокотехнологичную информационную систему, которая стала ключевой стратегией успешной работы строительных компаний.

Трансформация двумерной (2D) модели в трехмерную (3D) позволила оптимизировать работу с проектными данными. В частности, это привело к сокращению количества дублирующих документов. ВІМ-технологии базируются на создании детализированной цифровой копии будущего строения. В этой модели каждый элемент – будь то линия, стена, оконный проем или трубопровод – представляет собой не просто графическое изображение, но и параметрический объект, наделенный определенными характеристиками. К этим характеристикам относятся, например, тип материала, стоимость, наименование поставщика, а также предполагаемые сроки установки. Если в модели изменяется какой-либо параметр, это автоматически ведет к пересчету требуемого количества материалов, величины нагрузок и может даже отразиться на связанных инженерных системах. Все эти изменения синхронно отображаются в виртуальной модели здания.

Явными преимуществами ВІМ-технологий являются сокращение ресурсо- и трудозатрат, риска ошибки расчета, сроков реализации строительного проекта; улучшение координации и взаимодействия между всеми участниками проекта посредством работы в едином информационном поле.

Несмотря на ряд преимуществ использования ВІМ-технологий, существуют и определенные недостатки, главным из которых является недостаточных пакет нормативных документов, регулирующих ВІМ. Так же в связи со сложностью и длительностью технических процессов: внедрения и интеграции, а также формирования соответствующей компетентности специалистов, не все компании заинтересованы в использовании их на своём производстве.

В практике строительного проектирования специалисты используют программный комплекс ЛИРА-САПР, реализующий ВІМ-технологии. Данный продукт позволяет проектировать и анализировать строительные конструкции с учетом таких характеристик как прочность, устойчивость, деформация, а так же учитывать вариационные факторы нагрузок и усилий. [5]

Его методической базой выступает метод конечных элементов: расчет ведется как при статических (силовых и деформационных), так и при динамических воздействиях, возможен подбор и оценка сечений конструкций, расчет армирования железобетонных и стальных элементов,

составление модели поведения грунта, анализ этапов монтажа конструкций и исследование динамического поведения во времени. Контроль физической нелинейности, характерной для строительных объектов, ЛИРА-САПР производится с помощью модулей, использующих разнообразные нелинейные зависимости, что позволяет предотвратить появление трещин, деформаций в процессе нагружения в период эксплуатации.

Результаты расчетов динамически визуализируются в виде эпюр, изополей, таблиц (рис.).

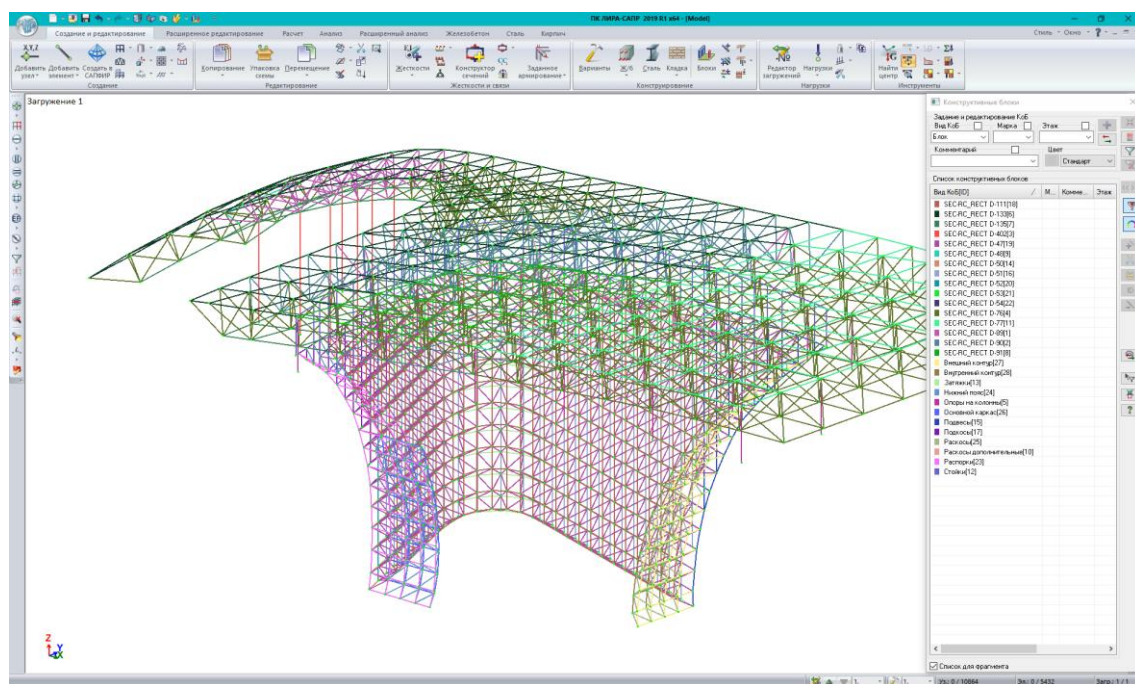


Рис. Расчетная схема конструкции в ПК ЛИРА-САПР [6]

BIM-технологии формируют тренд эволюции строительной отрасли. Их несомненная польза состоит не только в приросте экономической эффективности реализации строительных проектов за счет сокращения производственно-технологического цикла, но и очевидно техническое совершенство объектов, возводимых с применением BIM-технологий, состоящее в повышении сроков их полезной эксплуатации. Прогнозируется расширение границ практического применения BIM-технологий за счет новых цифровых интеграций.

Список литературы

1. Rothenbusch S. Potential for change through the digitalization of the cross-trade cooperation of small and medium sized organizations in the construction industry toward Building Information Modeling (BIM) // Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO). – 2020. – Vol. 51, No 2. – P. 255-258. – DOI:10.1007 / s11612-020-00532- y.
2. Harwell A. Motivation and focus of digitalization Bautechnik. – 2019.– Vol. 96, No 12.– P. 945-950. –DOI: 10.1002/bate.201900092.

3. Berlak J. Digitalization's impacts on productivity: a model-based approach and evaluation in Germany's building construction industry // Production Planning & Control. – 2020. – Vol. 39, No 6. – P. 945-950. – DOI: 10.1080/09537287.2020.1740815.
4. Terentyeva I. The Virtual Construction Site: Knowledge Management in Virtual Environments. International Journal of Emerging Technologies in Learning. – 2020. – Vol. 15, No 13. – P. 81-95. – DOI: 10.3991/ijet.v15i13.14655.
5. Шодикулова, М. Эффективность изучения программы ЛИРА-САПР при подготовке инженеров-строителей / М. Шодикулова, С. Ю. Савин, А. Бободжанов // Экономика и социум. – 2025. – №5(132). – С. 1558-1561.
6. Новые возможности ЛИРА-САПР 2024. – Текст: электронный // Группа компаний «LIRALAND»: официальный сайт. – 2025. – URL: <https://lira.land/lira/release-notes/2024/> (дата обращения: 05.09.2025)/

УДК 004.415

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТИЛЯ КОДИРОВАНИЯ НА ЧИТАЕМОСТЬ И СОПРОВОЖДАЕМОСТЬ КОДА

Скоций А.С., Глухов А.А., канд. физ.-мат. наук
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
Tarigos228@gmail.com, antonglukhov2012@yandex.com

Введение. В современной конкурентной среде ИТ-рынка, где стоимость владения программным продуктом на протяжении его жизненного цикла многократно превышает затраты на первоначальную разработку, вопросы читаемости и сопровождаемости кода выходят на первый план [2, 4]. Низкое качество кодовой базы, выражающееся в сложности восприятия и модификации, напрямую ведет к снижению скорости выхода обновлений, росту технического долга и демотивации команд разработки [1, 3]. Актуальность темы обусловлена необходимостью создания устойчивых и адаптируемых систем, способных к быстрой эволюции, что невозможно без строгих стандартов кодирования и объективной оценки качества кода с использованием инструментов статического анализа, таких как SonarQube, Checkstyle и Pylint [1, 5]. Целью данного исследования является анализ и систематизация ключевых аспектов стиля кодирования, определяющих его долгосрочную читаемость и сопровождаемость.

Основная часть. Основные проблемы, с которыми сталкиваются команды разработки, включают сложности восприятия кода, связанные с отсутствием унифицированных стандартов, а также проблемы сопровождения устаревших систем. Для решения этих задач предлагается внедрить стандарты кодирования на всех этапах разработки, обеспечив единообразие и читаемость кода, а также внедрение инструментов статического анализа на ранних стадиях [2, 5]. Такие стандарты позволяют

командам разработки снизить вероятность ошибок и ускорить процесс понимания и модификации кода, что особенно важно в условиях динамично развивающихся проектов с высокими требованиями к качеству и скорости разработки.

Для решения данных проблем предлагаются следующие виды направления:

1. Разработка и внедрение стандартов кодирования. Предлагается внедрить формализованные стилевые соглашения (Code Conventions), регулирующие такие аспекты, как отступы, именование переменных и функций, расстановка скобок и комментариев. Эти соглашения могут быть стандартизированы для всех проектов внутри организации, что обеспечит согласованность и простоту восприятия кода как внутри, так и между различными командами. Создание и поддержка таких соглашений с использованием инструментов типа Checkstyle или Prettier поможет избежать стилевого хаоса и значительно снизить когнитивную нагрузку на разработчиков, что приведет к повышению производительности команды [3, 4]. Помимо этого, такие инструменты могут автоматически форматировать код, что позволяет сократить время, затрачиваемое на приведение кода к общим стандартам.

2. Применение принципов проектирования и архитектурных паттернов. Для улучшения сопровождаемости кода важно внедрить принципы SOLID и DRY, а также применить проверенные архитектурные паттерны, такие как Factory, Observer или MVC. Эти методы позволяют создавать слабосвязанные и кохезионные модули, которые легче тестировать и модифицировать. Кроме того, принципы SOLID способствуют улучшению гибкости системы, позволяя разработчикам легко вносить изменения, не нарушая работы других частей приложения. Применение этих принципов улучшает не только сопровождаемость, но и тестируемость кода, упрощая добавление новых функций и изменений [2, 5]. Для обеспечения соблюдения этих принципов важно использовать соответствующие инструменты, которые могут помочь в проектировании архитектуры и тестировании на соответствие стандартам.

3. Инструменты для измерения сложности кода. Цикломатическая сложность, глубина наследования и связность – важные метрики, которые помогают выявить переусложненные участки кода и предотвратить возникновение технического долга. Высокая цикломатическая сложность может указывать на необходимость рефакторинга кода, так как она свидетельствует о чрезмерной сложности логики, которую трудно понять, протестировать и поддерживать. Предлагается использовать такие инструменты, как SonarQube и Pylint, для регулярного мониторинга этих метрик в процессе разработки и для оценки сложности кода. Эти инструменты позволяют объективно оценить сложность кода и помочь разработчикам в оптимизации логики программы, а также могут быть интегрированы в процесс непрерывной интеграции, что ускоряет выявление проблем на

ранних стадиях разработки [1, 4]. Более того, регулярная проверка на цикломатическую сложность помогает минимизировать вероятность возникновения багов и улучшить общий контроль качества.

4. Автоматизация процессов и интеграция в CI/CD. Для повышения эффективности разработки важно интегрировать инструменты статического анализа и тестирования в пайплайны непрерывной интеграции и поставки (CI/CD). Это позволит автоматически проверять код на соответствие стандартам и меткам безопасности, минимизируя количество ошибок и ускоряя процесс разработки. Автоматизация этих процессов также способствует улучшению безопасности программного обеспечения, что критически важно для защиты от уязвимостей и атак [2, 5]. Внедрение процессов автоматического тестирования и анализа на всех этапах разработки помогает оперативно выявлять и устранять уязвимости, предотвращая их попадание в финальную версию продукта. Совместная работа инструментов статического анализа и CI/CD позволяет значительно снизить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, а также повышает качество программного продукта, обеспечивая его соответствие стандартам безопасности и производительности.

5. Использование метрик качества кода в управлении проектами. Метрики качества кода, такие как покрытие тестами, количество багов на единицу кода, индекс читаемости и другие, могут быть использованы для оценки эффективности работы команды и управленческих решений. Важно интегрировать эти метрики в процесс принятия решений, чтобы на основе объективных данных можно было оптимизировать рабочие процессы и ресурсы, выделяемые на проект. Использование таких метрик позволяет не только контролировать качество кода, но и принимать своевременные меры по улучшению команды, выявляя и устраняя узкие места в процессе разработки [1, 3]. Это особенно полезно в крупных проектах, где необходимо поддерживать высокую производительность команды и обеспечивать высокое качество программного обеспечения.

Заключение. Для эффективного управления качеством кода и его сопровождаемостью важно применять комплексный подход, включающий как стандарты кодирования, так и инструменты для статического анализа, а также архитектурные паттерны и принципы проектирования. Интеграция этих подходов в процесс разработки позволит повысить читаемость, сопровождаемость и безопасность программного обеспечения. Данный подход будет способствовать созданию более стабильных, гибких и безопасных систем, готовых к быстрой эволюции и минимизации технического долга.

Список литературы

1. JavaScript.info. Modern JavaScript Tutorial: Coding Style [Электронный ресурс]. – URL: <https://javascript.info/coding-style> (дата обращения: 16.09.2025).

2. Microsoft. Документация Microsoft для разработчиков и ИТ-специалистов [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/> (дата обращения: 16.09.2025).
3. GitHub, Inc. Basic writing and formatting syntax (GitHub Documentation) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.github.com/en/get-started/writing-on-github/getting-started-with-writing-and-formatting-on-github/basic-writing-and-formatting-syntax> (дата обращения: 16.09.2025).
4. WebKit Project. WebKit Code Style Guidelines [Электронный ресурс]. – URL: <https://webkit.org/code-style-guidelines/> (дата обращения: 16.09.2025).
5. CodeDocs.org. Programming Style [Электронный ресурс]. – URL: <https://codedocs.org/what-is/programming-style> (дата обращения: 16.09.2025).

УДК 621.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ КАК ПРИМЕР ПРОЕКТНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Сушко Т.И., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0008-7877-8425,
Кожемякин А.С.,

Хухрянская Е.С., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0006-3500-3086
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ
tane2020102010@mail.ru

Введение. Ведущая роль курса физики при подготовке инженерных кадров известна специалистам, работающим во всех сферах науки и военной промышленности. Понимание важности «королевы наук» приходит при переходе курсантов на старшие курсы военных вузов при активном участии обучающихся в проектном физическом образовании на кафедре физики, курсовом проектировании, изучении смежных и специальных дисциплин. Физика позволяет установить научные, прикладные, логические, междисциплинарные связи со всеми дисциплинами общеобразовательной программы направления подготовки военных инженеров. Для более глубокого понимания места и роли современной физики в развитии военной техники и технологиях, необходимо вызывать желание у обучающихся понимать сложные физические процессы посредством решения прикладных и иных задач в совместных образовательных проектах курсантов с преподавателями. По нашему мнению, проектная деятельность и образование в военном вузе может стать основанием для глубокого и вдумчивого изучения дисциплин специализации курсантов в пределах непрерывного образования прикладного характера.

Цель. Одним из результатов проектного образования является опыт совместного решения прикладных задач, входящих в один образова-

тельный проект с курсантами, обучающихся по специальности «Техническая эксплуатация летательных аппаратов» и специализированной кафедры, начиная с первого и переходом их на последующие курсы, [1]. Данный опыт представим на примере решения практической задачи: моделирования физических процессов затвердевания детали сложной формы литье в песчано – глинистые формы (ПГФ) посредством решения модельных задач в программе компьютерного моделирования LFM Flow. При решении и анализе такого рода задач курсанты приобретают профессиональные компетенции, необходимые при отработке технических заданий по направлениям военной инженерной специализации, например, оптимизации и конструирования деталей авиационного оборудования посредством моделирования процессов затвердевания на основе метода конечных элементов.

Основная часть. Цель решения прикладной задачи в нашем случае – изучение влияния распределения температурных полей двухфазной зоне на каждом этапе затвердевания отливки в засыпанной опоке, расчет вероятности образования усадочных дефектов в теле отливки, которые приводят к ее износу, посредством компьютерного моделирования. В технологии ПГФ [1], особый интерес для исследователей представляет изучение влияния толщины переходов в деталях с различной конфигурацией на процессы затвердевания. Для работы над проектом, обучающиеся помимо, русского интерфейса LFM Flow изучают программное обеспечение системы SolidWorks 2021 [2], на основе которой создают цифровое изображение, позволяющее реализовать информационную функцию автоматизации процесса проектирования: оформление чертежей во многих системах стандартов, цифровое наблюдение направленности процесса затвердевания отливок, гидравлических потоков. Методом генерации сетки конечных элементов объемных трехмерных моделей заформованной отливки импортируется в форматах stl в моделирующий программой модуль и в предпроцессорном модуле LFM Flow задаем теплофизические свойства материалов как детали (отливки), каркаса модели деревянной формы, усадочные свойства сплава, сгенерированные в ходе ранее проведенных исследований или решения профильных задач. Следующим важным этапом стала серия расчетов затвердевания, проведенная авторами, параллельно с расчетом вероятности образования дефектов усадочного характера и газовой пористости в отливке. Расчет процессов затвердевания детали «Винт» проводили в расчетном модуле моделирующей системы LVM Flow. Материал детали – сталь 35ХМЛ, масса без учета системы питания составляет 30 кг. Деталь, представляет собой интерес для исследования тем, что брак в виде дефектов пористости, а также усадочного характера обнаруживается только после механической обработки, а не при моделировании процесса затвердевания данной отливки, что меняет привычные условия задачи. Цифровые трехмерные модели отливки вместе с системой питания авторами рисовались в программе Soliworks 2021, и конвертировались в заданный формат модели-

рующей программы. Цифровая объёмная модель отливки с системой ее питания представлена на рис. 1. Конструкция детали имеет два тепловых узла в местах сопряжений стенок отливки различной толщины, расчет мест сопряжений проводился при анализе конструкции при литье в ПГФ.



Рис. 1. Цифровая объёмная модель

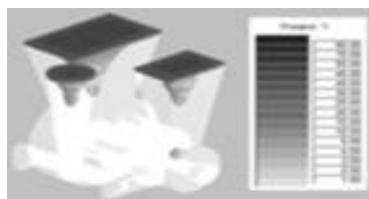


Рис. 2. Выявленные дефекты в недопустимых местах

Полученное соотношение стенок в соответствии с рекомендациями для стальных отливок порядка 2,98 предполагает неравномерный характер затвердевания. Движение двухфазной зон ликвидус – солидус в отливке приводит к более раннему затвердеванию термического узла, неизбежному появлению дефектов усадочной природы и газовой пористости, опасной эксплуатации и раннему износу детали, [3].

Заключение. Анализ результатов моделирования позволил авторам, определить влияние нестационарного затвердевания тепловых узлов, их роль и виртуально определить места зарождения усадочных дефектов в теле отливки близких к подприбыльной зоне, которые вероятно и вскрываются при механической обработке. Авторами установлено, что объёмная усадочная раковина порядка 15 % в объёме одного узла, располагается в верхней части отливки со стороны стержня, оформляющим полость, то есть почти на границе с отливкой, что является недопустимым. Согласно литературным источникам она должна быть значительно выше, располагаясь в прибыльной зоне и удаляться при отрезке от детали.

Список литературы

1. Сушко, Т. И. Формирование инженерных навыков курсантов посредством компьютерного моделирования / Т. И. Сушко, А. Е. Кожемякин, Т. В. Пашнева // Сб. науч. статей по материалам материалы международного семинара «Физико-математическое моделирование систем» (24-25 ноября). – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ». – 2023. – С. 122-126.
2. SolidWorks 3D CAD. – URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-3d-cad> (дата обращения 17.03.2025).
3. Баландин Г. Ф. Теория формирования отливки: Основы тепловой теории. Затвердевание и охлаждение отливки / Г. Ф. Баландин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 360 с.

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НЕОЧЕВИДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Толстых В.К., д-р физ.-мат. наук, проф., ORCID 0000-0001-9055-1102,

Ковалёв В.С., ORCID 0009-0002-6809-830X

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

Vladislav2007zzzz@gmail.com

Введение. Неочевидные явления – это процессы и структуры, которые не поддаются непосредственному восприятию органами чувств либо выходят за рамки привычных масштабов. В контексте этого, виртуальная реальность является отличным инструментом для моделирования и изучения. Однако, возможности существующих VR систем ограничены заранее записанными сценариями, командами и статичными симуляциями. Предлагаемый подход направлен на преодоление этих ограничений через внедрение искусственного интеллекта для VR генерации запроса пользователя в реальном времени.

Цель статьи – рассмотреть метод интеграции технологий искусственного интеллекта в среды виртуальной реальности для визуализации сложных запросов в реальном времени, с целью изучения неочевидных явлений, а также анализ преимуществ, недостатков и перспектив использования данного метода.

Основная часть. Современные VR системы дают возможность наглядного изучения тех или иных явлений, однако их возможности не выходят за рамки, созданные разработчиком. Всё взаимодействие проходит с заранее загруженными объектами, прописанными скриптами и сценариями. Использование ИИ способно решить данную проблему. Предлагается интеграция ИИ для создания универсальной среды исследования неочевидных явлений, которая позволит в реальном времени моделировать объекты, соответствующие запросу пользователя.

Предлагаемый метод работает следующим образом:

- 1) Пользователь запускает программу.
- 2) Пользователь вводит данные для генерации, и они превращаются в «промпт» (запрос, команда или набор инструкций, которые пользователь передаёт нейросети или другой программе с ИИ для выполнения определённой задачи) для искусственного интеллекта.
- 3) ИИ обрабатывает запрос на логичность и валидность запрашиваемых данных. Если запрос правильный, то ИИ начинает предварительную обработку структур для 3D-моделирования.

В случае неправильности введенных данных пользователь снова отправляется на ввод.

4) Выполняется визуальная симуляция.

5) В случае если пользователю нужно добавить новые параметры или изменить текущие, то он в VR-меню выставляет нужные настройки и в реальном времени с помощью ИИ обрабатываются данные и происходят изменения, после чего пользователь переходит к манипуляции созданными структурами. Если изменения не нужны, то пользователь переходит к манипуляциям сразу.

6) По окончанию работы в среде пользователь получает результаты своей работы и визуализацию всех проводимых им изменений.

7) В конце пользователь получает заключение и рекомендации сформированные ИИ по результатам его проделанных манипуляций.

Схема работы предлагаемого метода описана на рис. 1.

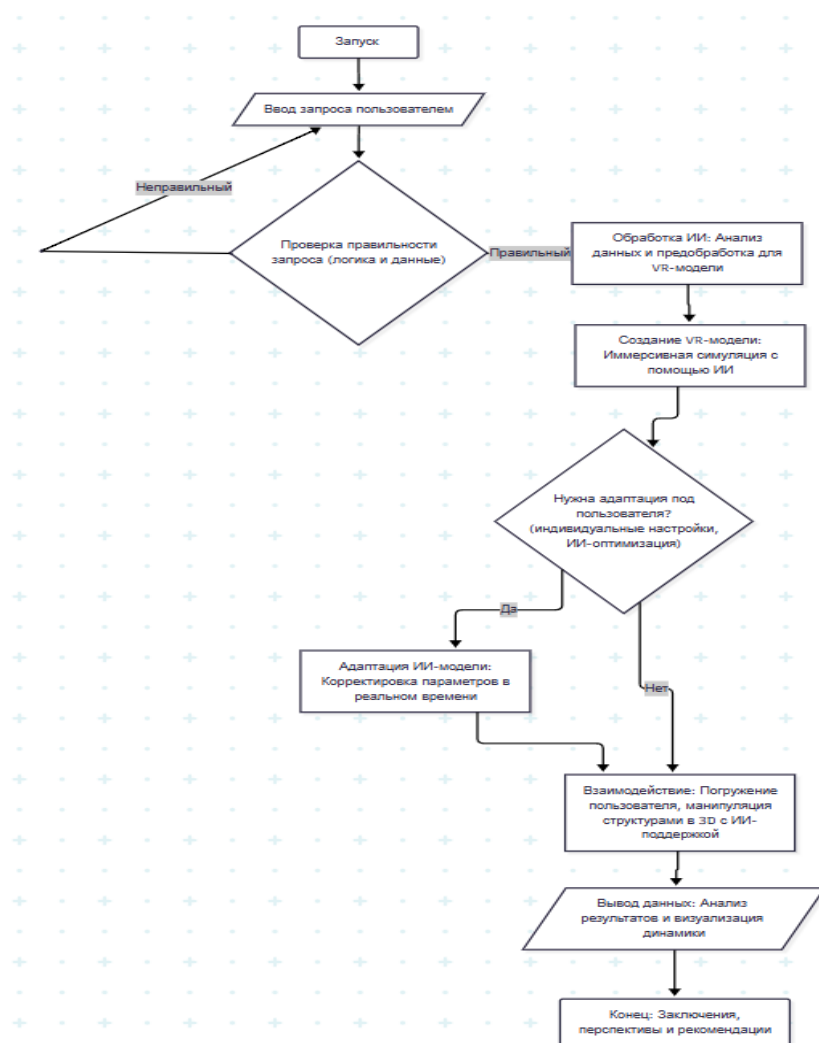
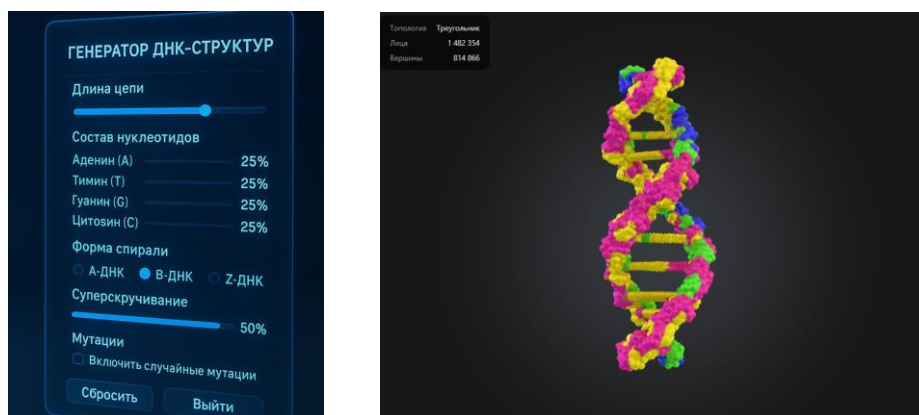


Рис. 1. Блок-схема работы метода интеграции искусственного интеллекта в VR-среду

Предлагаемый подход использует ИИ и VR для создания адаптивных VR сред, где ученые погружаются в динамику невидимых структур, с возможностью настройки параметров в реальном времени. Пользователь корректирует условия под себя, что повышает понимание процессов. Это

особенно ценно для демонстрации линий магнитного поля или структур белков, где традиционные методы ограничены. Также данный метод генерации среды позволяет создавать гибкое меню настроек, позволяющее в реальном времени менять параметры генерируемых объектов (рис. 2 а).



(а) Концепт VR-меню (б) Генерация модели ДНК через MashyAI
Рис. 2. Пример генерации 3D модели ДНК с использованием MashyAI

Предлагаемый метод позволяет создавать модели, соответствующие целям и нуждам пользователя, делая VR среду более гибкой и повышая наглядность исследования. Эффективность обучения возрастает, благодаря контролю над средой и адаптивностью сценариев. Использование API даёт возможность интегрировать ИИ прямо в 3D движки, повышая скорость рендеринга и отображения генерируемых объектов.

Из ограничений стоит отметить высокую стоимость внедрения. Если пользователь задал сложный запрос, генерация 3D модели может занимать больше времени и получаться неточной с первого раза, поэтому имеется нужда в постоянном обучении и улучшении используемой модели ИИ, что влечет за собой высокие расходы на вычислительные мощности.

К 2030 году рост рынка VR ожидается до \$435,36 млрд. [1], эти технологии внедряются повсеместно. Исходя из этих тенденций, данный метод, в перспективе, может стать основным для моделирования скрытых от человеческих глаз структур и их исследования.

Заключение. Использование искусственного интеллекта для моделирования неочевидных явлений в системах VR является полезным и эффективным решением, которое позволит создавать универсальные среды виртуальной реальности, однако требует больших вложений. С постепенным повышением вычислительной мощности и обучением ИИ, появится возможность визуализации более сложных объектов и анимаций, что улучшит эффективность исследований в несколько раз.

Список литературы

1. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы // Психологическая газета. – URL: <https://psy.su/feed/9265/> (дата обращения: 30.09.2025).

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ ДЛЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ: НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ С ПОРОГОВЫМ ОТКЛИКОМ

Толстых М.А., ORCID 0009-0003-3406-5056

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ
physicisto@yandex.ru

Введение. В социальных сетях распространение уникальной публикации (новости) представляет собой процесс взаимодействия множества агентов (пользователей), которое осуществляется путем репостов, пересылки и других форм взаимодействий [1]. Данный процесс предлагается описывать в рамках подхода механики сплошных сред [2], где вместо отслеживания индивидуальных действий каждого агента рассматриваются усредненные макроскопические характеристики.

Моделирование распространения информации. В социальной сети кибер-дистанция x – кратчайший путь в графе от пользователя-источника информации до приемника. Основной переменной состояния является поле плотности информации $v(x, t)$ – среднее количество репостов на единицу кибер-дистанции в момент времени t .

Для описания динамики плотности информации предлагается следующая модель:

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial t} = p \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} + h(x)r(t)\theta(v(x, t) - \varepsilon).$$

Здесь $p = \text{const} > 0$ – коэффициент диффузии информации, характеризующий скорость пассивного проникновения новости в сеть; $h(x)$ – пропускная способность (максимальное количество агентов, участвующих в распространении на расстоянии x); $r(t)$ – средняя скорость реакции агентов; $\theta(v(x, t) - \varepsilon)$ – функция Хевисайда; $\varepsilon > 0$ – порог значимости информации.

Необходимым условием активации источника является превышение плотностью информации порогового значения ε в данной точке пространства. Это моделирует пороговый отклик системы: агенты начинают активно делиться информацией (вносить вклад в источник $h(x)r(t)$), только когда она достигает в их окружении определенного уровня значимости.

Граничные и начальные условия задаются следующим образом. На левой границе $x = 0$, соответствующей источнику информации: $v(0, t) = 1$. На правой границе $x = L$: $v(L, t) = 0$. Начальное условие: $v(x, 0) = 0$, $\forall x \in (0, L)$, что соответствует отсутствию распространения информации в начальный момент времени.

Для данных граничных и начальных условий получено условие нормировки функции активности пользователей $r(t)$:

$$\int_{t^0}^{t^1} r(t) dt = 1.$$

Заключение. Предложенная континуальная модель представляет собой гидродинамический предел для мультиагентной системы типа среднего поля. Модель учитывает пороговый эффект активации пользователей, который возникает как макроскопическое проявление их микроскопического взаимодействия с усредненным полем плотности информации $v(x, t)$.

Идентификация оптимальных параметров $p, h(x), r(t)$ предложенной модели позволит обеспечить её соответствие реальному процессу распространения информации в социальной сети и использовать модель для прогнозирования распространения информации и классификации сообществ по параметрам информационной активности.

Информация о финансовой поддержке: Исследование выполнено при финансовой поддержке Азово-Черноморского математического центра (Соглашение от 29.02.2024 № 075-02-2024-1446).

Список литературы

1. Hu Y. Modeling for information diffusion in online social networks via hydrodynamics / Y. Hu, R.J. Song, M. Chen // IEEE Access. – 2017. – Vol. 5. – P. 128–135. – DOI 10.1109/ACCESS.2016.2605009.
2. Wang H. Modeling Information Diffusion in Online Social Networks with Partial Differential Equations / H. Wang, F. Wang, K. Xu // Information Diffusion Management and Complex Social Networks. – Springer, Cham, 2020. – P. 45-63. – ISBN 978-3-030-36602-1. – DOI 10.1007/978-3-030-38852-2.

УДК 004.032.26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНОВАТЫХ КЛАСТЕРОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Фаворская А.В., д-р физ.-мат. наук, проф., **Алаторцев К.В.**

ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Долгопрудный, Московская обл., РФ
alatortsev.kv@mail.ru

Введение. Зоны геологических трещин интересуют ученых в ходе определения объема залежей на нефтяных и газовых месторождениях. На данный момент зачастую для моделирования рассеяния волн на трещинах используются модели со структурированными сетками. Это позволяет получать хорошие результаты только вдоль направления осей координат.

Поэтому более реалистичные модели используют криволинейные схемы, однако это требует больше вычислительных ресурсов [3].

В последнее время все большее распространение получают модели машинного обучения, в частности, нейронные сети. Стоит отметить, что реальные задачи, например, как в данном случае, применение нейронных сетей для восстановления расположения трещин в среде по сейсмограммам, несут в себе много сложностей, о которых будет сказано в основной части.

Цель. Целью настоящей работы является восстановление картины трещин в среде с помощью нейронной сети и обучающей выборки, полученной сеточно-характеристическим методом на наложенных Химерных расчетных сетках.

Основная часть. В данной работе рассматривается использование полносвязной нейронной сети для определения количества трещин в среде, среднего угла наклона трещины, параметров по разбросу угла наклона трещин, средней длины трещины, параметров по разбросу трещин.

Одной из главных особенностей нейронных сетей, которая и позволяет получать лучшие результаты (по сравнению с классическими моделями машинного обучения: линейной регрессией, моделью KNN и др.), является нелинейная функция активации. Каждая из рассматриваемых функций активаций имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим далее основные требования, которые предъявляются к ним:

1) Функция активации должна быть нелинейной. Именно это требование и позволяет получить более точные результаты по сравнению с классическими моделями.

2) Функция должна быть дифференцируемой. Это необходимо для метода backprop (метод обратного распространения ошибки), который применяется для настройки параметров нейронных сетей. Отметим, что в функциях активации, которые используются в моделях, требование дифференцируемости может выполняться всюду, за исключением, возможно, конечного числа точек. Например, функции активации ReLU (рис. 1) и LeakyReLU (рис. 2) не дифференцируемы в точке $x = 0$.

3) Ограниченность функции.

4) Ненулевой градиент. Необходимо, чтобы в случаях неоптимальных начальных параметров модель быстрее обучалась на тренировочных данных.

Основные функции активации, а также их преимущества и недостатки, следующие:

Использование ReLU или LeakyReLU не требуют высокой вычислительной мощности. К недостаткам ReLU можно отнести нулевую производную в области $x < 0$. При этом значения обеих функций, вообще говоря, неограничены.

Функции Sigmoid (рис. 3) и Tanh (рис. 4) обладают преимуществом ограниченности значений. Для Tanh можно отметить, что эта функция не

смещает среднее значение данных, т.е. в случае, если данные на входе функции были центрированными, то они центрированными после выполнения функции и останутся. Недостатками этих функций является высокая вычислительная сложность, т.к. приходится считать экспоненциальные функции, а также тот факт, что в областях больших по модулю значений x производные практически равны нулю, что ведет к большей сложности при обучении модели.

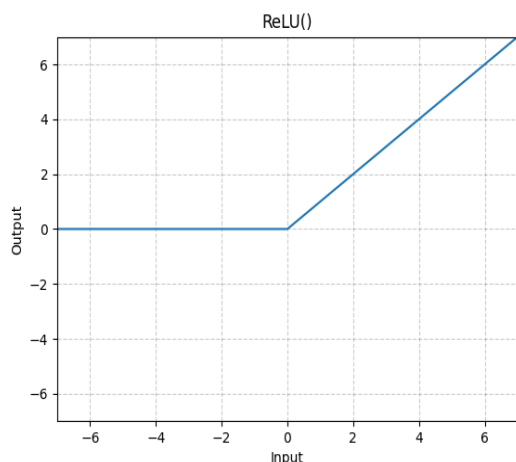


Рис. 1. Функция активации ReLU

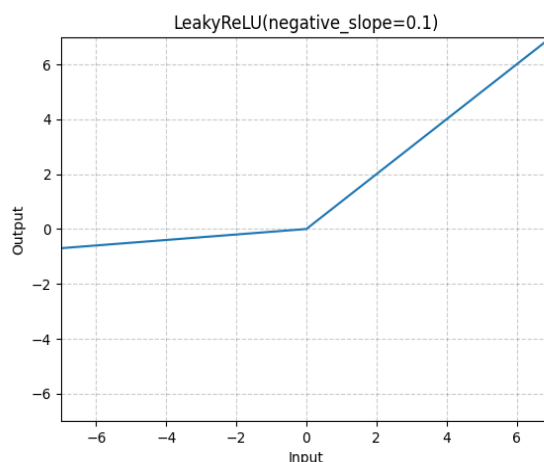


Рис. 2. Функция активации LeakyReLU

Поэтому на практике предпочтительнее использовать ReLU или LeakyReLU, если нет ограничения на область значений. В рекуррентных нейронных сетях или, если есть ограничения на область значения функции, применяют гиперболический тангенс. Sigmoid стоит использовать только в тех случаях, когда решается промежуточная задача бинарной классификации.

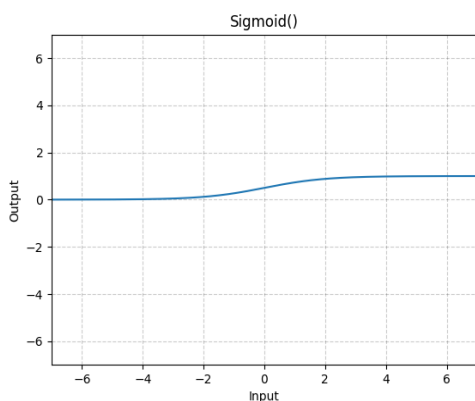


Рис. 3. Функция активации Sigmoid

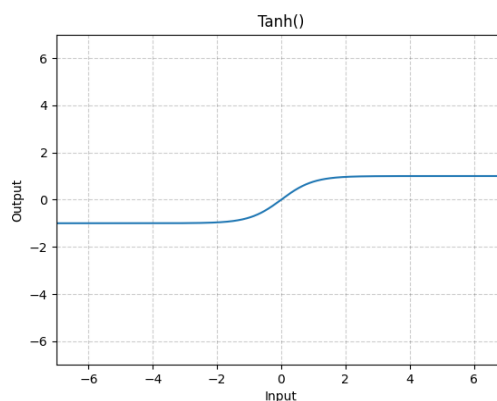


Рис. 4. Функция активации Tanh

Многие условия для получения качественных результатов с использованием как классических моделей машинного обучения, так и нейронных сетей, были получены в предположении, что функция потерь (ошибок) на пространстве параметров выпуклая [1]. Однако стоит отметить, что в ряде случаев модель машинного обучения может достигать

глобального минимума функции потерь из некоторого начального приближения (вообще говоря, может и не достигать). Также из-за неоптимального параметра Learning rate (который является множителем у слагаемого с градиентом) параметры модели могут удаляться от глобального максимума даже у выпуклой функции потерь. Примером последнего является парабола $y = x^2$, модель из-за большого параметра lr может все дальше удаляться от минимума функции потерь (т.е. модель при каждом обновлении параметров хоть и движется в сторону глобального минимума функции, но каждый раз не сходится к нему).

В настоящий момент разработано множество способов, которые позволяют минимизировать вероятность возникновения подобных ситуаций, например, использование планировщиков задач, подробнее о которых написано в документации PyTorch [2].

Заключение. Отметим, что описанный в настоящей работе метод применения рекуррентных нейронных сетей для поиска параметров трещин в среде позволит получить оптимальные результаты при наименьших затратах в вычислительных, временных и других ресурсах.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-71-10027, <https://rscf.ru/project/25-71-10027/>.

Список литературы

1. Нестеров Ю. Е. Методы выпуклой оптимизации / Ю. Е. Нестеров. – М. МЦНМО, 2010. – 280 с.
2. Официальная документация PyTorch: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/optim.html>
3. Nikolay Khokhlov, Alena Favorskaya, Vladislav Stetsyuk, Ivan Mitskovets Grid-characteristic method using Chimera meshes for simulation of elastic waves scattering on geological fractured zones. 2021

УДК 004.942

О РАЗРАБОТКЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ

Фёклин В.Н., канд. физ.-мат. наук, доц. ORCID 0009-0002-3274-1850,
Карпенко П.В., Коростылев Е.С.

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ
vfekl3@mail.ru

Введение. В современной научной и образовательной практике компьютерное моделирование [1–3] утвердилось как незаменимый инструмент для исследования сложных физических систем и как эффективная образовательная технология, позволяющая визуализировать

абстрактные концепции и явления. Настоящая работа посвящена исследованию новых способов, открывающихся с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ), в частности больших языковых моделей (LLM), для создания таких моделей. Под компьютерным моделированием с использованием ИИ мы будем понимать процесс, в котором разработка исполняемого кода и интерактивных визуализаций физических процессов осуществляется через диалог с LLM, включающий постановку задач и итеративное уточнение требований.

Целью данной работы является анализ особенностей разработки компьютерных моделей физических явлений при помощи ИИ. Мы стремимся выявить характерные трудности, возникающие в этом процессе, опираясь на конкретный опыт создания моделей газовой диффузии методами молекулярной динамики.

Газовая диффузия, как процесс самопроизвольного выравнивания концентрации молекул вследствие их хаотического теплового движения, представляет собой классическую задачу статистической физики и термодинамики. Моделирование этого явления позволяет наглядно продемонстрировать поведение систем многих частиц и фундаментальные принципы термодинамики. Традиционно создание таких моделей требует существенных затрат времени и усилий на программирование алгоритмов движения, обработки столкновений и освоение графических библиотек для визуализации. Однако численные методы и компьютерное моделирование позволяют вместо макроскопического описания и решения дифференциальных уравнений проводить симуляцию движения и столкновения отдельных частиц, наблюдая диффузию как результат их взаимодействий, глубже проникая в механизмы изучаемого явления.

Рассмотрим практический опыт создания двух моделей диффузии газов, иллюстрирующий как возможности, так и сложности применения ИИ. Использование LLM, способных генерировать программный код на различных языках, таких как JavaScript или Python, предоставляет возможность значительно ускорить разработку интерактивных моделей. Тем не менее, этот процесс далёк от полной автоматизации. Самое главное, что он требует от разработчика – глубокое понимание моделируемого физического явления и навыки эффективного взаимодействия с ИИ, умения точно формулировать запросы и критически оценивать предлагаемые решения.

Первой задачей была выбрана – разработка интерактивной 2D модели, демонстрирующей смешение двух типов частиц разного цвета и массы в замкнутом контейнере. Процесс моделирования включал стандартные этапы: инициализацию (задание начальных положений и скоростей частиц согласно распределению Максвелла-Больцмана), расчет траекторий между столкновениями, обнаружение и обработку столкновений (как между частицами, так и со стенками), обновление

скоростей после ударов и визуализацию. Дополнительно требовалось реализовать возможность добавления массивной броуновской частицы, перегородки с зазором, учета гравитационного поля и управления параметрами симуляции (температура, число частиц, скорость).

Для придания модели физической реалистичности начальные скорости частиц часто задаются в соответствии с распределением Максвелла-Больцмана, которое описывает распределение молекул идеального газа по скоростям при определённой температуре T . Учет реальных распределений гарантирует, что модель соответствует термодинамическим свойствам реального газа.

Итоговая реализация, созданная на HTML5 и JavaScript, представлена на рисунке.

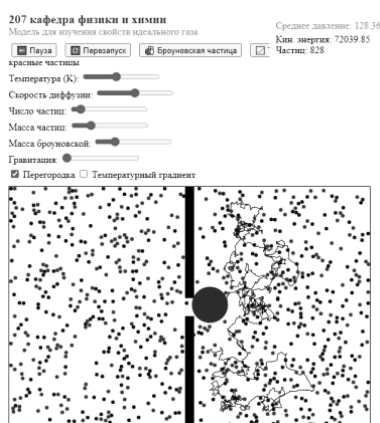


Рис. 2D модель идеального газа с броуновской макрочастицей

Модель позволяет визуализировать процесс смешения газов, динамически изменять температуру (через среднюю кинетическую энергию), число и массу частиц, скорость симуляции.

Процесс создания этой модели с помощью ИИ выявил ряд характерных трудностей. Первоначальные запросы общего характера, например, «создать модель диффузии», приводили к генерации чрезвычайно упрощённого кода. Физика процесса была представлена весьма схематично: частицы двигались без столкновений или отражались от стенок без учёта законов сохранения импульса и энергии, что делало модель физически неадекватной. Преодоление этого потребовало формулирования гораздо более точных требований. Необходимо было явно указать на реализацию упругих столкновений как между частицами, так и со стенками контейнера, причём с корректным учётом масс частиц при расчёте скоростей после взаимодействия. Также потребовалось уточнить связь температуры со средней кинетической энергией частиц, например, через использование соответствующей зависимости для среднеквадратичной скорости.

Дальнейшее усложнение модели (перегородка, броуновская частица, градиент температуры) также потребовало тщательной проработки запро-

сов ИИ не всегда корректно интерпретировал геометрические условия (например, логику пролета через зазор в перегородке) или сложную логику взаимодействия. Эффективным подходом оказалась «декомпозиция задачи»: каждая новая функция (например, добавление броуновской частицы и ее взаимодействие с мелкими частицами) запрашивалась отдельно с подробным описанием ее поведения и математических основ. Например, для перегородки точно указывались координаты, толщина и размер зазора, а также условие отражения/прохождения частиц.

Закключение. Обобщая опыт работы над этими моделями, можно выделить несколько характерных аспектов взаимодействия с ИИ при разработке физических симуляций. Во-первых, ИИ чрезвычайно чувствителен к точности и полноте формулировок запросов; неоднозначность или недостаток деталей часто приводят к генерации неверного или чрезмерно упрощенного кода. Во-вторых, следует помнить, что ИИ не обладает истинным «пониманием» физических законов. Он оперирует шаблонами, на которых обучался, и может сгенерировать код, внешне правдоподобный, но нарушающий фундаментальные принципы, такие как законы сохранения энергии или импульса. Поэтому экспертная оценка со стороны разработчика абсолютно необходима, что ставит новые требования к подготовке и желанию учиться самого педагога-разработчика.

Список литературы

1. Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике: в 2 т. Т. 1 / Х. Гулд, Я. Тобочник; пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 349 с.
2. Майер, Р. В. Компьютерное моделирование физических явлений / Р. В. Майер. – Глазов: ГГПИ, 2009. – 112 с.
3. Маликов, Р. Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БашГПУ, 2005. – 291 с.

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПОРТАЛА ДЛЯ СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ РОССИИ: АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛИЧНЫХ КАБИНЕТОВ

Фирсова Е.Д.¹, Наурусова Г.А.¹, Фирсова Н.В.², канд. техн. наук, доц.

¹ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, РФ

²Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный университет», г. Орск, Оренбургская обл., РФ
lizafirsova2006@yandex.ru, gan.kafedra@gmail.com, d33d1@yandex.ru

Аннотация. Разрабатываемый веб-портал служит информационной платформой для поддержки социального развития и сохранения

биологического наследия России, предоставляя пользователям доступ к большому объему информации в одном месте. В данной статье подробно анализируются основные принципы архитектуры личного кабинета, в том числе механизмы проверки подлинности и предоставления доступа, а также перечень доступных функций для каждой из ролей.

Введение. В современном цифровом мире личный кабинет стал неотъемлемой частью взаимодействия пользователя с различными онлайн-сервисами [1]. Применяемые технологии: фреймворк Flask – для легкой и быстрой разработки веб – приложения, языки разметки HTML, CSS и язык программирования JavaScript – для создания интерфейса, SQLite – для хранения данных пользователей, Яндекс Почта – для отправки сообщений пользователям.

База данных. Для хранения информации на веб-портале используется база данных, включающая в себя тринадцать таблиц. Для создания системы авторизации и личных кабинетов используются следующие таблицы: roles – роли; authorization – для авторизации; question – обратная связь пользователей; forgot – восстановления паролей; articles – статьи; profile – данные о профиле. На рис. 1 изображена физическая модель базы данных.



Рис. 1. База данных

Хранение паролей. Хранение паролей в базе данных в открытом доступе очень опасно, поэтому для безопасного хранения применяется алгоритм на Python bcrypt для хэширования с солью, что делает восстановление практически невозможным [3].

Регистрация. Пользователь вводит свои данные в форму для регистрации, представленной на рис. 2. После программа проверяет данные в базе данных. Если пользователь найден, то выводится сообщение об ошибке. Если же его нет, информация успешно заносится в базу данных, и пользователь переводится на страницу авторизации.

Авторизация. Пользователь вводит свои данные в форму для авторизации, представленной на рис. 3. Затем программа проверяет данные в базе данных. Если пользователь не найден, то выводится сообщение об ошибке. Если же информация найдена, то пользователь переводится в личный кабинет.

Рис. 2. Форма регистрации

Рис. 3. Форма авторизации

Восстановление пароля. Пользователь вводит адрес электронной почты в форму восстановления пароля, представленной на рис. 4. После программа проверяет данные в базе данных. Если пользователь не найден, выводится сообщение об ошибке. В ином случае, генерируется двенадцатизначный код и отправляется на указанный почтовый ящик с ссылкой на форму для смены пароля, представленной на рис. 5. В базе данных происходит добавление / обновление кода. После того, как пользователь введет данные в форму, программа проверяет их на корректность. Если данные корректны, то пользователь перенаправится на форму авторизации.

Рис. 4. Форма восстановления пароля

Рис. 5. Форма смена пароля

Личные кабинеты. Были созданы личные кабинеты с разными правами доступа. В личном кабинете администратора, представленном на рис. 6, можно: сменить фото профиля, просмотреть списки статей для публикации и списки обращений, сменить пароль.

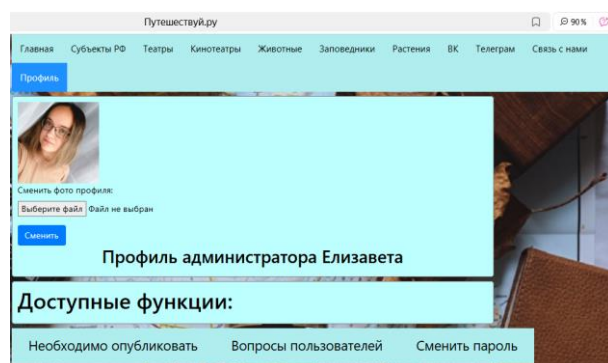


Рис. 6. Профиль администратора

В личном кабинете пользователя, представленном на рис. 7, можно: также сменить фото и пароль, отправить статьи для публикации, посмотреть статьи всех пользователей на главной странице после модерации.

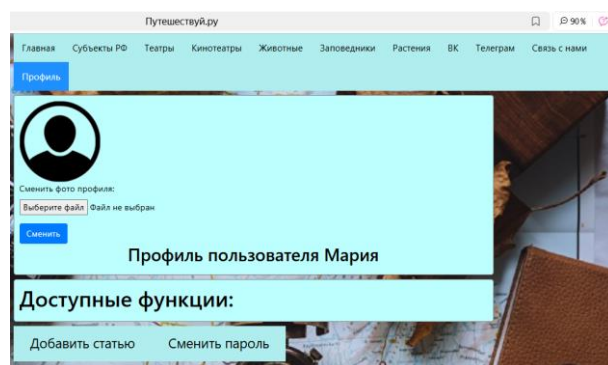


Рис. 7. Профиль пользователя

Заключение. В результате создана безопасная система авторизации, личный кабинет администратора, который упростит управление веб-порталом, личный кабинет пользователя, который упростит процесс управления аккаунтом.

Список литературы

1. Всплывающие сообщения в приложении на Flask Python [Электронный ресурс]. URL: <https://docs-python.ru/packages/veb-frejmwork-flask-python/sistema-vsplyvajuschih-soobschenij/> (дата обращения 01.08.2025).
2. Mera – Учебник Flask, Часть 6: Страница профиля и аватарка [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/223375/> (дата обращения 04.08.2025).
3. Хэширование паролей в Python [Электронный ресурс]. URL: <https://pythonist.ru/heshirovanie-parolej-v-python-tutorial-po-bcrypt-s-primerami/> (дата обращения 02.08.2025).

ВОЗМОЖНОСТИ И МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА МАТЕРИАЛЕ МОНУМЕНТАЛЬНОЙ ЖИВОПИСИ

Хришкевич Г.А., ORCID 0009-0000-2517-4996

ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет», г. Псков, РФ

georggalileo21@mail.ru

Введение. Изображения монументальной живописи (фрески, настенные росписи) часто имеют утраты и цветовые искажения, поэтому их цифровое восстановление важно для сохранения культурного наследия. Ручные методы точны, но трудоёмки; цифровые подходы ускоряют процесс и делают его воспроизводимым. Современные алгоритмы – от классических фильтров до моделей ИИ позволяют устранять шум, размытие и заполнять недостающие части различного размера. [1].

Цель статьи является сравнение ключевых классических и нейросетевых методов восстановления изображений монументальной живописи и поиск возможности их применимости.

Основная часть. Рассмотрим стандартную модель деградации изображения:

$$y = H * x + n \quad (1)$$

где y – наблюдение, H – линейный оператор, x – искомое «чистое» изображение, n – шум. Большинство классических подходов представимы как решение вариационной задачи

$$\hat{x} = \arg \min_x \frac{1}{2} \|Hx - y\|_2^2 + \lambda R(x), \quad (2)$$

где $R(x)$ – априорная структура, $\lambda > 0$ – параметр регуляризации.

Далее рассмотрим минимально достаточную базу для практики реставрации, на примере трёх классов – фильтрации, деконволюции и интерполяции.

1) Фильтрация шума представлена медианным фильтром – это нелинейный цифровой фильтр, эффективно используемый для устранения шума путём замены значения среди его соседей в заданном «оконном» наборе пикселей [2]

$$\hat{x}(p) = \text{median}\{y(q) | q \in N(p)\}, \quad (3)$$

Берём значение яркости в окне $N(p)$, где $N(p)$ – локальное окрестное окно вокруг пикселя p , обычно квадрат, например 3×3 или 5×5 . Выбран как устойчивый к выбросам локальный оценщик: эффективно удаляет редкие высококонтрастные дефекты (пятна, «песок») без размытия контуров.

2) Устранение размытия удаётся достичь при помощи винеровской деконволюции.

$$\hat{X}(\omega) = \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + K} Y(\omega), \hat{x} = F^{-1}\{\hat{X}\} \quad (4)$$

Здесь $\hat{X}$ – спектр оценки истинного изображения, $F^{-1}\{\cdot\}$ – обратное распределение Фурье для возврата в изображение $\hat{X}$ в пространственной области.

Данный метод хорошо подходит как базовый ориентир для деконволюции, поскольку является классическим и воспроизводимым.

3) Бикубическая интерполяция (заполнение малых пропусков, увеличение разрешения) строит гладкую кубическую аппроксимацию, используя ближайших соседей 4×4 [3]. Интерполяция определяется как:

$$\hat{x}(x, y) = \sum_{i,j} x_{i,j} \varphi(x - i) \varphi(y - j) \quad (5)$$

где сумма берётся по ближайшим четырём узлам в каждом направлении $i \in \{i_0 - 1, i_0, i_0 + 1, i_0 + 2\}$ и $j \in \{j_0 - 1, j_0, j_0 + 1, j_0 + 2\}$, где $i_0 = [x]$, $j_0 = [y]$.

Одномерное ядро $\varphi(t)$ имеет вид:

$$\varphi(t) = \begin{cases} (a + 2)|t|^3 - (a + 3)|t|^2 + 1, & |t| < 1, \\ a|t|^3 - 5a|t|^2 + 8a|t| - 4a, & 1 \leq |t| < 2, \\ 0, & |t| \geq 2, \end{cases} a = -\frac{1}{2}$$

Ядро $\varphi(t)$ – имеет компактную поддержку ($|t| < 2$ и обеспечивает непрерывность функции и её первой производной. при $a = -\frac{1}{2}$ достигается оптимальный компромисс между гладкостью и сохранением градиентов.



Рис. Пример восстановления не предобученной нейросети

Таким образом, рассмотренные классические методы задают математическую базу для восстановления изображений монументальной

живописи и позволяют корректно работать с шумом, размытием и небольшими пропусками, однако их возможности ограничены. В реальных задачах реставрации монументальной живописи это критично, так как изображения часто имеют крупные утраты и сложные дефекты.

Обучаемые модели учитывают глобальный контекст и стиль, что делает их предпочтительными при крупных лакунах. Partial Convolution заполняет по валидной маске и подходит для отверстий сложной формы, но на очень больших утратах сглаживает детали [4]. EdgeConnect восстанавливает сначала контуры, затем фактуру – композиция согласуется лучше, но ошибки на этапе контуров переносятся в результат [5]. LaMa использует свёртки с глобальным рецептивным полем и уверенно работает на крупных масках, однако при экстремальных пропусках может терять мелкую детализацию. Эти методы требуют близкого по стилю датасета и контроля качества из-за риска «галлюцинаций».

Заключение. Классические методы остаются предпочтительными при малых и однородных дефектах, где важны предсказуемость и воспроизводимость без обучения. Нейросетевые подходы целесообразны при крупных утратах и сложной иконографии, поскольку учитывают семантику и глобальные зависимости. Но как показывает практика использование нейросетевых подходов целесообразно исключительно при обученной модели, в противном случае результат восстановления изображения не будет подходить для реставрационных мастерских.

Список литературы

1. Методика автоматизированного восстановления изображений с использованием свёрточных нейронных сетей / Г. А. Хришкевич, Д. А. Андреев, Л. В. Мотайленко [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 6(242). – С. 65-76. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-65-76. – EDN HEKQGG.
2. Север, К. О. Сравнительный анализ двух способов фильтрации для устранения шума в изображении разной степени зашумленности / К. О. Север, И. И. Турулин, Д. А. Гужва // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 3(220). – С. 82-91. – DOI 10.18522/2311-3103-2021-3-82-91. – EDN UHQFKD.
3. Трубаков, А. О. Сравнение интерполяционных методов масштабирования растровых изображений / А. О. Трубаков, М. О. Селейкович // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – № 1. – С. 92-97. – DOI 10.22281/2413-9920-2017-03-01-92-98. – EDN YHFCGF.
4. Thanka Mural Inpainting Based on Multi-Scale Adaptive Partial Convolution and Stroke-Like Mask / N. Wang, W. Wang, W. Hu [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. – 2021. – Vol. 30. – P. 3720-3733. – DOI 10.1109/tip.2021.3064268. – EDN QIGOVK.
5. Restoration of seismic data using inpainting and EdgeConnect / M. Radosavljevic, M. Naugolnov, M. Bozic, R. Sukhanov // Proceedings of the SPE Russian Petroleum Technology Conference (RPTC 2021), Virtual conference, October 12–15, 2021. – 2021. – DOI 10.2118/SPE-206523-MS. – EDN VBJERB.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Чернядьев И.В., ORCID 0009-0008-6557-1601

ФГБНУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, РФ
chernyadev-i@mail.ru

Введение. На сегодняшний день существует потребность в автоматизации технических процессов, связанных с улучшением качества изображений, в том числе, с повышением дискретизации и сохранением детализации. В отличие от классических алгоритмов, требующих ручной настройки параметров под конкретные задачи, нейронные сети обучаются адаптироваться к разнообразным искажениям, демонстрируя превосходство в задачах супер-разрешения, шумоподавления, восстановления утраченных деталей. Однако, несмотря на прогресс, остаются нерешённые проблемы. Во-первых, большинство моделей требуют огромных вычислительных ресурсов и объёмов данных для обучения. Во-вторых, существующие алгоритмы часто демонстрируют нестабильность при работе с изображениями, содержащими сложные комбинации искажений, например, шум, размытие, низкая освещённость. В-третьих, вопросы обеспечения устойчивости моделей к артефактам генерации остаются открытыми. Это то, что дает простор для новых исследований и улучшения существующих прикладных решений.

Целью данной работы является выявление основных проблем в задаче повышения качества изображений, анализ особенностей применения глубокого обучения для их решения, а также предложение новых улучшений для методов глубокого обучения.

Основная часть. В задаче супер-разрешения среди множества нейросетей выделяются SRCNN, SRResNet, SRGAN и основанные на трансформере, каждая из которых демонстрирует уникальные характеристики. Несмотря на хорошие результаты, эти подходы сталкиваются с различными ограничениями: от проблем масштабируемости и вычислительной сложности до артефактов генерации и зависимости от больших объёмов обучающих данных:

- SRCNN содержит всего три сверточных слоя, что обеспечивает быстроту обработки. Эксперименты показывают превосходство над бикубической интерполяцией.

- SRResNet представляет собой глубокую нейронную сеть, специально разработанную для сверхвысокого разрешения. К недостаткам нейросети можно отнести однородную обработку всех регионов, что приводит к недостаточной детализации текстур в областях с высокой вариативностью.

- SRGAN является инновационной архитектурой, сочетающей супер-разрешение и генеративные состязательные сети. Модель способна создавать изображения с более реалистичными текстурами по сравнению с предыдущими методами. К недостатку можно отнести чрезмерный акцент на текстурах, который создает ложные элементы на изображении, которых могло не быть в оригинале.

- TTSR представляет собой архитектуру, основанную на трансформерах. Требуется значительных вычислительных ресурсов и, по сравнению с CNN, хуже восстанавливает такие компоненты, как тонкие линии, текстуры, волосы.

Исходя из вышеперечисленных методов, их достоинств и недостатков, можно сделать вывод, что каждая архитектура решает конкретные проблемы, но приносит новые ограничения, что подчеркивает узкую специализацию подходов. Например, SRGAN отлично справляется с визуальной реалистичностью, но при этом порождает артефакты из-за стремления к максимальной детализации. Для улучшения качества изображения необходимо одновременно улавливать мелкие детали и сохранять целостность изображения, учитывая глобальный контекст. Сверточные сети сильны в первом, трансформеры – во втором, GAN – в имитации реализма, но ни один подход не охватывает оба аспекта полноценно. Каждый из методов имеет свои сильные и слабые стороны, что подчеркивает необходимость разработки новых подходов сочетающих достоинства различных архитектур для достижения оптимального баланса между качеством и вычислительной эффективностью.

Архитектуры для реконструкции, основанные на трансформерах, обычно делят входное изображение на фрагменты фиксированного размера (патчи) и обрабатывают каждый патч независимо. Такой метод имеет один недостаток: граничные пиксели не могут использовать соседние пиксели, находящиеся вне патча для восстановления изображения, в следствии чего восстановленное изображение может содержать артефакты по краям вокруг каждого фрагмента. Эту проблему можно решить путем перекрытия патчей, но это приведет к дополнительной вычислительной нагрузке.

SwinIR – перспективная архитектура, сочетающая преимущества CNN и трансформеров [1]. Она основана на Swin Transformer, который использует сдвинутые окна для обработки патчей, позволяя захватывать локальные детали и глобальный контекст с меньшими вычислениями по сравнению с чистыми трансформерами [2]. Это решает проблему артефактов на границах патчей без значительного роста нагрузки.

Качество работы выбранной модели можно улучшить двумя способами: 1) изменить алгоритм синтеза LR изображений во время обучения; 2) сделать изменения в самой архитектуре.

Новая предлагаемая аугментация состоит из трех частей, которые могут происходить в разной последовательности и комбинациях:

1) комбинация изотропного и анизотропного размытия; 2) случайный выбор понижения дискредитации; 3) добавление шумов (Гауссова, JPEG-сжатия, Пуассона) с вариацией уровней и последовательности. Это моделирует реальные искажения, повышая обобщение модели.

В качестве улучшения архитектуры предлагается заменить сверточные слои на быструю свертку Фурье (FFC). FFC разделяет признаки на две параллельные ветви: локальную и глобальную. Локальная ветвь использует стандартные свертки для обработки деталей в небольших областях изображения. Глобальная ветвь применяет быстрое преобразование Фурье в частотную область, где точечная свертка обновляет коэффициенты, с последующим обратным преобразованием для возврата в пространственную область. После обработки в обеих ветвях признаки объединяются, создавая обогащенное представление, которое включает как локальные детали, так и глобальный контекст [3].

Заключение. Предлагаемые модификации в виде случайной аугментации для реалистичного моделирования искажений и замены обычных сверток на FFC для захвата глобального контекста должны повысить способность модели качественно реконструировать изображения при относительно низких затратах в ресурсах. Исследования в смежных областях, таких как классификация и сегментация, показывают, что использование FFC улучшает метрики на 10 % по сравнению с моделями, использующими только стандартные свертки [4-5]. Ожидается, что аналогичное улучшение будет наблюдаться и в задаче супер-разрешения.

Список литературы

1. Liang, J. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer [Text] / J. Liang, J. Cao, G. Sun, K. Zhang, L. Van Gool, R. Timofte // arxiv preprint. – 2021. – arxiv:2108.10257 (дата обращения 07.09.2025).
2. Liu, Z. Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows [Text] / Z. Liu, Y. Lin, Y. Cao, H. Hu, Y. Wei, Z. Zhang, S. Lin, B. Guo // arxiv preprint. – 2021. – arxiv:2103.14030 (дата обращения 10.09.2025).
3. Chi, L. Fast Fourier Convolution [Text] / L. Chi, B. Jiang, Y. Mu // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020 (дата обращения 12.09.2025).
4. Rao, Y. Global Filter Networks for Image Classification [Text] / Y. Rao, W. Zhao, Z. Zhu, J. Lu, J. Zhou // arxiv preprint. – 2021. – arxiv:2107.00645 (дата обращения 14.09.2025).
5. Quattrini, F. Volumetric Fast Fourier Convolution for Detecting Ink on the Carbonized Herculaneum Papyri [Text] / F. Quattrini, V. Pippi, S. Cascianelli, R. Cucchiara // arxiv preprint. – 2023. – arxiv:2308.05070 (дата обращения 15.09.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ

Шкуркин Д.В.^{1,2}, ORCID 0000-0002-2390-9300

¹Политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Таганрог, Ростовская обл., РФ

²ООО «Комплексные адаптивные системы», г. Таганрог, РФ
dmitry.shkrukin@gmail.com

Введение. Комплексные адаптивные системы (КАС) представляют собой множество взаимосвязанных элементов, взаимодействие которых приводит к формированию эмерджентного поведения. Примеры таких систем можно встретить в экологии, экономике, социальных процессах и компьютерных технологиях. Нелинейность, высокая размерность и чувствительность к начальному состоянию делают прогнозирование поведения КАС чрезвычайно сложной задачей, ограничивая возможности традиционных математических моделей. Методы машинного обучения открывают новые перспективы в этой области, так как позволяют выявлять скрытые зависимости и строить адаптивные модели на основе эмпирических данных.

Цель исследования. Заключается в анализе современных методов машинного обучения, применяемых для прогнозирования поведения КАС, а также в определении их преимуществ, ограничений и перспектив использования гибридных архитектур, объединяющих физические модели и алгоритмы искусственного интеллекта.

Основная часть. Методы машинного обучения находят применение в прогнозировании КАС благодаря способности выявлять нелинейные зависимости и сокращать размерность данных. Одним из современных направлений является генеративное моделирование динамики на пониженных пространствах. В работе Н. Gao и соавторов предложен метод G-LED (Generative Learning of Effective Dynamics), позволяющий проецировать исходную систему в латентное пространство и восстанавливать её динамику посредством генеративных моделей. Такой подход показал эффективность при прогнозировании высокоразмерных процессов, включая модели турбулентности, и подтвердил, что переход к скрытым представлениям снижает вычислительные издержки при сохранении качества прогноза [1].

На рисунке представлена обобщённая схема применения машинного обучения для прогнозирования поведения комплексных адаптивных систем. Она отражает основные этапы: сбор и предобработку данных, построение модели машинного обучения или гибридной архитектуры, а

также формирование прогноза с учётом динамики системы и возможных эмерджентных эффектов.

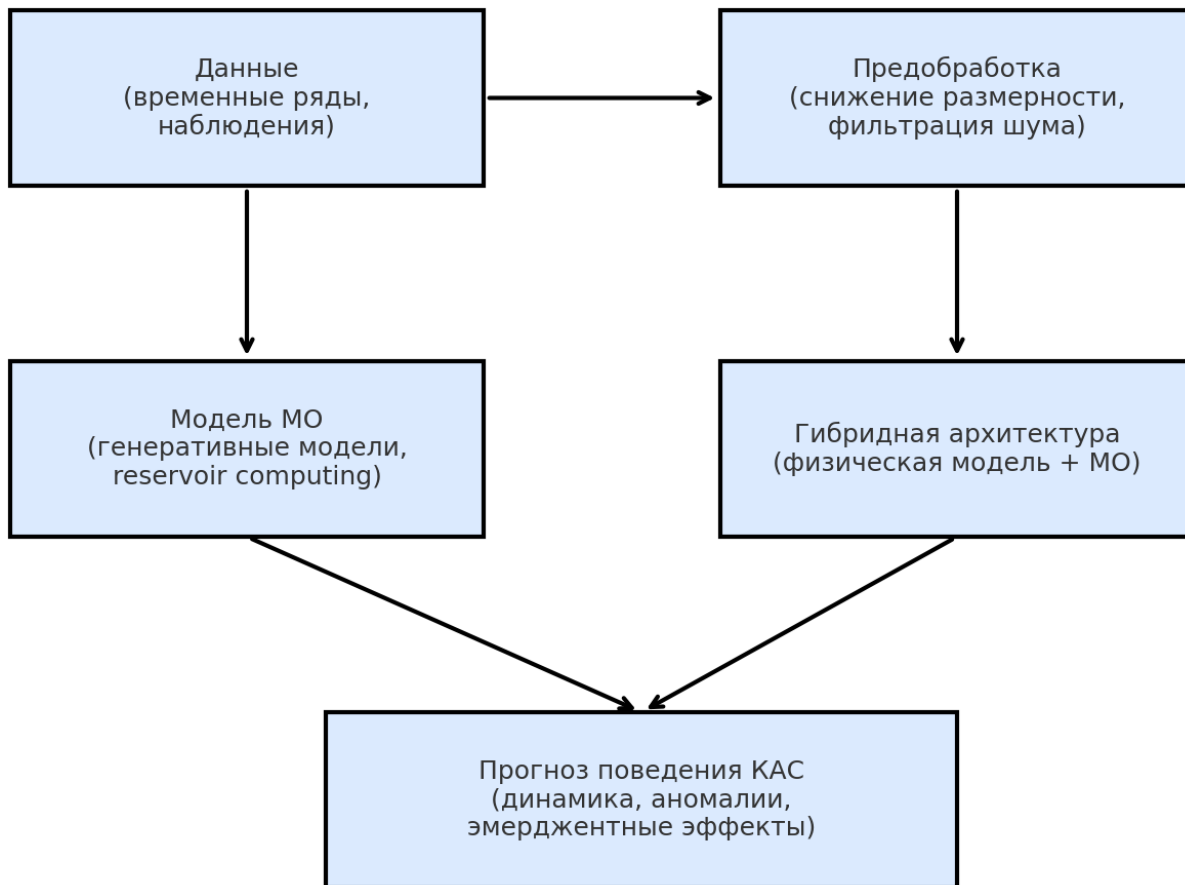


Рис. Архитектура прогнозирования поведения комплексных адаптивных систем с использованием методов машинного обучения

Другим заметным направлением выступает reservoir computing, в частности архитектуры типа echo state networks. Они доказали свою эффективность при прогнозировании хаотической динамики, поскольку позволяют фиксировать нелинейное преобразование входного сигнала и обучать лишь выходные веса. В исследовании W. A. S. Barbosa и D. J. Gauthier показано, что такие сети способны воспроизводить пространственно-временной хаос и устойчиво прогнозировать поведение систем, обладающих выраженной чувствительностью к начальным условиям [2].

Особый интерес представляют гибридные схемы, объединяющие физические модели и машинное обучение. J. Pathak с соавторами показали, что совмещение механистического описания с корректирующей моделью на основе reservoir computing позволяет улучшить точность прогнозов и увеличить временной горизонт устойчивости результатов [3]. Подобные подходы подтверждают, что именно интеграция традиционных и новых методов является наиболее продуктивным направлением развития прогнозирования КАС.

Отдельное внимание уделяется задаче выявления эмерджентного поведения. Современные исследования предлагают использовать машинное обучение не только для прогноза временных рядов, но и для обнаружения новых форм организации системы, которые неочевидны при анализе отдельных элементов. В работе «Detecting Emergent Behavior in Complex Systems: A Machine Learning Approach» показано, что методы классификации и выявления структурных паттернов позволяют фиксировать моменты перехода системы в качественно новые состояния [4]. Это открывает путь к более глубокой интерпретации динамики КАС.

Таким образом, в современных исследованиях можно выделить три ключевых направления: использование генеративных моделей для эффективного описания высокоразмерных динамик, применение reservoir computing для прогнозирования хаотических процессов и разработку гибридных схем, сочетающих машинное обучение и физические модели. Все эти подходы объединяет стремление компенсировать ограничения традиционного математического моделирования и обеспечить адаптивность прогнозирующих систем.

Заключение. Применение методов машинного обучения к прогнозированию поведения комплексных адаптивных систем открывает новые возможности в анализе процессов, где классические методы оказываются малоприменимыми. Современные исследования показывают, что наибольший эффект достигается при использовании гибридных подходов, объединяющих физическое моделирование и алгоритмы машинного обучения. Генеративные методы позволяют эффективно работать с высокоразмерными данными, а reservoir computing обеспечивает устойчивое прогнозирование хаотической динамики. В будущем ключевыми задачами станут разработка адаптивных алгоритмов, способных обновляться в режиме реального времени, повышение интерпретируемости моделей и расширение практических областей применения – от прогнозирования климатических процессов до управления распределёнными вычислительными системами.

Список литературы

1. Gao H., Kaltenbach S., Koumoutsakos P. Generative learning for forecasting the dynamics of high-dimensional complex systems. *Nature Communications*, 2024. DOI:10.1038/s41467-024-53165-w
2. Barbosa W. A. S., Gauthier D. J. Learning Spatiotemporal Chaos Using Next-Generation Reservoir Computing. *arXiv preprint*, 2022. arXiv:2203.13294
3. Pathak J., Wikner A., Fussell R., Chandra S., Hunt B., Girvan M., Ott E. Hybrid Forecasting of Chaotic Processes: Using Machine Learning in Conjunction with a Knowledge-Based Model. *arXiv preprint*, 2018. arXiv:1803.04779
4. Detecting Emergent Behavior in Complex Systems: A Machine Learning Approach. *ACM Digital Library*, 2024. DOI:10.1145/3615979.3656064

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРУЗКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ СВЕРХБОЛЬШИХ РАСТРОВ

Якимов А.Н., канд. техн. наук, доц., ORCID 0009-0001-1922-5600
ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»,
г. Луганск, РФ
alex_forever_82@mail.ru

Введение. Графическая информация хранится в виде растровых или векторных изображений различных форматов. В ряде случаев, например при аэросъемке, в задачах картографии, размер получаемых изображений может достигать нескольких гигабайтов. Просмотр таких больших растров часто является затруднительным.

Цель работы – обзор методов загрузки и последующего отображения сверхбольших растров, которые не помещаются в оперативную память компьютера.

Основная часть. Оперативная память компьютера, не смотря на ее постоянное увеличение, остается ограниченным ресурсом, требующим экономного использования. По сравнению с дисковой памятью, размер которой уже давно превысил отметку терабайта, объем оперативной памяти в большинстве случаев ограничен величиной нескольких десятков гигабайт. Этого количества достаточно для работы операционной системы, запуска и выполнения большинства программ пользователя. Однако при работе со сверхбольшими растрами может возникать ситуация ее нехватки, особенно если документ содержит одновременно несколько изображений.

Большинство существующих программ для просмотра изображений предполагает их полную загрузку в оперативную память. Многие форматы хранения растров используют предварительную компрессию графических данных, позволяющую заметно сократить занимаемое ими место на диске. Перед отображением на экране эти сжатые данные должны быть предварительно распакованы, что еще увеличивает их итоговый размер в памяти, а процедура декомпрессии требует дополнительных временных и вычислительных затрат.

Одним из способов решения проблемы нехватки оперативной памяти является *построчная загрузка* изображения. При ее применении растр загружается в память не целиком, а по частям. При этом типичной задачей является получение из исходного растра размера $S_x \times S_y$ его произвольного прямоугольного участка с новым масштабом, имеющим конечный размер $D_x \times D_y$. Например, для цветного изображения с шириной 50 000 и высотой 32 000 пикселей, требуется вернуть его участок (1 000, 1 000) – (5 000, 3 000) с новым размером 1024 × 512. Это связано с

тем, что из-за огромного размера растра он не может быть полностью отображено в начальном масштабе. Поэтому на экран выводится его часть или уменьшенное изображение. Объем исходного изображения в этом примере при отсутствии компрессии составит около 4,5 Гб.

Для масштабирования изображений применяются различные алгоритмы: метод ближайшего соседа, билинейная и бикубическая интерполяция, метод Ланцоша [1]. Наиболее быстрым из них является алгоритм ближайшего соседа (nearest-neighbor), при котором каждый новый пиксель принимает цвет ближайшего к нему пикселя из исходного изображения. При сильном увеличении получаемое изображение выглядит грубо, имеет ступенчатые края. Более качественный, но медленный алгоритм – бикубическая интерполяция, учитывает цвета ближайших 16 пикселей (4×4).

Оптимальным выбором при масштабировании больших растров, особенно при их уменьшении, служит билинейная интерполяция, использующая информацию о цвете 4 ближайших пикселей (2×2). Для вычисления цветов пикселей строки y нового изображения требуется загрузка в оперативную память только двух соседних строк исходного изображения. Нахождение цвета пикселя (x, y) на изображении с новым масштабом требует чтения на исходном растре пикселей с координатами $x' = (x / Dx) \cdot Sx$ и $x' + 1$, находящихся на строках $y' = (y / Dy) \cdot Sy$ и $y' + 1$ соответственно. Такая построчная обработка позволяет существенно сэкономить потребляемую память компьютера.

При построчном обращении к изображению, выигрывая в памяти, мы неизбежно проигрываем в быстродействии, так как строки растра читаются не из оперативной памяти, а с диска. Особенно сильное влияние на скорость получения информации оказывает внутренний формат, в котором хранится исходное изображение.

Наиболее простым способом представления растров является формат BMP. В файле с таким точечным изображением сразу после заголовка хранятся массивы, содержащие построчные компоненты цветов его пикселей. Причем строки изображения хранятся в обратном порядке, что нужно учитывать при масштабировании изображения. Обычно чтение исходных данных с диска в прямом направлении происходит значительно быстрее, чем в обратном, поэтому оптимальным по быстродействию будет получение пикселей нового изображения в направлении от его нижней до верхней строки.

Практические эксперименты показали, что при работе с форматами, предполагающими компрессию данных, операция декомпрессии строк изображения занимает время сравнимое или даже большее, чем само чтение их из файла. Так в формате PNG изображение разбивается на куски (chunks), для каждого из которых используется сжатие без потерь по алгоритму Deflate [2]. А изображение, сохраненное в формате JPEG, имеет

блочное сжатие, полученное с применением прогрессивного дискретного косинусного преобразования и кодов Хаффмана [3, 4]. Увеличение времени, затрачиваемого на распаковку участков сжатого изображения, становится особенно заметным при увеличении размеров растра. Для минимизации времени, требуемого для осуществления операций масштабирования и перемещения изображения на экране компьютера, предлагается использовать *дисковый кэш*, создаваемый при первом открытии такого изображения. Дисковый кэш представляет собой временный файл, обычно сохраняемый в том же каталоге, что и исходное изображение, но с другим расширением (например, *.cache). Он содержит сырые данные, с информацией о цветах пикселей в каждой строке растра, то есть напоминает формат BMP, но без заголовка и с прямым порядком хранения строк. При получении нового фрагмента изображения с указанным масштабом, необходимые строки читаются не из исходного файла, а из его дискового кэша.

Другим способом ускорения загрузки и визуализации больших изображений является подход, основанный на применении *тайлов*. Тайл (от англ. tile – плитка) представляет собой небольшой прямоугольный фрагмент изображения. Исходный растр разбивается на множество маленьких фрагментов одинакового размера. При его отображении на экране рисуются только нужные тайлы. С целью ускорения процедуры масштабирования можно заранее сгенерировать и сохранить тайлы разного размера, образующие так называемую пирамиду. Полученные фрагменты изображения можно хранить в отдельных файлах или в одном файле формата TIFF, который априори поддерживает такой способ представления графической информации.

Заключение. При работе с растрами большого объема важно уменьшить потребление памяти при достаточном уровне быстродействия. Существенная экономия оперативной памяти достигается благодаря построчному или поблочному чтению изображения из файла. Ускорить эту операцию позволяет применение дискового кэша или подход, основанный на использовании тайловой графики.

Список литературы

1. Васильев В. Е. Компьютерная графика: Учеб. пособие / В. Е. Васильев, А. В. Морозов. – СПб.: СЗТУ, 2005 – 101 с.
2. PNG (Portable Network Graphics) Home Site. – Текст: электронный. – 2025. – URL: <http://www.libpng.org/pub/png> (дата обращения 29.09.2025).
3. JPG committee homepage. – Текст: электронный. – 2025. – URL: <https://jpeg.org> (дата обращения 30.09.2025).
4. Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2019. – 1104 с. – ISBN 978-5-94836-331-8.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ГРАНИЦ ПРОВАЛООПАСНЫХ ЗОН

Яркова А.И., ORCID 0009-0001-4755-3732,
Дуброва Н.А., канд. техн. наук, ORCID 0000-0003-2197-902X,
Трофимов В.В., канд. техн. наук, ORCID 0009-0008-9955-3102,
Антипенко А.В., ORCID 0009-0004-4102-054X,
Домарев В.И., ORCID 0009-0003-5989-2867

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геофизики, геомеханики и маркшейдерского дела», г. Донецк, РФ
yarkova_maths@mail.ru, dubrovan@mail.ru, victor.trofymov@ranimi.org, ministrxp@mail.ru, vladimir.domarev@bk.ru

Введение. В рамках разработки геоинформационной системы (ГИС) провалоопасных зон г. Донецка возникла проблема, связанная с выполнением чрезвычайно большого объема инженерных работ по построению границ провалоопасных зон на земной поверхности, традиционно выполняемых вручную. Во-первых, для создания картографической основы ГИС необходимо подготовить набор исходных данных о горно-геологических и горнотехнических условиях проходки горных выработок. Затем, оценить факт наличия либо отсутствия риска образования провала от горной выработки на основе анализа условий отработки и, в случае наличия опасности, выполнить графическое построение границ провалоопасной зоны на земной поверхности. По приблизительным оценкам на территории г. Донецка находится около тысячи зон, опасных по возникновению провалов [1] и выполнение указанных видов работ без использования средств автоматизации является чрезвычайно трудоемкой задачей, требующей высоких временных затрат. Поэтому, разработка программного модуля для автоматизации процесса построения границ провалоопасных зон на земной поверхности от различных типов горных выработок является актуальной инженерной и научной задачей, решение которой позволит значительно повысить производительность труда, качество и точность выполнения работ, оптимизировать работу интеллектуальных и технических ресурсов, в том числе и за счет исключения ошибок исполнителя.

Цель работы – разработка программного модуля автоматизации процесса построения границ провалоопасных зон на земной поверхности.

Основная часть. Методика построения провалоопасных зон над старыми горными выработками и участками близкого к поверхности расположения горных выработок разработана на основе действующих нормативных документов и изложена в [2]. Для автоматизации построения

границ провалоопасных зон согласно этой методике разработан программный модуль на языке программирования C#, распространяемый в виде DLL библиотеки [3]. Модуль интегрируется в среду Autodesk® AutoCAD®, что делает возможным его загрузку как в автоматическом режиме, так и через команды среды. Программный модуль логически разделён на три основные компоненты: функции построения и обработки событий пользовательского интерфейса, реализация команд построения контуров провалоопасных зон и механизмы управления наборами параметров, на основе которых осуществляется построение контуров каждой зоны. Для обеспечения совместимости с AutoCAD реализован интерфейс IExtensionApplication. В процессе инициализации создаётся вкладка на ленте AutoCAD с кнопками, снабжёнными контекстными подсказками. С целью последующей обработки результатов параметры, вводимые пользователем, сохраняются во встроенных структурах данных объектов AutoCAD в формате строк JSON.

Для автоматизации построений разработаны методы, помеченные атрибутом CommandMethod, что позволяет интегрировать их как команды среды AutoCAD. Командный набор представляет собой функции построения контуров провалоопасных зон над вертикальными и крутыми выработками; над наклонными и крутонаклонными выработками с выходом на земную поверхность и без выхода; над горизонтальными выработками; над очистными выработками с возможностью автоматического включения зоны для подготовительной выработки или без таковой; над целиками, оставленными на выходах пластов под наносы.

Дополнительно реализованы команды для отображения на экране данных, привязанных к объектам, и автоматического объединения замкнутых контуров на чертеже. Результатом выполнения команд построения и объединения являются геометрические объекты различных форм, в основном замкнутые полилинии.

Для подтверждения точности построений, выполняемых программным модулем автоматизации построения границ провалоопасных зон (ПМ АППЗ), был проведен сравнительный анализ площадей зон, опасных по провалам земной поверхности. Согласно результатам анализа, общие расхождения площадей провалоопасных зон, построенных вручную, и провалоопасных зон, построенных с применением ПМ АППЗ, не превышают 1,6 %, что свидетельствует о высокой точности работы модуля, достаточной для его практического применения. Использование модуля позволяет значительно снизить трудоёмкость процесса отрисовки провалоопасных зон, особенно в случаях сложной геометрии. Пример построения контура провалоопасной зоны представлен на рисунке. Фиолетовым цветом указан контур провалоопасной зоны, построенный при помощи ПМ АППЗ, красным цветом отмечена провалоопасная зона, отрисованная вручную.

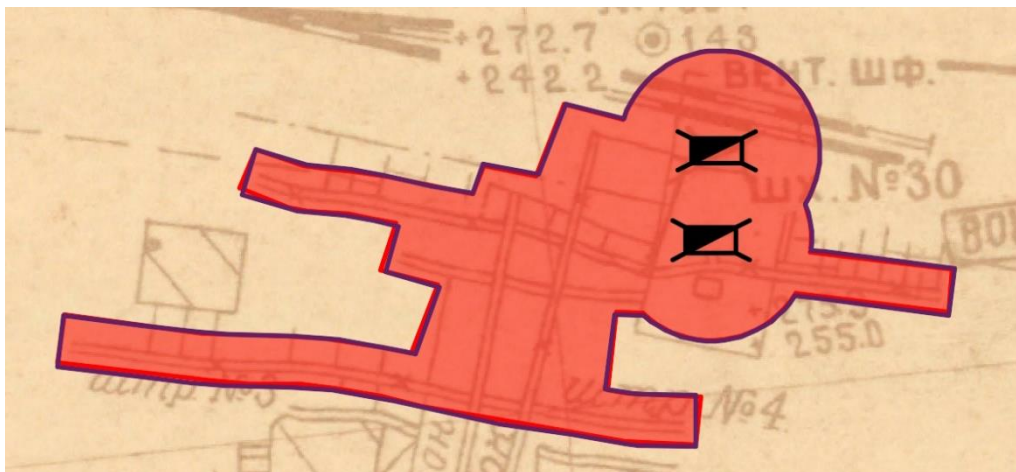


Рис. Пример отрисовки сложной провалоопасной зоны, состоящей из двух вертикальных шурфов, двух наклонных выработок, не имеющих выхода на земную поверхность, и четырех горизонтальных выработок

Права на программный модуль автоматизации построения границ провалоопасных зон (ПМ АПГПЗ) зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации (авторское свидетельство RU2025667764, от 09.07.2025 г.).

Заключение. Разработан программный модуль автоматизации построения границ провалоопасных зон (ПМ АПГПЗ) на земной поверхности, позволяющий определить наличие или отсутствие риска провалообразования от конкретной горной выработки одного из типов, рассчитать геометрические параметры провалоопасных зон и отобразить их границы на планах горных работ в заданной системе координат. Высокая точность построений, обеспечиваемая ПМ АПГПЗ, подтверждает его пригодность для широкого практического применения. Разработка данного модуля представляет собой этап в создании интеллектуальной карты провалоопасных зон города Донецка и обусловлена необходимостью формирования слоя пространственной информации о локализации участков, опасных по провалам земной поверхности.

Информация о финансовой поддержке. Исследования проводились в рамках государственного задания (номер темы № FRSR-2024-0001).

Список литературы

1. Дрибан В. А. О механизмах провалообразования над старыми горными выработками / В. А. Дрибан, Н. А. Дуброва, В. П. Сажнев, А. В. Антипенко, М. В. Колесник // Труды РАНМИ: сб. науч. тр. – 2024. – № 3 (41). Т. 2. – С. 104-123.
2. Хохлов, Б. В. Методика построения и обследования зон, опасных по провалам / Б. В. Хохлов, В. А. Дрибан, С. В. Голдин, А. М. Терлецкий, М. Д. Рожко // Труды РАНМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – № 7 (22). – С. 142-157.
3. Рихтер, Д. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C# / Д. Рихтер. – 4-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 896 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Физическая гидроаэродинамика, метрология, техносферная безопасность

<i>Байда Б.Ю., Гатицкий Д.В.</i> Сравнение углеродного и энергетического эффекта промышленных теплонасосных установок и газовых котлов в контексте декарбонизации.....	5
<i>Батухтин А.Г., Батухтин С.Г., Кобылкин М.В.</i> Выбор устройства подготовки потока для систем, транспортирующих пылевоздушную смесь	8
<i>Башева Т.С., Бодениязов Р.А.</i> Роль количественной оценки ТКО в системе управления отходами	11
<i>Белецкий Я.О., Сердюк А.И.</i> Переработка литий-ионных аккумуляторов от транспорта работающего на водородном топливе	14
<i>Василенко Н.А.</i> Оптимизация механических свойств поверхности мелкоразмерного волочильного инструмента методом ионной имплантации.....	17
<i>Васильев И.П., Мишин Я.С.</i> Решение разнообразных задач двигателестроения при использовании одного двигателя	20
<i>Губарев Ф.А., Давыдова Л.Ю.</i> Оборудование для лазерного мониторинга горения высокоэнергетических материалов.....	23
<i>Долгих В.П.</i> Гидрохимический метод расчета подземного стока в реку Белая (ЛНР) как составляющей водного баланса речного бассейна.....	26
<i>Доценко О.Г., Корецкая Е.Г.</i> Экологические последствия закрытия угольных шахт «мокрым» способом	29
<i>Илюхин А.А., Тимошенко Д.В.</i> Управление конформационной динамикой биополимеров.....	32
<i>Кара А.В., Садовая И.В., Алехов Ю.А., Аленин В.Г., Волошанович И.Н.</i> Определение гидродинамических характеристик металлокерамических фильтроэлементов, полученных методом СВС в поле центробежных сил.....	35
<i>Ломонос Г.Т., Лебедев В.Н., Пометун Е.Д.</i> Высокочувствительный измерительный комплекс скорости воздушного потока на базе импульсного термоанемометра и микроконтроллера ESP32	38
<i>Матвеев А.Ф., Рудник Р.С.</i> Анализ пограничного слоя в устройстве газодинамической температурной стратификации.....	40
<i>Несова А.В.</i> Экологический мониторинг лесных экосистем: оценка биоразнообразия и антропогенных нарушений на основе комбинированного анализа данных ДЗЗ.....	43
<i>Плотников Д.А., Стрела Б.С.</i> Проблемы и возможности переработки отходов горнодобычи в контексте техносферной безопасности.....	45
<i>Пометун Е.Д.</i> Исследование динамики вертикальной струи для моделирования выбросов от точечных источников	48
<i>Рожков А.И., Никифоров Д.К.</i> Перспективы использования ветрогенераторов в городах	50
<i>Садовая И.В., Кара А.В., Алехов Ю.А., Аленин В.Г., Волошанович И.Н.</i> Лабораторная установка для определения гидродинамических характеристик металлокерамических фильтроэлементов.....	53

<i>Саулова Т.А.</i> Управление стихийными угрозами в городской среде инженерным способом	56
<i>Соколов К.И., Подрухин А.А., Борщ Т.В., Макмак И.М.</i> Безвзрывное импульсное разрушение горных пород.....	59
<i>Стариков Г.П., Соколов К.И., Подрухин А.А., Гангало А.Н., Борщ Т.В.</i> Проведение экспериментальных исследований физических свойств углей и горных пород на твердофазной установке	61
<i>Сытник Е.С., Пащенко Д.Ю.</i> Техносферная безопасность автомобильного транспорта в условиях трансформации сырьевой базы и технологий нефтедобычи.....	64
<i>Тихонов Н.Ф.</i> Реализация инновационных технологий в судовых энергетических установках.....	67
<i>Тихосова А.А., Терлыч С.В., Строева Л.М., Иванова А.С.</i> К вопросу снижения уровня шума и вибрации для малых рыболовных судов	70
<i>Фиошин Н.В., Попова А.Е., Степанова Е.Э.</i> Экспериментальное исследование профилей продольных пульсаций скорости в трубопроводе переменного сечения	73
<i>Хазипова В.В., Кипря А.В., Мнускина Ю.В.</i> Состояние лесных насаждений как пирогенный фактор возникновения природных пожаров.....	76
<i>Хомутянская А.В., Маркин В.В.</i> Анализ проблемы очистки сточных вод коксохимических предприятий	79

Теоретическая физика и нанотехнологии

<i>Безус Ю.А., Федоров С.А.</i> Естественная оптическая активность неидеальной двухподрешеточной сверхрешетки с энантиоморфными слоями.....	82
<i>Белозерцев Ю.В., Омороков Д.Б., Евсикова Н.Ю.</i> Применение методики «свертка реплики» для анализа морфологии пор в диэлектрических слоях.....	85
<i>Бутько В.Г., Гусев А.А., Хачатурова Т.А.</i> Наночастицы лития. Ab-initio расчет	88
<i>Гангало А.Н., Сенникова Л.Ф., Яшарова Е.В., Суровицкий В.Д.</i> Влияние осадки при криогенной температуре на твердость меди	90
<i>Ивахненко Н.Н., Самойленко З.А., Пушенко Е.И., Бадекин М.Ю., Петренко А.Г., Сычева В.Я.</i> Структурные изменения атомного порядка в композите Cu-NbTi, полученном под действием пакетной гидроэкструзии	93
<i>Исмагилов Р.Г., Левин К.Л.</i> Эволюция орбиты спутника под действием радиальной силы	96
<i>Канныкин С.В., Попов М.М.</i> Характер фазового равновесия и нанокристаллизация аморфных магнитомягких сплавов Fe-P-Si при отжиге и фотонном облучении	99
<i>Киселева Т.Л., Савицкая Ю.А., Харламова К.И.</i> Влияние коэффициента потока на площадь сечения слоев изделий, полученных методом FDM-печати из полимерных композиционных материалов	102
<i>Кузенко Д.В., Бажин А.И., Удодов И.А.</i> Изменение термодинамического потенциала кристалла PbTiO ₃ при сегнетоэлектрическом фазовом переходе.....	105
<i>Лавренюк А.С., Недёркин В.В., Посыпаев А.А., Шемченко Е.И.</i> Распределение геометрических характеристик МУНТ в пленках CNxEu _y O _z	108
<i>Мирошниченко С.В., Гангало А.Н.</i> Влияние радиуса закругления канала на гидростатическое давление при равноканальном угловом прессовании	110

<i>Нетычук А.В., Нетычук В.П.</i> Реализация холодильной машины с солнечной адсорбцией работающей на солнечной энергии.....	113
<i>Николаенко Ю.М., Эфрос Н.Б., Мезин Н.И., Мухин А.Б.</i> Фотопроводимость поликристаллических образцов $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SrO})_x$ и $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{Ga}_2\text{O}_3)_x$	116
<i>Подсекалова Н.В.</i> Современные направления в развитии нанотехнологий в пищевой промышленности.....	119
<i>Посыпаев А.А., Лавренюк А.С., Недёркин В.В., Петренко А.Г., Шемченко Е.И.</i> ИК-спектроскопическое исследование химических связей в углеродных наноплёнках на основе нанотрубок	122
<i>Равичев Л.В., Ильина С.И., Ситников И.А., Ситников А.В.</i> Закон Пашена как следствие подобия в конвективном электропереносе.....	124
<i>Рыжова Е.Л.</i> Использование наноматериалов и нанотехнологий для повышения надежности инфраструктуры железнодорожного транспорта.....	127
<i>Савицкая Ю.А., Юркин А.А.</i> Влияние высоты слоя на физико-механические свойства изделий из дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов, полученных методом FDM печати.....	130
<i>Сафонов Р.А., Грибанов И.Ф., Ковалёв О.Е., Нырклов Н.Ю.</i> Магнитное поведение магнитокалорического сплава $\text{NiMn}_{0,89}\text{Cr}_{0,11}\text{Ge}$ под давлением	133
<i>Сеченева Е.В., Моргунов Н.Р., Судаков Д.Е.</i> Наноматериалы в создании биосовместимых имплантов.....	136
<i>Сирюк Ю.А., Безус А.В., Бондарь Е.Д., Кононенко В.В.</i> Результаты работы научной школы «Фазовые переходы в неоднородных структурах пленок ферритов-гранатов»	138
<i>Ситников И.А., Ситников А.В., Равичев Л.В., Ильина С.И., Сальникова Л.С.</i> Исследование работы терагерцового лазерного спектрографа применительно к практическим задачам.....	141
<i>Тарасенко Т.Н., Шевелёва А.В., Сафонов Р.А., Наймушина Д.Е., Волкова Г.К., Бурховецкий В.В., Ткаченко В.М., Потапская О.Н.</i> Влияние слабого легирования марганцем на структурные и магнитные свойства феррита висмута: по данным ДТА и магнитометрии	144
<i>Тарасов Д.П., Вяткин Д.В., Мошкин А.Д.</i> О современных методах контроля качества материалов.....	147
<i>Ткаченко В.М., Бережной Я.А., Сапронов А.Н.</i> Влияние гидроэкструзии на физико-механические свойства субмикроструктурной меди.....	150
<i>Токий Н.В., Носолев И.К., Резников А.В.</i> К вопросу об ионной проводимости и неупругих свойствах керамики на основе диоксида циркония	153
<i>Хачатурова Т.А., Бутько В.Г., Гусев А.А.</i> Электронная плотность состояний в транспортных характеристиках туннельных контактов.....	156
<i>Чайка Э.В.</i> Влияние давления холодного изостатического прессования на процесс двухэтапного спекания нанокристаллического порошка $\text{ZrO}_2 + 3\text{мол.}\% \text{Y}_2\text{O}_3$...	158
<i>Червинский Д.А., Христов А.В., Шелест В.В.</i> Нетрадиционные соотношения между дилатометрическими и калориметрическими термодинамическими коэффициентами.....	161
<i>Шалаев Р.В., Изотов А.И.</i> Использование углеродных наноматериалов в современной электронике.....	163
<i>Яшарова Е.В., Суровицкий В.Д.</i> Определение рационального режима деформирования гидроэкструзией для обработки ультрамелкозернистой меди.....	166

Радиофизика и инфокоммуникационные технологии, информационная безопасность

<i>Алексейчик Л.В., Дайуб А., Курушин А.А.</i> Моделирование антенной решетки миллиметровых волн на БПЛА.....	170
<i>Алексейчик Л.В., Курушин А.А.</i> Моделирование антенны на сдвоенных диэлектрических резонаторах	173
<i>Бабичева М.В.</i> Тестирование API-интерфейсов GraphQL	176
<i>Варюхин В.Н., Малащенко В.В., Малащенко Т.И.</i> Моделирование неупругих процессов в наводороженных металлах в условиях высокоскоростной деформации.....	179
<i>Веселова А.А., Мухаметзянов О.А.</i> Обзор концепций и практических разработок систем передачи информации на основе технологии Li-Fi	181
<i>Галимова С.Р., Сандаков В.Д.</i> Кибербезопасность цифровых энергетических систем	184
<i>Данилов В.В., Третьяков И.А., Подлесный В.Ю., Джанджгава К.Г.</i> Дискретное представление и восстановление непрерывных измерительных сообщений в АСУ и АСНИ.....	187
<i>Деллалов В.С., Непочатых Ю.И., Мухин А.Б.</i> Влияние формы плёнок железомитриевого граната на величины полей ферромагнитного резонанса	190
<i>Дяченко А.С., Тимофеев Б.И.</i> Применение блокчейн-технологий в сетевой инфраструктуре	193
<i>Евстифеева Е.А.</i> Гибридное гомоморфное шифрование для защиты данных в беспроводных сенсорных сетях.....	196
<i>Захаров В.А., Савотченко С.Е.</i> Предиктивная категоризация конфиденциальных документов на основе стилометрического анализа с применением архитектур глубокого обучения	199
<i>Иванова А.А., Корепанова Е.Г.</i> Управление репутационными рисками в цифровой среде: модель реагирования на инциденты информационной безопасности ...	202
<i>Киселёв Г.О., Бабичева М.В.</i> Уязвимость внедрения шаблонов на стороне сервера.	205
<i>Колесник Е.В., Данилов В.В.</i> Методика выявления уязвимостей в RFID-системах промышленных АСУ: анализ угроз и способы защиты.....	208
<i>Кузнецов А.А., Карловский А.П.</i> К примерам программной реализации генераторов псевдослучайных последовательностей с низкой взаимной корреляцией.....	211
<i>Кузнецов А.А., Мухаметзянов О.А.</i> Пространственно-временное моделирование рассеяния в каналах систем радиосвязи	213
<i>Кулигин М.Л., Ремесник Е.С.</i> Блокчейн как основа информационной безопасности проектов	216
<i>Малахов П.С., Красильников А.А., Коробков А.А., Овчинников А.Л.</i> Обработка данных для определения анаэробного и вентиляционного порогов.....	219
<i>Мельник О.Е., Войцеховский А.Н.</i> Цифровизация в электроэнергетических системах	221
<i>Петрущенко Т.В., Сычев Е.В.</i> Информационно-коммуникационные технологии в мотивации познавательной деятельности студентов	224
<i>Рушечников Я.И.</i> Адаптивная система подавления побочных электромагнитных излучений.....	227

<i>Рушечников Я.И., Третьяков И.А., Долбещенкова Н.В.</i> Автоматизация процедуры анализа количественных характеристик ПЭМИН	230
<i>Салдаева П.А., Мухаметзянов О.А.</i> Применение методов численного интегрирования для выявления тригеминии в ЭКГ-сигналах	232
<i>Тимошенко А.С., Бабицева М.В.</i> Системы многокритериального анализа информационно-технических решений для аутентификации на основе Манхеттенского расстояния	236
<i>Третьяков И.А., Данилов В.В.</i> Обработка радиосигналов посредством методов оптических информационных технологий.....	239
<i>Чони Ю.И., Хасанов К.Б.</i> Кольцевая антенная решетка для фокусированного ответа корреспонденту.....	242
<i>Шелехова О.Г.</i> Тепловое состояние асинхронных двигателей горных машин при несимметрии питающего напряжения.....	245
<i>Шиловский М.Р., Балабаева И.Ю.</i> Применение квантовых вычислений в криптографии.....	248

Компьютерные технологии

<i>Абилхан А.С., Косенко О.В.</i> Повышение эффективности идентификации объектов в условиях низкого разрешения изображений с помощью комбинации сетей ESRGAN и YOLOV8	252
<i>Аверин Г.В.</i> О подходах при моделировании тепловых процессов, различных видах энтропии и принципе Ландауэра.....	254
<i>Аверин Г.В., Ломонос Г.Т.</i> Система мониторинга метеорологических параметров ...	258
<i>Ан С.И., Третьякова Н.В.</i> Интеллектуальные цифровые технологии в агробизнесе.	261
<i>Анастас К.В.</i> Практическое применение искусственного интеллекта в преподавании математики в СПО	263
<i>Анашкин Н.Н.</i> Программа подбора модульных машин непрерывного транспорта конвейерных систем	266
<i>Ахремчик П.О., Ахремчик О.Л.</i> Словоформы в интерфейсах компьютерных систем контроля газотранспортного оборудования.....	269
<i>Бабин Е.Н.</i> Симбиотические взаимодействия в цифровой экосистеме университета как источник инноваций.....	272
<i>Бледнов А.А.</i> Проблема доступности больших языковых моделей: анализ современных методов оптимизации	274
<i>Бобченко А.А., Василищенок Т.А.</i> Рекомендательная система игрового контента с учётом серендипности.....	277
<i>Бодряга В.В., Лукашева С.Ю.</i> Модели глубокого обучения в задаче прогнозирования финансовых рынков.....	279
<i>Бондаренко В.В., Брагин Т.И.</i> Разработка нейросетевой модели шахматной игры на онлайн-платформе	282
<i>Бондаренко В.В., Грицишин Н.Р.</i> Применение машинного обучения в разработке и тестировании игр-головоломок.....	285
<i>Бондаренко В.В., Теличук А.В.</i> Рекомендательная система по подбору автомобиля с применением технологий искусственного интеллекта	288
<i>Бондаренко В.И.</i> Автоматизированная система анкетирования для мониторинга качества образовательного процесса в высшей школе	290

<i>Бондаренко В.И., Богдан Я.А.</i> Проектирование и интеграция http api для web-сервисов с использованием машинного обучения.....	292
<i>Бондаренко В.И., Печелина М.И.</i> Разработка и применение генетического алгоритма для автоматизированного составления расписания занятий в университете.....	295
<i>Вайнилович Ю.В., Аверченко А.Д.</i> Оценка потребности в развитии систем дистанционного музыкального образования.....	297
<i>Вайнилович Ю.В., Сакс А.О.</i> Анализ существующих онлайн-платформ для коллекционеров с учетом пользовательских потребностей и современных технологий	300
<i>Глухов А.А., Трофимов В.В., Домарев В.И.</i> Обработка и анализ данных микросейсмического мониторинга для прогноза геологических аномалий	303
<i>Доронкина В.Е., Ковтун И.И.</i> Применение сложных SQL-запросов в процессе разработки автоматизированных аукционов городских клинических больниц	306
<i>Дрибан В.А., Яркова А.И., Антипенко А.В., Трофимов В.В., Дуброва Н.А.</i> Разработка структуры нейросети для прогноза провалоопасных зон	309
<i>Дяченко А.С., Сечкарь Ю.А.</i> Обучение в цифровую эпоху: достижения и потенциальные проблемы	312
<i>Ермоленко Т.В., Вакуленко Е.Д.</i> Обзор технологий обнаружения дефектов компьютерной техники с помощью глубокого обучения	315
<i>Ермоленко Т.В., Пасечник Д.Д.</i> Обзор аннотированных наборов данных для обнаружения и классификации дефектов дорожного полотна.....	318
<i>Ермоленко Т.В., Яшаров Я.П.</i> Анализ современных методов определения эмоциональной окраски текста.....	321
<i>Загвоздкин В.А., Загвоздкина А.В.</i> Использование унифицированного языка моделирования (UML) при обучении студентов объектно-ориентированному программированию.....	324
<i>Звягинцева А.В., Ковалев И.Ю.</i> Методы кластеризации и классификации групп однородных событий при анализе временных рядов технологических параметров	327
<i>Звягинцева А.В., Коркишко В.В.</i> Формализованные модели процессов развития университетов России.....	330
<i>Золотухина И.Т., Егармин П.А.</i> Сравнительный анализ инструментов и методика разработки виртуального 3D-тура в среде Rapo2VR.....	333
<i>Изосимова С.А., Сальников И.С., Пигуз В.Н., Ивашко К.С., Ковалева К.В.</i> Аналитический обзор разрабатываемой компьютерной системы диагностики психоэмоциональных состояний личности, пребывающей в условиях хронического стресса военного времени.....	336
<i>Калько А.И., Прокопович М.В.</i> Проектирование многофункционального Telegram-бота для автоматизации корпоративных коммуникаций на основе Python и Aiogram.....	339
<i>Короткая А.А.</i> Цифровая экосистема современного ВУЗа: от LMS до интеграции с внешними сервисами	341
<i>Котенко В.Н., Демко Е.Ю.</i> Разработка алгоритмов машинного обучения для обнаружения мошенничества в сетях	344
<i>Котенко В.Н., Коваль Г.Д.</i> Инновационная система безопасного управления паролями пользователей.....	347

<i>Котенко В.Н., Королёв А.В.</i> Проектирование системы учёта и обработки информации абитуриентов направления подготовки вуза с использованием методов фильтрации.....	350
<i>Котенко Ю.В., Кривенчук А.Ю.</i> Автоматизация подбора материалов для ремонта квартиры.....	353
<i>Котенко Ю.В., Мигунов Б.М.</i> Разработка онлайн-кинотеатра с элементами соцсети и интеграцией сервисов искусственного интеллекта	356
<i>Котенко Ю.В., Ткаченко Д.С.</i> Скрытые каналы связи для БПЛА: примеры атаки и методы защиты	360
<i>Ларочкина Д.А., Максименко И.И.</i> Система распознавания лиц на видео с использованием нейросетей	363
<i>Латкин В.А.</i> Картографическое исследование экологического состояния территории с использованием компьютерных технологий	366
<i>Ли А.О., Ким А.С.</i> Моделирование переноса нефти в прибрежных водах с использованием Comsol Multiphysics	369
<i>Ломонос Г.Т.</i> Разработка прототипа универсального робототехнического комплекса для обследования труднодоступных и опасных зон	372
<i>Луканов С.Ю.</i> Разработка алгоритма МАСС для планирования пути покрытия в мультиагентных системах с помощью глубокого обучения с подкреплением.	375
<i>Лямцев О.А.</i> Использование глубокого обучения для безмаркерной трехмерной оценки позы человека по монокулярному изображению	378
<i>Максименко И.И.</i> Контрольные эксперименты с автоматами в Бэровских и Р-адических метриках.....	381
<i>Максименко И.И., Ганзеева И.В.</i> Использование глубокого обучения нейросетей для администрирования данных в сетях	383
<i>Мартыненко А.М., Пименов А.Ю.</i> Разработка приложения для спортивного комплекса	386
<i>Мартыненко А.М., Тукмачев С.А.</i> Особенности разработки программного обеспечения для шифрования и стеганографии текста с использованием различных криптографических алгоритмов	389
<i>Марчук Д.Н., Аверин Г.В.</i> Разработка аналитической и нейросетевой модели динамической системы на основе данных о метеопоказателях атмосферы.....	392
<i>Моргунов Н.Р., Сеченева Е.В., Судаков Д.Е.</i> Использование методов компьютерного зрения и искусственного интеллекта для анализа медицинских изображений.....	395
<i>Мороз Е.С.</i> Методы семантической сегментации в компьютерном зрении: обзор архитектур, функций потерь и современных подходов.....	397
<i>Мотос Д.А., Егармин П.А.</i> Интерактивная среда для создания 3d-моделей и программного кода	400
<i>Мухин П.М., Резниченко Т.А.</i> Сравнительный анализ технологий и инструментов извлечения данных из PDF-документов для использования в системах искусственного интеллекта	403
<i>Никитенко К.А., Звягинцева А.В.</i> Вероятностные методы оценки семантической схожести предложений	406
<i>Панченко А.В., Волкова Н.А.</i> Методы оптимизации времени отклика веб-страниц ..	409

<i>Полищук Ю.В., Алексанян Д.А., Данилочкин Д.А.</i> Подготовка экзаменационных билетов с применением издательской системы LuaLa-TeX на примере дисциплины «Операционные системы»	412
<i>Полищук Ю.В., Гончарова Я.В., Данилочкин Д.А.</i> Применение прототипа системы разработки семейств документаций на основе LuaLaTeX для разработки многоязычной документации.....	415
<i>Радовинчик О.А.</i> Применение онлайн-калькуляторов при изучении медицинской статистики.....	418
<i>Савельев М.О., Матвеев Ю.В.</i> United Cycle как инструмент цифрового моделирования для энергогенерирующих компаний на примере ПТ-30-8,8....	421
<i>Сигачева М.А., Сигачева К.А., Пахомова Ю.А.</i> BIM-технологии – компьютерная революция в строительстве	424
<i>Скочий А.С., Глухов А.А.</i> Исследование влияния стиля кодирования на читаемость и сопровождаемость кода	427
<i>Сушко Т.И., Кожемякин А.Е., Хухрянская Е.С.</i> Моделирование процесса затвердевания детали сложной формы как пример проектного образования ..	430
<i>Толстых В.К., Ковалёв В.С.</i> Внедрение искусственного интеллекта для визуализации неочевидных явлений в виртуальной реальности	433
<i>Толстых М.А.</i> Гидродинамический предел для мультиагентной системы распространения информации: нелинейная модель с пороговым откликом	436
<i>Фаворская А.В., Алаторцев К.В.</i> Определение параметров трещиноватых кластеров с помощью нейронных сетей	437
<i>Фёклин В.Н., Карпенко П.В., Коростылев Е.С.</i> О разработке компьютерных моделей физических явлений с использованием ИИ	440
<i>Фирсова Е.Д., Наурусова Г.А., Фирсова Н.В.</i> Разработка веб-портала для социального развития и сохранения биологического наследия России: архитектура системы аутентификации и функциональные возможности личных кабинетов	443
<i>Хришкевич Г.А.</i> Возможности и методы восстановления изображений на материале монументальной живописи	447
<i>Чернядьев И.В.</i> Улучшение качества изображений с применением методов глубокого обучения.....	450
<i>Шкуркин Д.В.</i> Применение методов машинного обучения для прогнозирования поведения комплексных адаптивных систем	453
<i>Якимов А.Н.</i> Особенности загрузки и отображения сверхбольших растров.....	456
<i>Яркова А.И., Дуброва Н.А., Трофимов В.В., Антипенко А.В., Домарев В.И.</i> Разработка программного модуля автоматизации процесса построения границ провалоопасных зон	459

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ – 2025:
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ИННОВАЦИИ,
КУЛЬТУРА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

Материалы
X Международной научной конференции,
посвященная 60-летию создания Донецкого научного центра,
5–7 ноября 2025 г.,
г. Донецк

**ТОМ 2
Физические, технические
и компьютерные науки**

под общей редакцией проф. *С.В. Беспаловой*

Дизайн обложки	<i>А.Ю. Гурина</i>
Технические редакторы	<i>В.Г. Медведева, М.В. Фоменко</i>
Компьютерная верстка	<i>В.Г. Медведева</i>

Адрес оргкомитета:

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 283001, ДНР, РФ.
E-mail: *science.prorector@donnu.ru*

Подписано в печать 28.10.2025 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 27,4.
Тираж 50 экз. Заказ № 25окт121/2.
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.
Издательство ФГБОУ ВО «ДонГУ».
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 22.
E-mail: *donnu.izdatelstvo@mail.ru*