

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік
ғылымдар сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика
и компьютерные науки
Издается с 1997 года

ISSN 2959-068X

№ 2 (2025)
Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика и компьютерные науки
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ91VPY00046988

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность
публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

<https://doi.org/10.48081/YZUA5920>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукинов С. К., д.ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора Испулов Н. А., к.ф.-м.н., профессор

Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., PhD доктор

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,	доктор PhD, профессор (Турция);
Qadir Abdul Rahimoon,	доктор PhD, профессор (Пакистан);
Ақылбеков Э. Т.,	д.ф.-м.н., профессор;
Демкин В. П.,	д.ф.-м.н., профессор (Российская Федерация);
Дүйшеналиев Т. Б.,	д.ф.-м.н., профессор (Российская Федерация);
Жумадиллаева А. К.,	к.т.н., ассоц. профессор;
Ибраев Н. Х.	д.ф.-м.н., профессор;
Кеңесбеков А. Б.,	доктор PhD;
Косов В. Н.	д.ф.-м.н., профессор;
Сеитова С. М.	д.пед.н., профессор;
Сулубаева Л. Г.,	доктор PhD;
Омарова А. Р.	(технический редактор).»

МАЗМҰНЫ

«КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»
SECTION «COMPUTER SCIENCE»

Абулханова М. Ю., Кыдырбаева Н. К.,
Ибекеев С. Е., Хабай А.

Тұрақты ток көзін пайдалана отырып Proteus ортасында
қарапайым схема құрастыру.....6

Ермек Б. Қ., Абілқайыр Ж. Н.,

Баймаханов Г. А., Омарова Ж. Б.

Оценка неопределенности измерений
по методу GUM с применением цифрового барометра MSB181.....19

Дюсенгазина Н. Н., Балгабаева Г. С.

Blockchain технологиясы және оның қолданылуы32

Найманова Д. С., Даутова А. З.

Методы оценки эффективности проекта43

Прокопенко С. С.

Применение искусственного интеллекта как технологии
контроля знаний в образовательной среде54

Рымғалиев Ә. Р., Абенова А. Т.

Цифрлық маркетинг саласында Adobe Illustrator бағдарламасының
векторлық графикалық редакторын қолдану66

Талипов С. Н.

Разработка кроссплатформенных визуальных программ на
wxWidgets в среде Linux с поддержкой кросс-компиляции79

Умарова А. Р., Алимова Ж. С., Исимбаева А. Б.

Электронды басылымдардың өзекті аспектілері91

Умарова З. М., Баенова Г. М., Сеньковская А. А.

Предварительный анализ прогнозирования количества
абитуриентов поступающих в вузы РК.....101

Федкевич М. С.

Использование методов концептуального моделирования
при разработке мобильного приложения «Активный гражданин».....118

Schmidt P.

Systems and effective management methods
in the conditions of digitalization.....130

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на

«Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

«ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ФИЗИКА» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»
SECTION «THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PHYSICS»

Бижигитов Т., Кушербаева М. Р., Бижигитова Л. Т. 1h мұз түрінің серпімділік қасиеттеріне сыртқы параметрлердің әсерін зерттеу	141
Горбов Л. Е., Титов А. А., Шкварина Е. Г. Синтез, аттестация и кристаллическая структура системы $(\text{Cu}_2\text{Se})_n\text{TiSe}_2$	154
Ерғазина Г. М., Шакенов Б. М., Фазлутдинова Ж. К., Жумабеков А. Ж., Касанова А. Ж. Күміс нанобөлшектерінің синтезі және физика-химиялық қасиеттері	162
Kuterbekov K. A., Bekmyrza K. Zh., Kabyshev A. M., Baratova A. A., Aidarbekov N. K. Screen printing technological approaches of materials for solid oxide fuel cells	174
Каюмова А. С., Сериков Т. М., Омарова Г. С. Влияние длительности электрохимического осаждения оксида графена на фотокаталитическую активность наностержней TiO_2	195
Сейтханова А. К., Нурбердиев А. Т., Тамаев С. Т., Тасуов Б., Әбидин Қ. Ш. Жарық ағынының параметрлері арқылы плазма температурасын бағалауға арналған құрылғыны әзірлеу	207
Shaimerdenova K. M., Tleubergenova A. Zh., Tanasheva N. K., Minkov L. L., Abdirova N. T. Investigation of thermophysical factors affecting wind power plant blade efficiency	219

«МАТЕМАТИКА И СТАТИСТИКА» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИКА И СТАТИСТИКА»
SECTION «MATHEMATICS AND STATISTICS»

Матин Д. Т., Ахажанов Т. Б. Глобалды Морри типтес кеңістіктердегі жиындардың функциялардың орта мәндері терминінде компактылығы	230
--	-----

«ОҚУ ПӘНДЕРІН ОҚЫТУ ӘДІСНАМАСЫ» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН»
SECTION «METHODS OF TEACHING OF EDUCATIONAL DISCIPLINES»

Боженкова Л. И., Соколова Е. В. Организация самостоятельной работы школьников в обучении геометрии	244
---	-----

Искакова А. Б., Қуанышбаева М. Т. Орта мектепте «Молекулалық-кинетикалық теория негіздері» тарауын оқытуда виртуалды зертханаларды қолданудың әдістемелік негіздері	265
Nurumzhanova K. A., Niyazov M. M., Gairulla A. A. From the experience of developing historical-methodological didactic content on theory of relativity	277
Түлемисова Ж. В., Сыдыкова Ж. К. Негізгі мектепте физиканы оқытуда белсенді оқыту әдістерін қолданудың әдістемелік негіздері	295
Авторлар туралы ақпарат Информация об авторах Information about the authors	311
Авторларға арналған ережелер Правила для авторов Rules for authors	334
Жарияланым этикасы Публикационная этика Publication ethics	346

МРНТИ 330:65.012
DOI

***М. Г. Абибулла¹, А. А. Абдилдаева²**

^{1,2}Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5877-1206>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6381-9350>

*e-mail: abibullam.g@mail.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО БЮДЖЕТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ИНТЕРНЕТ-ТОРГОВЛЕ

В данной статье рассматриваются современные методы прогнозирования, применяемые в динамическом бюджетном планировании интернет-торговли. Особое внимание уделяется оценке четырех подходов: Decision Tree, Random Forest, Linear Regression и ARIMA. Анализ проводится на основе таких критериев, как точность, адаптивность к изменяющимся условиям, учет сезонных факторов и вычислительная сложность.

Исследование подчеркивает важность использования гибких инструментов, способных учитывать рыночные тренды и сезонные изменения, характерные для интернет-торговли. Проведенный сравнительный анализ показал, что метод Random Forest отличается высокой точностью и хорошо справляется с обработкой больших объемов данных. В свою очередь, ARIMA наиболее эффективен в ситуациях, где наблюдаются выраженные сезонные колебания, позволяя делать точные прогнозы. Decision Tree и Linear Regression демонстрируют простоту в интерпретации, однако их точность может снижаться при анализе сложных и нелинейных данных.

Полученные результаты могут быть полезны для компаний, занимающихся интернет-торговлей, так как позволяют выбрать наиболее подходящий метод прогнозирования в зависимости от специфики бизнеса. Это способствует повышению точности финансовых прогнозов, улучшению адаптивности бюджетов и более эффективному реагированию на изменения рыночной среды.

Ключевые слова: прогнозирование, интернет-торговля, бюджетное планирование, Random Forest, ARIMA, Decision Tree, Linear Regression.

Введение

Современный рынок интернет-торговли развивается стремительно, создавая перед компаниями ряд новых вызовов, требующих гибких и точных методов бюджетного планирования. В последние годы конкуренция в сфере электронной коммерции усилилась, что связано с быстрым ростом онлайн-продаж, увеличением числа участников и изменением потребительских предпочтений. Разнообразие внешних факторов, влияющих на интернет-торговлю, включая мировые экономические колебания, затраты на логистику и рекламу, подчеркивает необходимость эффективного управления финансовыми потоками. В таких условиях традиционные методы планирования бюджета, базирующиеся на статичных прогнозах и ограниченном учете внешней среды, становятся менее актуальными.

Интернет-торговля особенно чувствительна к колебаниям спроса, которые могут быть вызваны сезонными факторами, изменением предпочтений потребителей и другими переменными. Обеспечение стабильного планирования требует постоянного анализа значительных объемов данных, учитывающих изменение потребительских запросов, конкурентную среду, рекламные издержки и транспортные расходы. Поэтому все больше компаний в этой сфере отдают предпочтение динамическому бюджетированию и использованию прогнозных моделей для более точного распределения ресурсов. В отличие от традиционного подхода, динамическое планирование позволяет оперативно реагировать на изменения рынка, корректировать прогнозы и управлять затратами в соответствии с текущей ситуацией [1].

Точное прогнозирование играет ключевую роль в обеспечении устойчивого роста бизнеса, снижении финансовых рисков и формировании конкурентных преимуществ. Использование современных методов прогнозирования доходов и затрат позволяет компаниям более эффективно управлять капиталом, оптимизировать расходы и рационально распределять ресурсы. Важную роль здесь играют алгоритмы, способные учитывать исторические данные, сезонные тренды, изменения цен и внешние факторы, влияющие на рынок. Это позволяет не только точнее предсказывать будущие финансовые показатели, но и подготовить компанию к возможным колебаниям и непредвиденным изменениям.

Применение продвинутых аналитических методов, таких как временные ряды (ARIMA, ETS, экспоненциальное сглаживание), регрессионные

модели, технологии машинного обучения (рекуррентные нейронные сети, LSTM, XGBoost), Байесовские методы прогнозирования, имитационное моделирование и оптимизационные алгоритмы, дает возможность компаниям более эффективно подходить к бюджетному планированию. Эти технологии не только улучшают точность прогнозов, но и позволяют оперативно вносить коррективы в финансовые планы с учетом актуальных рыночных условий, что способствует укреплению позиций компании в конкурентной среде.

«Таким образом, вопрос динамического планирования бюджета и прогнозирования финансовых показателей в сфере интернет-ритейла остается весьма актуальным». Целью данной работы является разработка эффективных методов прогнозирования, которые помогут интернет-компаниям точнее рассчитывать доходы и расходы, рационально управлять денежными потоками, снижать финансовые риски в нестабильных рыночных условиях.

Материалы и методы

Методологические подходы к динамическому бюджетному планированию в интернет-торговле и выбор эффективных методов.

Эффективное бюджетное планирование в интернет-торговле базируется на использовании различных методов прогнозирования, позволяющих максимально точно оценивать будущие доходы и расходы. Эти методы дают возможность анализировать исторические данные, выявлять ключевые тенденции, учитывать сезонные и циклические изменения, а также адаптироваться к влиянию внешних факторов. Рассмотрим основные подходы, применяемые в динамическом управлении бюджетом онлайн-компаний [2].

Прогнозирование на основе временных рядов.

Один из ключевых методов анализа и прогнозирования данных – это использование временных рядов. Этот подход основан на изучении прошлых данных для выявления закономерностей, что позволяет прогнозировать будущие изменения. Для интернет-бизнеса это особенно важно, поскольку спрос на товары и услуги часто подвержен сезонным и рыночным колебаниям. Использование методов временных рядов позволяет компаниям адаптировать свои бюджеты в соответствии с ожидаемыми изменениями.

Модель ARIMA

Одним из наиболее эффективных инструментов прогнозирования временных рядов является модель ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average). Она включает три ключевых компонента: авторегрессию (AR), интегрирование (I) и скользящее среднее (MA). Благодаря такому сочетанию модель способна учитывать как долгосрочные тренды, так и краткосрочные колебания. Это делает ARIMA полезной для прогнозирования доходов

и расходов интернет-компаний, позволяя учитывать динамику спроса и корректировать бюджетные планы.

Методы прогнозирования, такие как ARIMA, ETS и экспоненциальное сглаживание, дают интернет-компаниям мощные инструменты для анализа данных. Они помогают учитывать сезонные колебания, рыночные тренды и внешние факторы, влияющие на бюджетирование. Применение этих методов позволяет интернет-бизнесу более точно планировать финансовые потоки и оперативно реагировать на изменения рыночной среды [3].

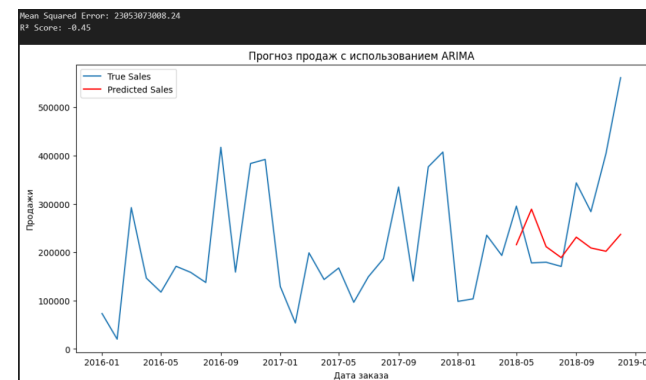


Рисунок 1 – Прогноз продаж с использованием модель ARIMA

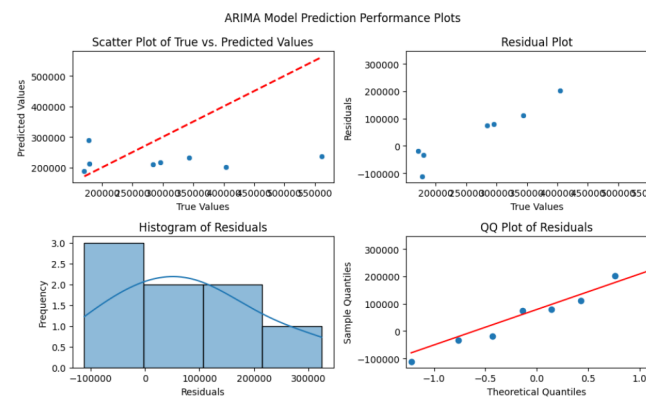


Рисунок 2 – Графики производительности прогнозирования модели ARIMA

Регрессионные модели в бюджетном планировании

Регрессионные модели активно используются при бюджетном планировании, поскольку они позволяют выявить и количественно оценить влияние различных факторов на финансовые результаты компании. Эти модели помогают интернет-бизнесу лучше понять, как изменения ключевых переменных (спроса, расходов на рекламу, расходов на логистику и других внешних и внутренних факторов) влияют на доходы и расходы.

Линейная регрессия

Линейная регрессия — один из самых простых и распространенных методов регрессионного анализа. Он предполагает линейную зависимость между переменными и используется в ситуациях, когда данные демонстрируют устойчивые тенденции без резких изменений. В электронной коммерции этот метод используется для анализа влияния маркетинговых затрат на выручку, оценки зависимости спроса от изменения цен и прогнозирования затрат на основе исторических данных [4].

Этот метод особенно полезен, когда необходимо оценить влияние определенного фактора (например, увеличения рекламного бюджета) на целевой показатель (например, рост выручки). Однако линейная регрессия имеет ограничения: она не подходит для моделирования сложных нелинейных взаимосвязей, которые часто встречаются в электронной коммерции.

Использование множественной и полиномиальной регрессии помогает учитывать сложные взаимосвязи между переменными, делая прогнозы более точными. Внедрение этих моделей в процесс бюджетирования позволит интернет-компаниям принимать более обоснованные и стратегические решения [5].

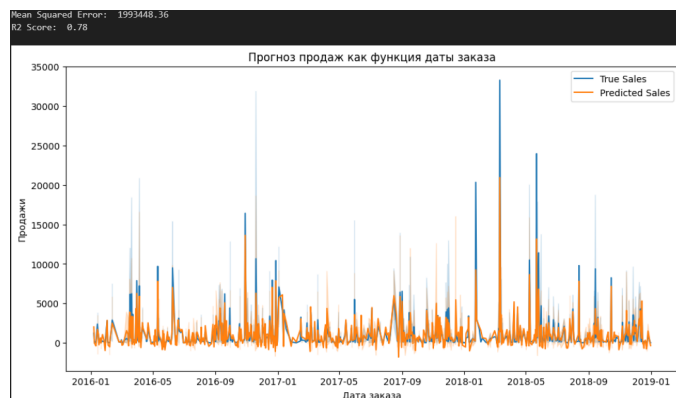


Рисунок 3 – Прогноз продаж с использованием Линейный регрессии

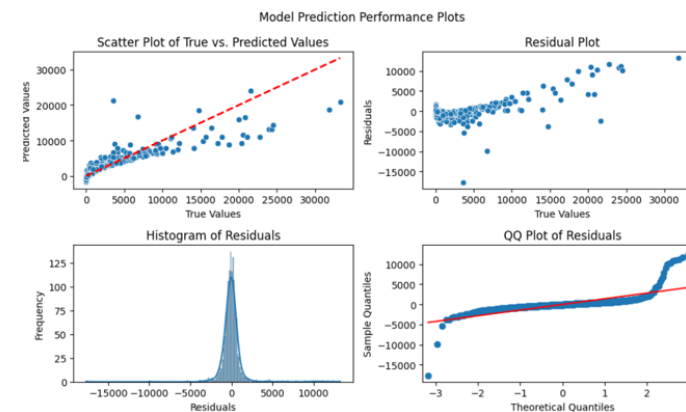


Рисунок 4 – Графики производительности прогнозирования Линейный регрессии

Алгоритм Random Forest в бюджетном планировании

Бюджетное планирование в интернет-торговле сталкивается с рядом особенностей: доходы и затраты зависят от сезонных колебаний, маркетинговой активности, поведения покупателей, изменений в ассортименте и внешних экономических условий. Для точного прогнозирования и гибкого управления финансами требуется метод, который способен учитывать множество факторов и адаптироваться к изменениям. Одним из наиболее эффективных решений является Random Forest (случайный лес).

Преимущества Random Forest

Метод случайного леса строит ансамбль деревьев решений, позволяя:

Анализировать данные с учётом множества факторов;

Выявлять ключевые зависимости и учитывать их при прогнозировании доходов и расходов;

Работать с неполными или зашумлёнными данными, что особенно важно в интернет-торговле [6].

Этот алгоритм особенно полезен в e-commerce, так как доходы зависят от множества переменных: поведения клиентов, сезонных изменений, скидок и маркетинговых кампаний. Random Forest адаптируется к новым данным, что критично для динамичного рынка: например, при изменении цен на поставки или запуске новых акций модель оперативно корректирует прогнозы и помогает оптимизировать распределение бюджета.

Вывод: использование Random Forest позволяет интернет-магазинам повысить точность прогнозирования, снизить финансовые риски и

более гибко реагировать на изменения рынка, обеспечивая эффективное управление бюджетом.

Метод Decision Tree в бюджетном планировании

Прогнозирование доходов и затрат в интернет-торговле требует учета множества факторов, таких как сезонность, скидки, маркетинговая активность и изменение спроса. Decision Tree (дерево решений) — это интуитивно понятный метод, который помогает анализировать зависимости между переменными и прогнозировать ключевые показатели бизнеса.

Как работает Decision Tree?

Дерево решений строит модель на основе последовательных решений:

Каждый узел представляет условие (например, высокий или низкий спрос, наличие скидок и акций).

Листья — это прогнозируемые результаты, такие как предполагаемые доходы или расходы [7].

Этот метод особенно полезен для e-commerce, так как он помогает:

Прогнозировать ключевые показатели, учитывая поведение покупателей и изменения ассортимента.

Анализировать влияние затрат на маркетинг, оценивая окупаемость рекламных инвестиций. Сегментировать клиентов и продукты для выявления наиболее прибыльных категорий и оптимального распределения бюджета.

Плюсы и минусы метода

Преимущества: простота интерпретации, наглядность структуры принятия решений.

Ограничения: склонность к переобучению (особенно при сложных данных).

Чтобы избежать переобучения, часто используют ансамблевые методы, такие как Random Forest, которые объединяют несколько деревьев решений для повышения точности.

Decision Tree — это мощный инструмент для бюджетного планирования в интернет-торговле, который помогает анализировать доходы и затраты, учитывать множество переменных и повышать эффективность финансовых решений [8].

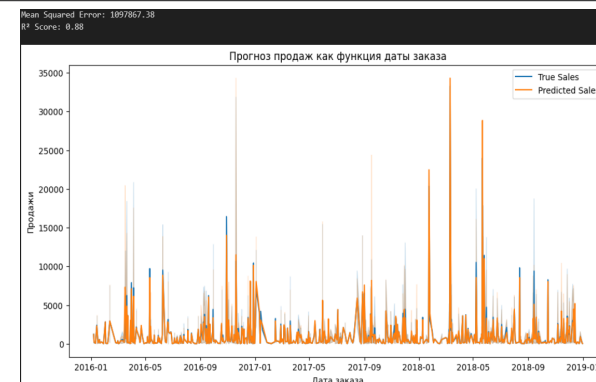


Рисунок 5 – Прогноз продаж с использованием метод Decision Tree

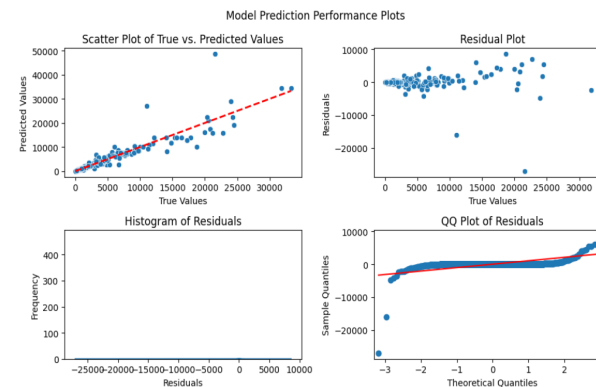


Рисунок 6 – Графики производительности прогнозирования метод Decision Tree

Сравнительный анализ методов прогнозирования и бюджетного планирования по основным критериям эффективности

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов

Критерий	Decision Tree	Random Forest	Linear Regression	ARIMA
Точность прогнозирования	Умеренная, может быть ограничена при сложных данных	Высокая, особенно при учете множества факторов	Умеренная, зависит от линейных зависимостей	Высокая при учете сезонности и трендов
Адаптивность к изменениям	Низкая, склонна к переобучению на изменчивых данных	Высокая, хорошо адаптируется к новым данным	Низкая, не всегда учитывает изменения трендов	Умеренная, адаптируется при обновлении модели
Сложность реализации	Простая, легко интерпретируется	Средняя, требует настройки параметров и больших данных	Простая, легко интерпретируется	Сложная, требует тщательной настройки
Вычислительные затраты	Низкие, быстрая обработка	Высокие, ресурсоемкий алгоритм	Низкие, быстрый расчет	Средние, требует ресурсов для временных рядов
Гибкость для изменений данных	Средняя, плохо работает при значительных изменениях	Высокая, гибкая к добавлению новых данных и факторов	Низкая, не адаптируется к нелинейным зависимостям	Средняя, работает с временными рядами
Учет сезонных колебаний	Низкий, не учитывает сезонность	Средний, возможен с дополнительной настройкой	Низкий, не учитывает временную динамику	Высокий, специально создан для сезонных данных

Применимость к разным типам данных	Подходит для категориальных и числовых данных	Универсален, работает с большинством типов данных	Хорош для числовых данных	Применим только для временных рядов
Интерпретируемость	Высокая, простота визуализации	Низкая, результат труден для интерпретации	Высокая, легко интерпретируется	Средняя, труден для визуализации

Итоговый выбор метода зависит от специфики задачи и типа данных, которые используются в анализе [9; 10].

Random Forest является оптимальным выбором для сложных и динамичных задач прогнозирования в интернет-торговле. Его высокие показатели точности, гибкости и адаптивности делают его идеальным для работы с большими объемами данных, многими переменными и изменяющимися рыночными условиями. Несмотря на сложность интерпретации и высокие вычислительные затраты, этот метод обеспечивает наилучшие результаты для прогнозирования доходов и затрат, учитывая множество факторов.

ARIMA — это лучший выбор для задач, связанных с временными рядами, где важны сезонные колебания и тренды. Этот метод идеально подходит для анализа и прогнозирования данных с ярко выраженной сезонностью, как, например, прогнозирование продаж в определенные месяцы или кварталы. Однако ARIMA ограничен применением только для временных рядов и требует тщательной настройки модели [11].

Decision Tree и Linear Regression — это хорошие методы для более простых задач, когда данные не столь сложны и могут быть легко интерпретированы. Decision Tree хорошо работает с категориальными и числовыми данными, однако его точность и гибкость ограничены в сложных сценариях. Linear Regression, в свою очередь, подходит для случаев с линейными зависимостями, но не может учесть более сложные нелинейные связи в данных.

Результаты и обсуждение

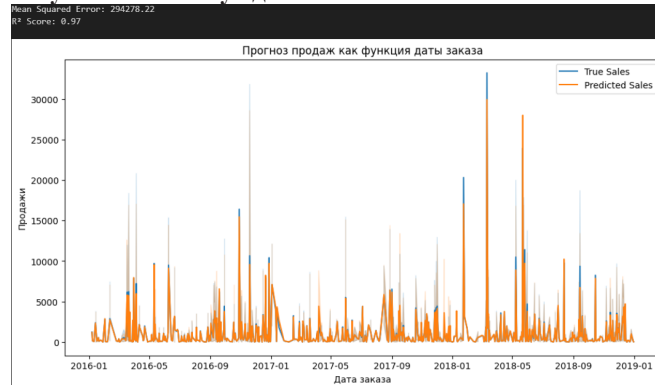


Рисунок 7 – Прогноз продаж с использованием алгоритм Random Forest

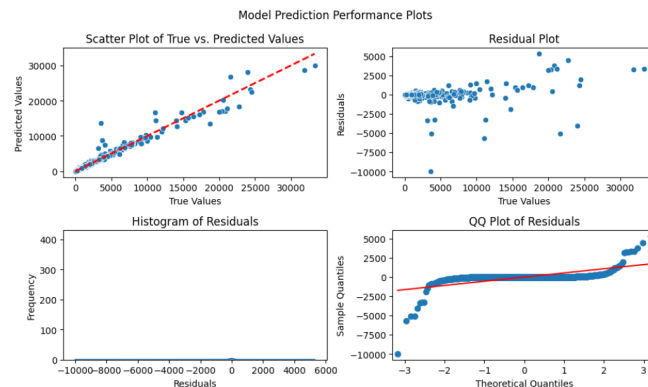


Рисунок 8 – Графики производительности прогнозирования алгоритм Random Forest

На основании проведенного анализа различных методов прогнозирования можно сделать вывод о том, какой из них наиболее эффективен для задач бюджетного планирования и прогнозирования финансовых показателей в интернет-торговле.

– Decision Tree – 88 %: Данный метод отличается простотой интерпретации и реализации. Однако его точность и способность учитывать сложные взаимосвязи между факторами ограничены, что снижает его эффективность для сложных прогнозных задач. Он хорошо подходит для относительно простых сценариев, но его применение в условиях динамичного рынка может оказаться недостаточным [12].

– Random Forest – 97 %: Этот алгоритм продемонстрировал наилучшие результаты по точности, гибкости и адаптивности. Несмотря на значительные вычислительные затраты и сложность интерпретации, он оптимален для работы с большими объемами данных и сложными зависимостями. Благодаря этим характеристикам Random Forest является наиболее предпочтительным выбором для решения поставленных задач.

– Linear Regression – 78 %: Этот метод является одним из наиболее простых в реализации и интерпретации. Однако его способность моделировать зависимости ограничена исключительно линейными соотношениями. В случае более сложных, нелинейных взаимосвязей его точность существенно снижается, что ограничивает его применение для сложных прогнозных моделей.

– ARIMA – 45 %: Метод ARIMA особенно эффективен при анализе временных рядов с выраженной сезонностью. Однако, если данные не обладают ярко выраженной временной структурой, его применение может быть неоправданным. Данный метод требует значительной предварительной настройки и не всегда может быть адаптирован к изменяющимся рыночным условиям [13].

На основании проведенного анализа наиболее эффективным методом для динамического бюджетного планирования и прогнозирования доходов и затрат в интернет-торговле является Random Forest. Он обеспечивает максимальную точность (97 %), адаптируется к изменяющимся данным и позволяет учитывать широкий спектр факторов. Использование данного алгоритма позволит компаниям повысить качество прогнозов, минимизировать финансовые риски и оперативно реагировать на изменения рыночной среды [14].

Выводы

Выбор наиболее подходящего метода для динамического бюджетного планирования и прогнозирования доходов в интернет-торговле зависит от специфики задач и характера данных, с которыми работает компания. Этот сегмент рынка отличается высокой динамичностью, резкими изменениями спроса и множеством факторов, влияющих на финансовые показатели. В таких условиях прогнозирование требует использования точных и адаптивных методов.

Среди доступных алгоритмов наиболее эффективным оказался Random Forest. Этот метод демонстрирует высокую точность за счет возможности учитывать множество переменных и их взаимодействий. Его ключевым преимуществом является адаптивность к новым данным, что особенно важно в интернет-торговле, где рынок меняется стремительно. Благодаря этому компании могут не только повышать точность прогнозов по доходам

и затратам, но и более эффективно управлять бюджетами, своевременно реагируя на изменения спроса и покупательского поведения.

Метод ARIMA, в свою очередь, хорошо подходит для прогнозирования временных рядов, особенно если данные содержат ярко выраженные сезонные или трендовые колебания. Этот инструмент полезен при долгосрочном планировании, так как позволяет учитывать циклические изменения в продажах. Однако его применение ограничено задачами, в которых временной фактор является ключевым, а сама модель требует тщательной настройки.

Методы Decision Tree и Linear Regression также могут использоваться в бюджетном планировании, особенно если необходимо получить быстро интерпретируемые результаты. Они удобны в реализации, однако имеют ограничения в точности и плохо справляются со сложными нелинейными зависимостями. В условиях высокой изменчивости рынка эти методы менее эффективны, чем Random Forest и ARIMA.

Таким образом, для интернет-торговли, где важно не только точно прогнозировать доходы, но и оперативно адаптироваться к изменениям, оптимальным решением становится использование Random Forest. Этот метод позволяет учитывать множество факторов, повышая точность прогнозов, что делает его наиболее сбалансированным инструментом для бюджетного планирования. Применение такого подхода помогает компаниям оптимизировать ресурсы, повысить финансовую устойчивость и укрепить свои позиции в условиях быстро меняющегося рынка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Брейман, Л. Случайные леса. Машинное обучение, 2001. – 45(1), 5–32. – <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- 2 Герасименко, В. В., Евдокимова, Н. Н. Методы прогнозирования в условиях неопределенности. Вестник, 2018. – НГЭУ, 1, С. 123–130.
- 3 Chong, A. Y.-L., Lo, C. K. Y., Weng, X. The Impact of E-commerce on the Forecasting and Budgeting Process: A Study in Retailing and Online Business. Journal of Business Research, 2017. – 80. – С. 275–284.
- 4 Brynjolfsson, E., Smith, M. D. Frictionless Commerce? A Comparison of Internet and Conventional Retailers. Management Science, 2000. – 46(4), С. 563–585.
- 5 Джеймс, Г., Уиттен, Д., Хасты, Т., Тибширани, Р. Введение в статистическое обучение с приложениями на Р. Нью-Йорк: Спрингер. 2013. – <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>

6 Карасев, О. А., и др. Методы машинного обучения в анализе временных рядов. Информационные технологии и вычислительные системы, 2019, 4, С. 66–73.

7 Козлов, А. С. Динамическое бюджетирование и прогнозирование в условиях цифровизации экономики. Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития, 2020. – 1. – С. 34–42.

8 Макридес, С., Спилиотис, Э., Ассимакапулос, В. Методы прогнозирования: статистические и методы машинного обучения. PLOS ONE, 13(3): 2018. – e0194889. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889>

9 Макридякис, С., Уилрайт, С., Хиндман, Р. Прогнозирование: Методы и приложения. Нью-Йорк: Вайли, 1998.

10 Педрегоса, Ф., Вароксо, Г., Грамфорт, А., Мишель, В., Тирион, Б., Грисель, О., и др. Scikit-learn: Машинное обучение на Питон. Журнал исследований машинного обучения, 12. – 2011. – С. 2825–2830.

11 Сейф, Г. Модель ARIMA — Полное руководство по прогнозированию временных рядов на Питон. Towards Data Science. – 2019. – Доступно онлайн: – [Electronic resource]. – <https://towardsdatascience.com/arima-model-time-series-forecasting-7f221e9ee66d>

12 Филдес, Р., Гудвин, П. Как улучшить использование управленческих суждений в прогнозировании. Интерфейсы, 2007. – 37(6), С. 570–576. – <https://doi.org/10.1287/inte.1070.0311>

13 Гудвин, П. Прогнозирование для менеджеров: как избежать ошибок. Москва: Альпина Паблишер, 2017.

14 Хасты, Т., Тибширани, Р., Фридман, Дж. Элементы статистического обучения: Анализ данных, выводы и прогнозирование. Нью-Йорк: Спрингер, 2009. – <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>

REFERENCES

- 1 Breiman, L. Sluchaynye lesa [Random forests]. Mashynnoe obuchenie [Machine Learning], 45(1), 5–32. – 2001. – <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- 2 Gerasimenko, V. V., Evdokimova, N. N. Metody prognozirovaniya v usloviyakh neopredelennosti [Forecasting Methods under Uncertainty]. Vestnik NGEU, 2018. – № 1. – P. 123–130.
- 3 Chong, A. Y.-L., Lo, C. K. Y., Weng, X. The Impact of E-commerce on the Forecasting and Budgeting Process: A Study in Retailing and Online Business. *Journal of Business Research*, 2018. – 80. – P. 275–284.
- 4 Brynjolfsson, E., Smith, M. D. Frictionless Commerce? A Comparison of Internet and Conventional Retailers. *Management Science*, 2000. – 46(4), P. 563–585.

5 **Dzheims, G., Uitten, D., Khasti, T., Tibshirami, R.** Vvedenie v statisticheskoe obuchenie s prilozheniyami na R [An Introduction to Statistical Learning with Applications in R]. Niu-Iork: Springer, 2013. – <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>

6 **Karasev, O. A., et al.** Metody mashinnogo obucheniya v analize vremennykh ryadov [Machine Learning Methods in Time Series Analysis]. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy, № 4, P. 66–73. – 2019.

7 **Kozlov, A. S.** Dinamicheskoe byudzhetrovanie i prognozirovanie v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki [Dynamic Budgeting and Forecasting in the Context of the Digitalization of the Economy]. Ekonomika i upravlenie: analiz tendentsii i perspektiv razvitiia, № 1. – P. 34–42. – 2020.

8 **Makrides, S., Spiliotis, E., Assimakopoulos, V.** Metody prognozirovaniya: statisticheskie i metody mashinnogo obucheniya [Forecasting Methods: Statistical and Machine Learning Approaches]. *PLOS ONE*, 13(3), e0194889, 2018. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889>

9 **Makridakis, S., Uilrait, S., Khindman, R.** Prognozirovanie: Metody i prilozheniya [Forecasting: Methods and Applications]. Niu-Iork: Wiley, 1998.

10 **Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., et al.** Scikit-learn: mashinnoe obuchenie na Piton [Scikit-learn: Machine Learning in Python]. Journal of Machine Learning Research, Vol. 12, P. 2825–2830. – 2011.

11 **Seif, G.** Model ARIMA — polnoe rukovodstvo po prognozirovaniyu vremennykh ryadov na Piton [ARIMA Model – A Complete Guide to Time Series Forecasting in Python]. *Towards Data Science*, 2019. Available online: [Electronic resource]. – <https://towardsdatascience.com/arima-model-time-series-forecasting-7f221e9eee6d>

12 **Fildes, R., Gudvin, P.** Kak uluchshit' ispol'zovanie upravlencheskikh suzhenii v prognozirovanii [How to Improve the Use of Managerial Judgement in Forecasting]. *Interfaces*, 37(6), P. 570–576. – 2007. – <https://doi.org/10.1287/inte.1070.0311>

13 **Gudvin, P.** Prognozirovanie dlia menedzherov: kak izbezhat' oshibok [Forecasting for Managers: How to Avoid Mistakes]. Moskva: Alpina Publisher, 2017.

14 **Khasti, T., Tibshirami, R., Fridman, Dzh.** Elementy statisticheskogo obucheniia: analiz dannykh, vyvody i prognozirovanie [The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction]. Niu-Iork: Springer, 2009. – <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>

***М. Г. Абибулла¹, А. А. Абдилдаева²**

^{1,2}Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

ИНТЕРНЕТ-САУДАДА ДИНАМИКАЛЫҚ БЮДЖЕТТІ ЖОСПАРЛАУ МЕН БОЛЖАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

Бұл мақалада онлайн сауданы динамикалық бюджеттік жоспарлауда қолданылатын заманауи болжау әдістері қарастырылады. Төрт тәсілді бағалауға ерекше назар аударылады: Болу ағашы, Рэндом орманы, сызықтық регрессия және ARIMA. Талдау дәлдігі, өзгермелі жағдайларға бейімделу, маусымдық факторларды есепке алу және есептеу күрделілігі сияқты критерийлер негізінде жүзеге асырылады.

Зерттеу онлайн саудаға тән нарықтық үрдістер мен маусымдық өзгерістерді ескере алатын икемді құралдарды пайдаланудың маңыздылығын көрсетеді. Салыстырмалы талдау Random Forest әдісі өте дәл және үлкен көлемдегі деректерді оңдеуде жақсы жұмыс істейтінін көрсетті. Өз кезегінде, ARIMA нақты болжам жасауға мүмкіндік беретін айқын маусымдық ауытқулар байқалатын жағдайларда ең тиімді болып табылады. Decision Tree және Linear Regression түсіндірудің қарапайымдылығын көрсетеді, бірақ күрделі және сызықтық емес деректерді талдау кезінде олардың дәлдігі төмендеуі мүмкін.

Алынған нәтижелер онлайн саудамен айналысатын компаниялар үшін пайдалы болуы мүмкін, өйткені олар бизнестің ерекшеліктеріне байланысты ең қолайлы болжау әдісін таңдауға мүмкіндік береді. Бұл қаржылық болжамдардың дәлдігін арттыруға, бюджеттердің бейімделуін жақсартуға және нарықтық ортадағы өзгерістерге тиімдірек жауап беруге көмектеседі.

Кілтті сөздер: болжау, онлайн сауда, бюджетті жоспарлау, Random Forest, ARIMA, Decision Tree, Linear Regression.

***M. G. Abibulla¹, A. A. Abdildayeva²**

^{1,2}Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

METHODS TO IMPROVE DYNAMIC BUDGETING AND FORECASTING EFFICIENCY IN E-COMMERCE

This article discusses modern forecasting methods used in dynamic budget planning of online commerce. Particular attention is paid to the evaluation of four approaches: Decision Tree, Random Forest, Linear Regression and ARIMA. The analysis is based on criteria such as accuracy, adaptability to changing conditions, consideration of seasonal factors and computational complexity.

The study highlights the importance of using flexible tools that can take into account market trends and seasonal changes that characterize online commerce. The comparative analysis showed that the Random Forest method is highly accurate and copes well with processing large volumes of data. In turn, ARIMA is most effective in situations where there are pronounced seasonal fluctuations, allowing accurate forecasts to be made. Decision Tree and Linear Regression show ease of interpretation, however their accuracy may be reduced when analyzing complex and nonlinear data.

The results obtained can be useful for companies involved in online trading, as they allow you to choose the most suitable forecasting method depending on the specifics of the business. This contributes to improving the accuracy of financial forecasts, improving the adaptability of budgets and responding more effectively to changes in the market environment.

Keywords: forecasting, online trading, budget planning, Random Forest, ARIMA, Decision Tree, Linear Regression.

FTAMP 20.01.04

DOI

***I. С. Әшім¹, А. Б. Исумбаева²**

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4877-1679>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7221-6253>

*e-mail : inkar.ashim@mail.ru

ТІЛ ҮЙРЕНУГЕ АРНАЛҒАН САЙТТАРДА ИНТЕРАКТИВТІЛІКТІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Мақала шет тілдерін оқыту саласын қамтитын веб-сайттарда интерактивтілікті қолданудың өзекті тақырыбына арналған. Интернеттегі ресурстар білім беру мақсатында, әсіресе тілдерді үйренуде танымал бола бастаған қазіргі цифрлық әлемде оқу процесін жақсарту үшін интерактивтілікті қалай тиімді енгізу керектігін түсіну маңызды. Мақаланың мақсаты – интерактивті технологиялардың әртүрлі тілдерді үйренуге арналған веб-сайт, курстарға тигізетін пайдасы мен ықпалын көрсету болып табылады. Соның ішінде, бұл мақалада тілдерді үйренуге арналған сайттардағы ойындар, тесттер, виртуалды жаттығулар және чат-боттар сияқты интерактивтілікті қолданудың әртүрлі аспектілері де айтылады. Әр әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады және олардың студенттердің мотивациясы мен оқу нәтижелеріне әсері талданады.

Неғұрлым тиімді және қызықты білім беру құралдарын құруға ықпал ететін технологиялар мен инновацияларға ерекше назар аударылады. Сонымен қатар, бұл мақалада тілдерді оқыту процесінде интерактивтіліктің әлеуетін барынша арттыру мақсатында білім беру платформаларын әзірлеушілер, оқытушылар және студенттердің арасында жүргізілген сауалнама нәтижесі талданатын болады.

Мақаланың соңында тіл үйренуге арналған веб-сайттарда интерактивтілікті қолданудың әртүрлі нұсқалары ұсынылады, бұл олардың цифрлық дәуірдегі білім беру процесінің тиімділігін арттырудағы маңыздылығын көрсетеді.

Кілтті сөздер: интерактивтілік, Интернет, білім беру платформасы, технологиялар, веб-сайт.

Кіріспе

Қазіргі білім беру саласында заманауи технологиялар оқу процестерін, соның ішінде әртүрлі тілдерді үйренуді өзгерте отырып, барған сайын маңызды құрамдас бөлікке айналууда. Зерттеулер веб-сайттарда интерактивті әдістерді қолдану студенттердің қызығушылығын арттыруда және олардың қатысу деңгейін арттыруда тиімді екенін көрсетеді. Бұл мақалада тілдерді оқытуда интерактивтілікті енгізудің қандай артықшылықтары бар екенін және бүгінгі таңда осы саладағы қандай тенденциялар перспективалы екендігі жайында қарастырылады.

Интерактивтілік – бұл жүйенің немесе процестің пайдаланушымен өзара әрекеттесу, кері байланыс беру және оның әрекеттеріне жауап беру қабілеті. Бұл ұғым ақпараттық технологиялар, пайдаланушы интерфейсінің дизайны, оқыту, ойын-сауық және т.б. сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады [1].

Компьютерлік технологияларда интерактивтілік пайдаланушының бағдарламаның орындалу барысына әсер ету немесе мазмұнмен өзара әрекеттесу мүмкіндігін білдіреді. Мысалы, интерактивті веб-сайттар пайдаланушыларға элементтерді басуға, пішіндерді толтыруға, сұрауларды жіберуге және т.б. мүмкіндік береді [2].

Оқытуда интерактивті әдістер интерактивті тапсырмаларды, ойындарды, модельдеуді қолдануды қамтуы мүмкін, бұл оқу процесін қызықты әрі тиімді етеді [3].

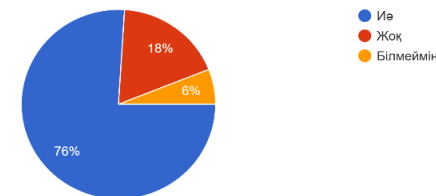
Осылайша, интерактивтілік пайдаланушыларға белсенді қатысуға және өзара әрекеттесу процесін бақылауға мүмкіндік беретін динамикалық оқыту тәжірибелерін ұйымдастырады.

Материалдар мен әдістері

Ақпараттық технологиялардың дамудың шегіне жеткен бүгінгі күнінде Интернет пен пайдалы ресурстар барлығына қолжетімді болып табылады. Алайда сол ресурстарды дұрыс және тиімді қолдану қажет. Мысал ретінде, әртүрлі тілдерді оқыту саласын алуға болады. Білім алушы өздігінен қандай да бір тілді үйрену үшін білім беру сайттарына жүгінеді. Бірақ бұл сайттарда білім алу пайдаланушыны қызықтырмаса, ол оқуға деген мотивациясын ғана емес, тіл үйрену мүмкіндігін де жоғалтады. Ал мұндай жағдайлар орын алмау үшін, интерактивті технологиялардың қазіргі тіл үйренуге арналған сайттарда қолданылғаны абзал [4].

Енді жоғарыда айтылған жайттарға мысал ретінде осы тақырыпта жүргізілген сауалнаманы қарастырып өтуге болады. Сауалнама нәтижесі төмендегі суретте көрсетілген (1-сурет).

Сіздің ойыңызша тіл үйренуге арналған сайттарда интерактивтіліктің қолданылуы ақпаратты оңай әрі тез қабылдауға септігін тигізеді ме?
50 ответов



1-сурет – Сауалнама нәтижесі бойынша диаграмма

Дауыс берушілердің басым бөлігі интерактивті технологиялардың тіл үйренуге арналған сайттарда қолданылуын жақтаған. Нақтырақ айтқанда, жауап берушілердің 76%-ы «Иә», ал қалған 18%-ы қарсылық танытқан және 6%-ы нейтралды жауапты таңдаған. Яғни, сауалнама нәтижесі бойынша білім беру саласындағы сайттарда интерактивтілікті қолданудың маңызын көруге болады.

Интерактивті элементтердің веб-сайттарда қолданылуының тиімді жақтары келесі тармақтарда көрсетілген:

1. Онлайн курстар және интерактивті сабақтар. Заманауи сайттарда оқытудың негізгі әдістерінің бірі – онлайн курстар мен интерактивті сабақтар болып табылады. Пайдаланушылар материалды терең және жүйелі түрде игеруге ықпал ететін бейнесабақтар, тесттер, аудиожазбалар мен жаттығуларды қамтитын құрылымдық материалдарға қол жеткізе алады.

2. Тілдік қосымшалар мен ойындар. Интерактивті тілдік қосымшалар мен ойындар танымал оқу құралына айналды. Олар пайдаланушыларға визуалды және дыбыстық құралдар арқылы тілдің әртүрлі аспектілерін қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай қосымшалар қарым-қатынас дағдыларын дамытып қана қоймайды, сонымен қатар оқу процесін қызықты етеді. Қазіргі таңда білім беру саласында қолданылатын веб-сайттардың барлығының дерлік мобильді қосымшасы бар. Бұл сайтқа ғана тиімді емес, қолданушылар үшін де таптырмас шешім болып табылады.

3. Онлайн қарым-қатынас және тілдік дағдылармен алмасу. Интерактивті әдістер студенттерге тілдік дағдыларын нақты жағдайларда қолдануға мүмкіндік береді, бұл материалды жақсы игеруге ықпал етеді. Мысалы, чат-боттар сөйлесу дағдыларын үйренудің тиімді құралы болып табылатын жасанды интеллектпен студенттің үйреніп жүрген тілде сөйлесу мүмкіндігін ұсынады. Сонымен қатар, сайттар чаттар, форумдар және

бейнеконференциялар арқылы ана тілінде сөйлейтіндермен байланыс орнатуға жол ашады.

4. Адаптивті технологиялар. Заманауи сайттар оқытуды жекелеңдіру үшін адаптивті технологияны пайдаланады. Олар жеке сабақтар мен жаттығуларды ұсына отырып, оқушының жетістіктері мен әлсіз жақтарын талдайды, бұл оқудың тиімділігін арттырады.

5. Көрнекілік және аудио. Сайттар тілдік ортаға тереңірек ену үшін визуализация мен аудио эффекттерді белсенді қолданады. Бұған шынайы сөйлесулерді тыңдау, бейнелерді қарау және интерактивті карталар кіреді, бұл грамматика мен айтылымды жақсы қабылдауға ықпал етеді [5].

Қазіргі таңда білім беру құралдарын құрауда интерактивті технологиялармен бірге инновациялық технологиялар да айтарлықтай жұмыс атқаруда:

Жасанды интеллект (ЖИ). ЖЖ студенттерге өз қателіктерін түсінуге және нәтижелерін жақсартуға көмектесетін тапсырмалар бойынша жедел кері байланыс бере алады.

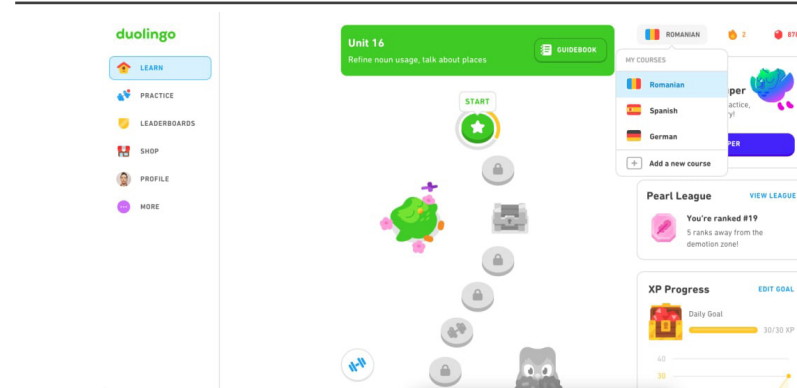
Кеңейтілген шынайылық (AR) және Виртуалды шынайылық (VR). Иммерсивті білім беру сценарийлері: оқу материалына тереңірек ену үшін виртуалды ортаны құру. Виртуалды зертханалар мен эксперименттер: зертханада физикалық қатысусыз тәжірибелер жүргізу үшін VR пайдалану.

Бұл технологиялар бірге жұмыс жасау арқылы білім беру процесін айтарлықтай жақсартып алады және оны білім алушылар үшін қолжетімді, қызықты және тиімді етеді.

Нәтижелер және талқылау

Жоғарыда талқыланған шешімдердің нәтижесі ретінде қазіргі таңда танымал және интерактивті технологияларды қолдайтын тіл үйренуге арналған сайттарды қарастырып өтуге болады:

1. Duolingo – тіл үйренуге арналған тегін платформа. Пайдаланушылар ағылшын, неміс, француз, испан, швед және украин тілдерін оқи алады. Платформа интерактивті ойындар мен тапсырмалар арқылы жаңа сөздер мен грамматиканы онлайн режимінде де, мобильді қосымшада да үйренуге мүмкіндік береді (2-сурет). Duolingo-да сабақтар санаттарға бөлінеді, мұнда пайдалы кеңестер мен қосымша түсініктемелер бар. Сонымен қатар мұнда айтылымға өте үлкен назар аударылған: жаңа сөздерді тыңдап, оларды бірден айтуға машықтануға болады [6].



2-сурет – Duolingo платформасы

2. FluentU – бейне арқылы тілдерді үйренуге арналған сайт. Тапсырмалар ретінде тілді меңгерудің әртүрлі деңгейлері үшін нақты бейнелер ұсынылады: бейнеклиптер, фильм трейлерлері, жаңалықтар, қойылымдар және т.б. Испан, француз, солтүстік қытай (мандарин), неміс, жапон және ағылшын тілдерін үйренуге болады [7].

3. Conversation Exchange – бұл сайтта кез-келген тілде сөйлейтіндермен чат арқылы тілдесуге болады. Бұл ауызекі тілдің басқа мәдениеті және практикасының өкілдерімен танысудың тамаша нұсқасы [8].

4. Memrise – тілдерді үйрену есте сақтауды дамыту ойындарының арқасында жүреді. Пайдаланушы кез-келген жерде ойнай алатындай етіп әзірленген қосымша ретінде де қол жетімді. Ыңғайлы және түсінікті интерфейсі бар қолданба 50-ге жуық тілді қамтиды [9].

5. Busuu – ойын түрінде жасалған ыңғайлы қосымша болып табылады: көптеген суреттер мен тесттерден тұрады. Шет тілдерін хобби ретінде үйрену үшін қолайлы. Ағылшын, неміс, француз, испан, итальян, португал, жапон, түрік, араб, поляк және қытай тілдері қолжетімді [10].

Қорытынды

Қорытындылай келе, тіл үйренуге арналған сайттардағы интерактивтілікті пайдалану заманауи оқытудың қиындықтарын тиімді шешетін қуатты құрал болып табылатынына көз жеткізуге болады. Жасанды интеллект пен виртуалды шынайылық сияқты заманауи технологиялық инновациялар интерактивті әдістерді толықтырады және олардың тиімділігін арттырады. Ал мобильді қосымшалар кез-келген уақытта және кез-келген жерде тілдерді оқытуды қолжетімді етеді.

Әр түрлі ойындардан виртуалды жаттығуларға дейін әр әдіс оқу процесінде өз қолданылуын табады. Негізгі міндет – цифрлық дәуірде білім

алушылардың тілді барынша меңгеруін қамтамасыз ету үшін инновациялар мен дәстүрлі әдістерді қолдау арасындағы тепе-теңдік.

Дегенмен, технологияны пайдаланудың артуымен ескірген құрылғыларды қолдау қажеттілігі немесе деректер қауіпсіздігіне қатысты мәселелер сияқты жағдайлар да пайда болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **Jane McGonigal.** Reality is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World [Text]. – Published by Vintage books, 2012.

2 **Yujung Park, Sujung Cho.** The effects of integrating mobile gaming into classroom instruction on learning motivation and engagement [Text]. – 2015.

3 **Richard E. Mayer.** Multimedia Learning [Text]. – Published by Cambridge University Press, 2001.

4 **Richard E. Mayer.** The Cambridge Handbook of Multimedia Learning [Text]. – 2005.

5 **David Buckingham.** Digital Media and Learner Identity: The New Curatorship [Text]. – Published by Palgrave Macmillan, 2012.

6 **Rainer Enrique Hamel.** Social Media in Foreign Language Education: A Review of Research [Text]. – 2014.

7 **Scott A. Crossley, Danielle S. McNamara.** Adaptive Educational Technologies for Literacy Instruction [Text]. – Published by Routledge, 2016.

8 Peggy Grant. Personalized Learning: A Guide for Engaging Students with Technology [Text]. – 2014.

9 **Kelli Cargile Cook, Keith Grant-Davie.** Online Education 2.0: Evolving, Adapting, and Reinventing Online Technical Communication [Text]. – Published by Routledge, 2016.

10 **ZhaoHong Han, Terrence G. Wiley.** Language Learning and Technology: Affect, Cognition, and Social Issues [Text]. – 2014.

REFERENCES

1 **Jane McGonigal.** Reality is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World [Text]. – Published by Vintage books, 2012.

2 **Yujung Park, Sujung Cho.** The effects of integrating mobile gaming into classroom instruction on learning motivation and engagement [Text]. – 2015.

3 **Richard E. Mayer.** Multimedia Learning [Text]. – Published by Cambridge University Press, 2001.

4 **Richard E. Mayer.** The Cambridge Handbook of Multimedia Learning [Text]. – 2005.

5 **David Buckingham.** Digital Media and Learner Identity: The New Curatorship [Text]. – Published by Palgrave Macmillan, 2012.

6 **Rainer Enrique Hamel.** Social Media in Foreign Language Education: A Review of Research [Text]. – 2014.

7 **Scott A. Crossley, Danielle S. McNamara.** Adaptive Educational Technologies for Literacy Instruction [Text]. – Published by Routledge, 2016.

8 Peggy Grant. Personalized Learning: A Guide for Engaging Students with Technology [Text]. – 2014.

9 **Kelli Cargile Cook, Keith Grant-Davie.** Online Education 2.0: Evolving, Adapting, and Reinventing Online Technical Communication [Text]. – Published by Routledge, 2016.

10 **ZhaoHong Han, Terrence G. Wiley.** Language Learning and Technology: Affect, Cognition, and Social Issues [Text]. – 2014.

**I. C. Әуім¹, А. Б. Исимбаева²*

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОСТИ НА САЙТАХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯЗЫКА

Статья посвящена актуальной теме использования интерактивности на веб-сайтах в области обучения иностранным языкам. В условиях современного цифрового мира, где онлайн-ресурсы становятся все более популярными в образовательных целях, особенно в изучении языков, важно понимать, как эффективно внедрять интерактивность для улучшения процесса обучения. Цель статьи – показать преимущества и влияние интерактивных технологий на веб-сайт для изучения различных языков, курсы.

Данная статья анализирует различные аспекты использования интерактивности, такие как игры, тесты, виртуальные упражнения и чат-боты на сайтах, предназначенных для изучения языков. Рассматриваются преимущества и недостатки каждого метода, а также анализируется их влияние на мотивацию и результаты обучения у студентов.

Особое внимание уделяется технологиям и инновациям, которые способствуют созданию более эффективных и интересных образовательных средств. Кроме того, в данной статье будут проанализированы результаты опроса, проведенного среди разработчиков образовательных платформ, преподавателей и

студентов с целью максимизировать потенциал интерактивности в процессе обучения языкам.

В заключение статьи предлагаются различные варианты использования интерактивности на веб-сайтах для изучения языков, подчеркивая их значимость в повышении эффективности образовательного процесса в цифровой эпохе.

Ключевые слова: интерактивность, Интернет, образовательная платформа, технологии, веб-сайт.

***I. S. Ashim¹, A.B. Issimbayeva²**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

USING INTERACTIVITY ON WEBSITES FOR LANGUAGE LEARNING

The article is devoted to the topical topic of using interactivity on websites in the field of teaching foreign languages. In today's digital world, where online resources are becoming increasingly popular for educational purposes, especially in language learning, it is important to understand how to effectively implement interactivity to improve the learning process. The purpose of the article is to show the benefits and influence that interactive technologies have on courses, a website for learning different languages.

This article analyzes various aspects of the use of interactivity, such as games, tests, virtual exercises and chatbots on sites designed for language learning. The advantages and disadvantages of each method are considered, and their impact on students' motivation and learning outcomes is analyzed.

Special attention is paid to technologies and innovations that contribute to the creation of more effective and interesting educational tools. In addition, this article will analyze the results of a survey conducted among developers of educational platforms, teachers and students in order to maximize the potential of interactivity in the language learning process.

In conclusion, the article offers various options for using interactivity on websites for learning languages, emphasizing their importance in improving the effectiveness of the educational process in the digital age.

Keywords: interactivity, Internet, educational platform, technology, website.

MPHTI 45.31.01

DOI

***М. М. Ахметов¹, Д. К. Қазанғал², Қ. Д. Қажмұрат³**

^{1,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Nazarbayev University, Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3902-9380>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8491-7171>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4775-5067>

*e-mail: dimash.kazangap@gmail.com

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАЗАХСТАНА. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ (SMART GRID)

Энергетическая система Казахстана, характеризующаяся высокой зависимостью от ископаемых видов топлива и устаревшей инфраструктурой, нуждается в модернизации для достижения энергоэффективности и устойчивого развития. Внедрение интеллектуальных сетей (Smart Grid) представляет собой перспективное решение, которое позволяет не только оптимизировать распределение и потребление энергии, но и повысить надежность энергоснабжения, интегрируя возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергетика. Smart Grid объединяет передовые цифровые технологии, интернет вещей (IoT), обработку больших данных и алгоритмы машинного обучения, что обеспечивает возможность мониторинга, анализа и управления энергосистемой в режиме реального времени. В данной статье рассматриваются ключевые компоненты Smart Grid, включая автоматизацию посредством SCADA-систем, прогнозирование потребления с использованием аналитических инструментов, а также меры кибербезопасности для защиты критически важной инфраструктуры. Кроме того, проанализированы правовые и инвестиционные барьеры, затрудняющие внедрение данных технологий в Казахстане, и подчеркивается важность государственной поддержки для стимулирования инноваций. Предложенные рекомендации направлены на ускорение перехода к более устойчивой и эффективной энергетической модели, которая позволит Казахстану успешно справляться с современными

вызовами и обеспечивать стабильное энергоснабжение для будущих поколений.

Ключевые слова: Smart Grid, Казахстан, возобновляемая энергетика, IoT, BigData, энергоэффективность, кибербезопасность, устойчивое развитие.

Введение

В настоящее время энергетический сектор Казахстана находится на краю пропасти: он сильно зависит от ископаемых видов топлива, и в стране развивается неутолимый аппетит в поисках постоянного и устойчивого источника энергии [1; 2]. Казахстан - крупнейшая в мире страна, не имеющая выхода к морю, обладает исключительными природными богатствами. Однако есть и другие неотложные проблемы, требующие решения: энергоэффективность, деградация окружающей среды и модернизация технологий в соответствующей энергетической инфраструктуре. Таким образом, адаптация и внедрение новейших технологий в секторе весьма важны для его возрождения и реабилитации с целью обеспечения стабильных экономических условий и экологической устойчивости.

Целью данного исследования является обзор применяемых передовых технологий, используемых в рамках энергетики Казахстана. Таким образом, данное исследование проводится с целью выявления проблем в рамках существующей системы и предполагает, что будущие системы могут измениться с помощью этого инновационного решения [2].

Передовые технологии в области энергетики включают в себя возобновляемые источники энергии, интеллектуальные сети и системы хранения энергии. Эти технологии являются частью вариантов, включенных в поиск путей повышения эффективности, надежности и устойчивости энергетической системы в Казахстане. В статье планируется провести исследование, основанное на большом обзоре литературы, выявлении проблемы и технологической оценке. В нем будут предложены практические и эффективные решения, ведущие к созданию более устойчивой и перспективной энергетической системы Казахстана, которая будет соответствовать лучшим мировым практикам, необходимым для страны.

Материалы и методы

В мире происходят радикальные изменения в глобальном энергетическом ландшафте, где ведущую роль играют инновации в области возобновляемых источников энергии, технологий интеллектуальных сетей и устройств хранения энергии. В настоящее время соотношение технологий в поддержку возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая, гидро- и геотермальная, выросло по сравнению с прошлыми годами и очень быстро

внедряется из-за быстрого снижения стоимости и повышения эффективности. В «умных» сетях используются информационно-коммуникационные технологии, в том числе для динамического мониторинга, управления энергоресурсами, повышения надежности и энергоэффективности сетей. Например, системы хранения энергии, такие как аккумуляторы, необходимы для стабилизации поставок и повышения надежности энергосистемы в условиях прерывистости возобновляемых источников [3].

Энергетический сектор Казахстана, традиционно основанный на угле и углеводородах, может многое выиграть от притока новых технологий в страну. Из всех возможных возобновляемых источников энергии ветровая и солнечная энергия считаются наиболее важными для страны, особенно в великих степях. Недавние исследования показали, что солнечная радиация Казахстана и благоприятные ветровые условия обеспечивают высокий потенциал для реализации масштабных проектов в области возобновляемых источников энергии.

Кроме того, инфраструктура энергетической системы страны также устарела. Поэтому у Казахстана есть большие возможности для развития технологий, связанных с интеллектуальными сетями, которые позволили бы оптимизировать распределение и минимизировать потери, характерные не только для систем передачи, но и для любой другой устаревшей инфраструктуры.

Такая интеграция возобновляемых технологий в Казахстане способна привести к значительным изменениям в энергетическом ландшафте. Революция в сторону возобновляемых источников может снять огромную зависимость от ископаемого топлива, которое не желает уменьшать загрязнение окружающей среды и последствия изменений глобального климата.

Кроме того, в перспективе технологии интеллектуальных сетей (Smart Grid) могут стать одной из наиболее потенциальных альтернатив для повышения эффективности и надежности энергетического сектора - двух наиболее острых проблем, стоящих перед страной в настоящее время [3; 4]. Технологии будут символизировать децентрализованное производство энергии. Это особенно благоприятно скажется на отдаленных и сельских районах Республики Казахстан.

Интеллектуальная сеть (Smart Grid) – это современная энергетическая система, интегрирующая традиционные электросети с цифровыми и информационными технологиями для повышения эффективности, надежности и устойчивости энергоснабжения. Основной принцип Smart Grid заключается в том, чтобы соединить поставщиков энергии и конечных потребителей в единую интерактивную систему, позволяя обмениваться

данными в режиме реального времени. Это достигается с помощью сенсоров, интернета вещей (IoT), технологий больших данных и автоматизированного управления, это позволяет сети адаптироваться к изменениям в спросе, предсказывать возможные сбои и мгновенно реагировать на них [4].

На рисунке 1 представлен обзор технологий Smart Grid [5].

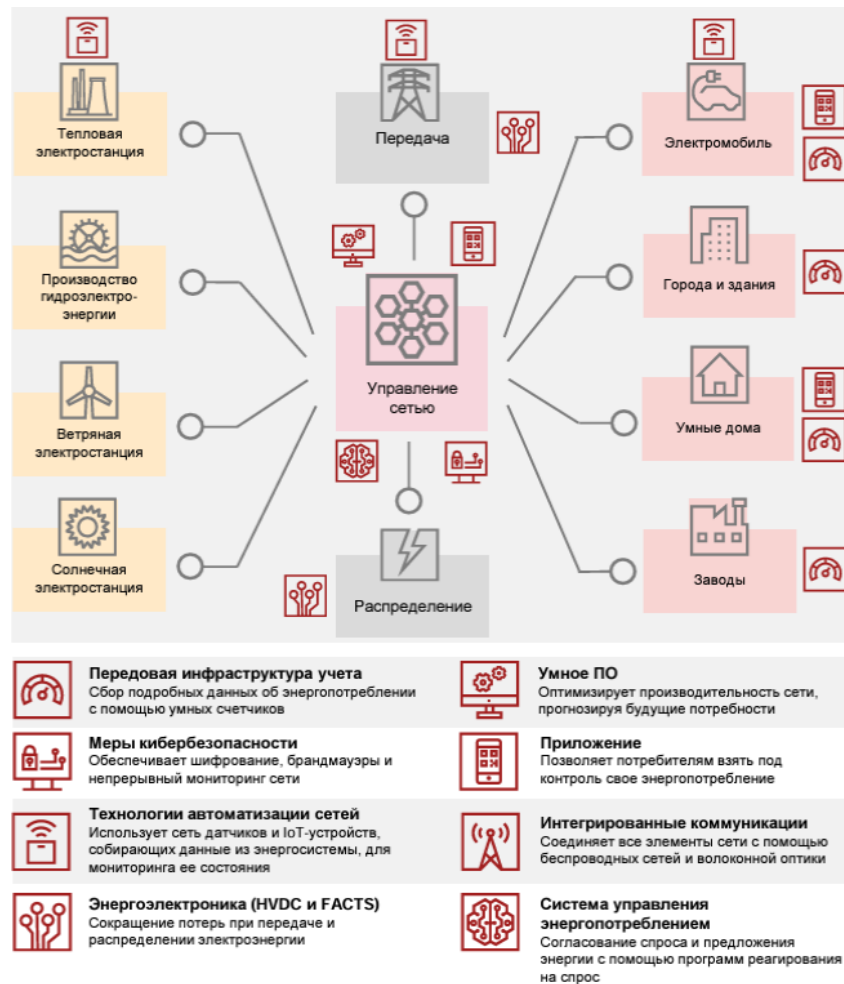


Рисунок 1 – Анализ технологий умных сетей

Данная интеллектуальная энергосистема, объединяющая IoT-устройства, Big Data, машинное обучение и облачные технологии для сбора, анализа и управления энергией в реальном времени. Она использует сенсоры и умные счетчики для мониторинга, SCADA-системы для автоматизации, API для интеграции с другими приложениями и системы кибербезопасности для защиты данных [6; 7; 8]. Благодаря этим технологиям Smart Grid обеспечивает эффективное распределение энергии, прогнозирует спрос, управляет нагрузками и позволяет потребителям контролировать свое энергопотребление через мобильные и веб-приложения, создавая гибкую и устойчивую инфраструктуру.

Результаты и обсуждение

Внедрение технологии интеллектуальных сетей (Smart Grid) в Казахстане было сопряжено с рядом системных проблем, которые отражают низкий уровень развития в целом и низкий уровень инвестиций в энергетическую отрасль. Однако продвижению к инфраструктуре интеллектуальных сетей препятствуют неопределенная, а порой и вовсе несуществующая нормативно-правовая база, стандарты, которые воспринимаются как слабые и расплывчатые в отношении регулирования новых технологий, а также отсутствие инвестиций, а не слабое участие заинтересованных сторон, в дополнение к низким регулятивным стимулам. Эти проблемы усугубляются обновлением электрической системы и внедрением методов устойчивого развития энергетики.

Нормативно-правовое регулирование интеллектуальных сетей достаточно хорошо проработано [9]. Внедрение технологий интеллектуальных сетей приведет к созданию нормативно-правовой базы, стимулирующей инновации и контролирующей внедрение. Внедрение технологий интеллектуальных сетей в Казахстане остается разрозненным из-за отсутствия установленных процедур и контрольных показателей. Помимо необходимости точных и измеримых показателей целей, такое внедрение в Казахстане предполагает разработку структуры, позволяющей строго контролировать открытый мониторинг, распределение средств и отслеживание прогресса в достижении этих целей.

Отсутствие финансирования для развития интеллектуальных сетей. Инвестиции в инфраструктуру интеллектуальных сетей являются необходимым условием для развития интеллектуальных сетей.

Малое участие заинтересованных сторон. Успех в развертывании интеллектуальных сетей обычно характеризуется вовлечением и сотрудничеством множества заинтересованных сторон, включая конечных пользователей, их коммунальные компании, государственные регулирующие органы и поставщиков технологий.

Технология Smart Grid была успешно внедрена в энергетическую парадигму Германии. Казахстан может взять пример с немецкого Energiewende и адаптировать его к своим возможностям для более легкой трансформации в более эффективную и устойчивую энергетическую систему.

Казахстан может добиться огромного прогресса в модернизации, управлении интеграцией возобновляемых источников энергии и региональной реформе энергосистемы и энергетики, что является одними из основных компонентов стратегий, реализованных в Германии: жесткое регулирование, инновационные инвестиции и вовлечение заинтересованных сторон.

Политика и нормативно-правовая база. В этой области Казахстану следует укрепить нормативно-правовую базу и разработать четкую политику, направленную на расширение использования технологии интеллектуальных сетей. Это подразумевает предоставление налоговых льгот для перехода на возобновляемые источники энергии и обновления инфраструктуры энергосистемы [7].

Инвестиции в технологии и инфраструктуру. Умная сеть требует огромных средств для внедрения технологически продвинутых гаджетов. Необходимо обеспечить местным и иностранным инвесторам прозрачные процедуры инвестирования, включая справедливый период окупаемости и надлежащую доходность.

Исследования и инновации. Казахстан должен инвестировать в н-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), чтобы стимулировать рынок инноваций в области интеллектуальных сетей, подходящих для его конкретных географических и экономических условий.

Взаимодействие с заинтересованными сторонами затрагивает все стороны. Это часть процесса изменения энергетической системы, которая включает в себя потребителей, поставщиков энергии и правительство. Это позволит сделать внедрение новых технологий более плавным и получить более широкое признание [10].

Выводы

В этой связи высокий потенциал трансформации энергетической системы Казахстана с использованием современных технологий может быть оценен на основе проведенного общего анализа. Базовый анализ показал большой потенциал для развития гораздо более эффективной, надежной и устойчивой национальной энергетической инфраструктуры в контексте современных технологий и интеллектуальных сетей.

Данная работа способствует проактивному подходу к модернизации энергетики Казахстана. Используя современные технологии и политику поддержки сектора, Казахстан может решить свои текущие энергетические

проблемы и, что особенно важно, предложить модель для устойчивого энергетического развития в регионе. Эти предложения составляют основу революционного пути Казахстана, обеспечивающего прочное, эффективное и устойчивое энергетическое будущее.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Zhunusova, G. J., Ratner S. V., Zhunusova, G. J., Shaikhutdinova A. K. Renewable Energy in Kazakhstan: Challenges and Prospects // International Energy Journal 20. – 2020. – № 14:311.
- 2 Babazhanova, J., Khambar, B., Esenbekova, A., Sartanova, N., Jandosova, F. New Energy System in the Republic of Kazakhstan : Exploring the Possibility of Creating and Mechanisms of Implementing // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2017. – № 7(6). – 164 c.
- 3 Fang, X., Misra, S., Xue, G., Yang, D. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2012. – № 14(4). – 944 c. – <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.101911.00087>
- 4 Gungor, V. K., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., Hancke, G. P. Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2013. – № 7(4). – 529 c. – <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>.
- 5 Peças Lopes, J. L., Hatziargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., Jenkins, N. Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities // Electric Power Systems Research. – 2007. – № 77(9). – 1189 c. – <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.016>.
- 6 Amin, S. M., Wollenberg, B. F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century // IEEE Power and Energy Magazine. – 2005. – № 3(5). – 34 c. <https://doi.org/10.1109/MPAE.2005.1507024>.
- 7 Teleuev, G. B., Akulich, O. V., Kadyrov, M. A., Ponomarev, A. A., Hasanov, E. L. Problems of Legal Regulation for Use and Development of Renewable Energy Sources in the Republic of Kazakhstan // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2017. – № 7(5). – 1 c.
- 8 Siano, P. Demand response and smart grids—A survey// Renewable and Sustainable Energy Reviews 30. – 2014. – № 30. – 461 c. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022>.
- 9 Tripathi, S., Verma, P. K., Goswami, G. A Review on SMART GRID Power System Network // 2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART). – 2020. – 55 c. – <https://doi.org/10.1109/SMART50582.2020.9337067>.

10 Du, J., Jiang, C., Gelenbe, E., Xu, L., Li, J., Ren, Y. Distributed Data Privacy Preservation in IoT Applications // IEEE Wireless Communications. – 2018. – № 25(6). – 68 c. <https://doi.org/10.1109/MWC.2017.1800094>.

REFERENCES

1 Zhunusova, G. J., Ratner S. V., Zhunusova, G. J., Shaikhutdinova A. K. Renewable Energy in Kazakhstan : Challenges and Prospects // International Energy Journal 20. – 2020. – № 14:311.

2 Babazhanova, J., Khambar, B., Esenbekova, A., Sartanova, N., Jandosova, F. New Energy System in the Republic of Kazakhstan : Exploring the Possibility of Creating and Mechanisms of Implementing // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2017. – № 7(6). – 164 p.

3 Fang, X., Misra, S., Xue, G., Yang, D. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2012. – № 14(4). – 944 p. – <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.101911.00087>

4 Gungor, V. K., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., Hancke, G. P. Smart Grid Technologies : Communication Technologies and Standards // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2013. – № 7(4). – 529 p. – <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>.

5 Peças Lopes, J. L., Hatziaargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., Jenkins, N. Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities // Electric Power Systems Research. – 2007. – № 77(9). – 1189 p. – <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.016>.

6 Amin, S. M., Wollenberg, B. F. Toward a smart grid : power delivery for the 21st century // IEEE Power and Energy Magazine. – 2005. – № 3(5). – 34 p. <https://doi.org/10.1109/MPAE.2005.1507024>.

7 Teleuev, G. B., Akulich, O. V., Kadyrov, M. A., Ponomarev, A. A., Hasanov, E. L. Problems of Legal Regulation for Use and Development of Renewable Energy Sources in the Republic of Kazakhstan // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2017. – № 7(5). – 1 p.

8 Siano, P. Demand response and smart grids—A survey // Renewable and Sustainable Energy Reviews 30. – 2014. – № 30, – 461 p. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022>.

9 Tripathi, S., Verma, P. K., Goswami, G. A Review on SMART GRID Power System Network // 2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART). – 2020. – 55 p. – <https://doi.org/10.1109/SMART50582.2020.9337067>.

10 Du, J., Jiang, C., Gelenbe, E., Xu, L., Li, J., Ren, Y. Distributed Data Privacy Preservation in IoT Applications // IEEE Wireless Communications. – 2018. – № 25(6). – 68 p. – <https://doi.org/10.1109/MWC.2017.1800094>.

*М. М. Ахметов¹, Д. К. Қазанған², Қ. Д. Қажымұрат³

^{1,3}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Назарбаев Университет, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ШЕШУДІҢ ОЗЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ (SMART GRID)

Қазба отын түрлеріне жоғары тәуелділікпен және ескірген инфрақұрылыммен сипатталатын Қазақстанның энергетикалық жүйесі энергия тиімділігіне және орнықты дамуға қол жеткізу үшін жаңғыртуды қажет етеді. Ақылды желілерді енгізу (Smart Grid) - бұл энергияны бөлу мен тұтынуды оңтайландыруға ғана емес, сонымен қатар күн және жел энергиясы сияқты жаңартылатын энергия көздерін біріктіру арқылы энергиямен қамтамасыз етудің сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретін перспективалы шешім. Smart Grid озық цифрлық технологияларды, заттар интернетін (IoT), үлкен деректерді өңдеуді және машиналық оқыту алгоритмдерін біріктіреді, бұл нақты уақыт режимінде электр желісін бақылау, талдау және басқару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл мақалада Smart Grid-тің негізгі компоненттері, соның ішінде SCADA жүйелері арқылы автоматтандыру, аналитикалық құралдарды қолдану арқылы тұтынуды болжау, сондай-ақ маңызды инфрақұрылымды қорғау үшін киберқауіпсіздік шаралары қарастырылады. Бұдан басқа, Қазақстанда осы технологияларды енгізуді қиындататын құқықтық және инвестициялық кедергілер талданды және инновацияларды ынталандыру үшін мемлекеттік қолдаудың маңыздылығы атап өтілді. Ұсынылған ұсынымдар Қазақстанға қазіргі заманғы сын-қатерлермен табысты күресуге және болашақ ұрпақ үшін тұрақты энергиямен жабдықтауды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін неғұрлым орнықты және тиімді энергетикалық модельге көшуді жеделдетуге бағытталған.

Кілтті сөздер: Smart Grid, Қазақстан, жаңартылатын энергия, IoT, Big Data, энергия тиімділігі, киберқауіпсіздік, тұрақты даму.

ADVANCED TECHNOLOGIES FOR SOLVING ENERGY SYSTEMS OF KAZAKHSTAN. SMART GRID

Kazakhstan's energy system, characterized by high dependence on fossil fuels and outdated infrastructure, needs to be modernized to achieve energy efficiency and sustainable development. The introduction of smart grids is a promising solution that not only optimizes energy distribution and consumption, but also improves the reliability of energy supply by integrating renewable energy sources such as solar and wind energy. Smart Grid combines advanced digital technologies, the Internet of Things (IoT), big data processing and machine learning algorithms, which enables monitoring, analysis and management of the energy system in real time. This article discusses the key components of Smart Grid, including automation through SCADA systems, consumption forecasting using analytical tools, and cybersecurity measures to protect critical infrastructure. In addition, legal and investment barriers hindering the implementation of these technologies in Kazakhstan are analyzed and the importance of government support for stimulating innovation is highlighted. The proposed recommendations are aimed at accelerating the transition to a more sustainable and efficient energy model that will enable Kazakhstan to successfully cope with modern challenges and ensure stable energy supply for future generations.

Keywords: Smart Grid, Kazakhstan, renewable energy, IoT, Big Data, energy efficiency, cybersecurity, sustainable development.

OPTIMIZATION OF TOURIST SERVICES IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

The relevance of the study is due to the need to use digital technologies to optimize tourism services in the Republic of Kazakhstan, which will increase competitiveness and quality of service in the tourism industry. The aim of the work is to develop a digital model aimed at improving the quality and accessibility of travel services. To achieve this goal, the following tasks were solved: analyzing the state of the tourism industry in Kazakhstan, researching existing global digital solutions, developing a digital optimization model and evaluating its effectiveness. Methods of comparative analysis, statistical analysis, modeling and expertise were used in the research process. The results of the work showed that the implementation of the proposed digital model contributes to improving the quality of tourist services, increasing the availability of information, and reducing the time and financial costs of booking services. The impact of digitalization on the tourism economy in Kazakhstan was also assessed, and prospects for expanding the use of digital solutions in the industry were identified. In conclusion, recommendations are made for further improvement of the digital model and the introduction of innovations to increase the competitiveness of the country's tourism market.

Keywords: digitalization of tourism, tourism services, optimization, modeling, innovation.

Introduction

The development of tourism is one of the most important areas of the economy of the Republic of Kazakhstan, as it contributes to increasing income, creating jobs and developing infrastructure. The country's tourism industry has significant potential due to the diversity of natural, historical and cultural resources, but its full development requires the introduction of modern technologies and innovative solutions. In recent years, Kazakhstan has seen a growing interest in digitalization,

which opens up new opportunities to optimize processes and improve the quality of travel services provided.

However, despite having a rich tourism potential, Kazakhstan faces a number of challenges, such as a low level of digitalization in the tourism sector, insufficient use of online platforms for booking and selling travel services, as well as a lack of modern technologies to analyze the needs of tourists and improve the quality of service. These problems significantly limit the competitiveness of the industry and hinder its effective development in a rapidly changing global market, despite having a rich tourism potential, Kazakhstan faces a number of challenges, such as a low level of digitalization in the tourism sector, insufficient use of online platforms for booking and selling tocesses.

Digitalization of travel services is becoming an important tool for solving these problems. The introduction of digital technologies will not only improve the quality of customer service, but also increase the availability of travel products, optimize booking processes, travel planning and logistics. This, in turn, will increase the level of tourist satisfaction, create conditions for the growth of domestic and international tourism, and help develop new destinations and products in the tourism market. The use of IT solutions, including mobile applications, virtual reality and blockchain technologies, will ensure more transparent and convenient interaction between tourists and service providers [1].

The purpose of this work is to develop a digital model for optimizing tourism services in the Republic of Kazakhstan, which will take into account the specifics of the domestic market and the opportunities for its integration into the global tourism network. In the course of the work, the main aspects of digitalization of the tourism industry will be considered, international practices will be analyzed, and specific IT solutions for the introduction and effective use of digital technologies in Kazakhstan will be proposed.

To achieve this goal, it is necessary to solve several tasks: to analyze the current state of the tourism industry in the country, to study global trends in the field of tourism digitalization, to develop a model appropriate to the conditions of Kazakhstan, and to evaluate its effectiveness. Special attention will be paid to the practical application of the developed model through pilot projects and possible ways to implement it in real conditions. At the same time, the key aspect will be the use of computer science methods to build intelligent management systems for tourism services, including demand forecasting, automation of service processes and the introduction of personalization algorithms.

Materials and methods

To develop a digital model for optimizing tourism services in Kazakhstan, methods were used that provide an integrated approach to research. First of all, statistical data was analyzed, including official reports and materials, which

allowed us to identify trends and problems in the industry. A comparative analysis of international experience in the implementation of digital technologies was also carried out, which helped to adapt best practices to the specifics of Kazakhstan. The key method was modeling, during which a conceptual model for optimizing tourist services was developed. An expert assessment of specialists was used to verify the model. The evaluation of the effectiveness of the proposed model was based on the results of the implementation of digital solutions in travel companies. The applied methods allowed us to deeply analyze the problem and propose solutions for optimizing travel services.

Results and discussion

Digital technologies in the travel industry include solutions to improve planning, booking, sales, and customer service. In the context of globalization and digital transformation of the economy, the introduction of online platforms, mobile applications, CRM systems, as well as data analytics is becoming key to improving the efficiency of travel services. The Computer Science specialty plays a special role in this process, providing tools for the development, implementation and optimization of digital solutions aimed at automating processes and improving user convenience [2].

In Kazakhstan, digitalization covers all stages of the travel experience, from information retrieval to visa processing and booking. Electronic platforms speed up travel planning, provide access to real-time information, and help save money by optimizing prices and routes. An important element is the implementation of monitoring systems that analyze data to adapt services to customer needs. The use of machine learning and artificial intelligence technologies in data analysis makes it possible to predict demand, develop personalized offers and automate query processing, thereby improving the quality of travel services.

Digitalization increases the availability of information, making it easier to select and book services, and also improves personalization through CRM systems, which increases customer satisfaction and loyalty. The development of intelligent chatbots, voice assistants, and virtual tours based on augmented and virtual reality technologies opens up new opportunities for interacting with tourists. Thus, the integration of IT solutions into the tourism industry of Kazakhstan contributes to the creation of an innovative and competitive ecosystem that ensures sustainable market growth and improved quality of tourism services.

Figure 1 is a diagram of the digital transformation of the tourism industry in the Republic of Kazakhstan, which illustrates the key stages and components of the transition from traditional working methods to digital solutions [3].

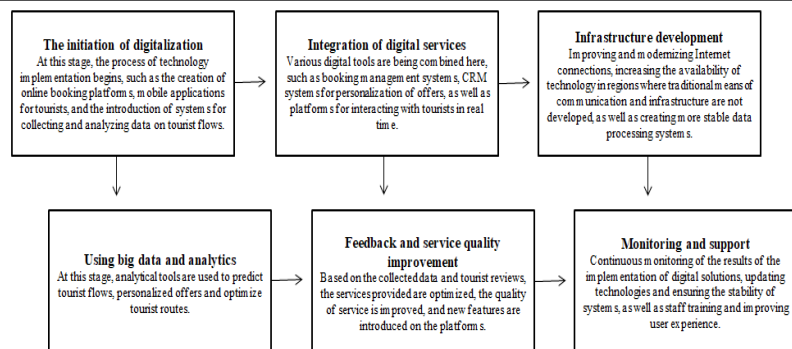


Figure 1 – The scheme of digital transformation of the tourism industry in the Republic of Kazakhstan

This scheme allows you to visualize the process of digital transformation and understand what steps are needed to create modern digital tourism in Kazakhstan.

In addition, the use of digital technologies makes it possible to reduce the cost of operations and optimize resource management. Automation systems can simplify booking, payment, and data processing processes, freeing up time for more important customer work and strategic planning.

However, despite the obvious advantages, the introduction of digital technologies in the tourism industry faces a number of challenges. One of the main ones is the lack of digital literacy among both tourists and employees of tourism enterprises. This may make it difficult to implement new systems and technologies [4].

In the international arena, the introduction of digital technologies in the tourism industry is actively developing. Many countries are already using digital platforms to optimize their travel services, and the experience of such countries can be useful for Kazakhstan.

One of the most striking examples is the model of digitalization in the tourism sector in Europe, where the active use of online booking, mobile applications for tourists and management systems for tourist services has become the standard. In countries such as Germany, France, and the United Kingdom, online booking platforms for housing, transportation services, and sightseeing programs are widespread. For example, companies such as Booking.com Airbnb and TripAdvisor are implementing the latest technologies to automate the booking and selection of individual travel packages.

In Asia, the digitalization of tourism has also reached a significant level. In Japan and South Korea, big data analysis systems are successfully used to predict tourist flows, as well as to provide personalized services. South Korea is

actively developing platforms for the smooth exchange of information between travel agencies, operators and local authorities, which significantly speeds up the interaction process.

In the Middle East, countries such as the United Arab Emirates are actively implementing digital technologies in the tourism sector, including the use of blockchain technologies to ensure transaction security and improve customer service. These technologies are also used to monitor and manage tourist flows, which makes it possible to optimize the tourist infrastructure and improve the quality of service [5].

Table 1 provides a comparative analysis of international digital models for optimizing the tourism industry, which allows us to study successful practices in using technology in other countries. These examples can become the basis for the development of effective solutions adapted to the specifics of the tourism industry in Kazakhstan.

Table 1 – Comparative analysis of international digital models of tourism optimization

Country	Digital technologies used	Advantages	Problems
Germany	Online booking platforms, big data, mobile apps	Convenience for tourists, reduced operating costs	Problems with data security, dependence on IT infrastructure
Japan	Forecasting of tourist flows, big data analysis	Improved forecast accuracy, personalized offers	Lack of flexibility in case of changing tourist flows
South Korea	Platforms for information exchange between agencies, blockchain technologies	Acceleration of interaction between market participants, transaction security	High costs of technology implementation, complexity of system integration
UAE	Using blockchain, managing tourist flows through digital platforms	Increasing the efficiency of tourism infrastructure management	The need for constant technology updates and staff training
Great Britain	Online booking, using AI to predict demand	Improving the quality of service, convenience for customers	Problems with user adaptation to new technologies

Table 1 shows how different countries are implementing digital solutions to optimize the tourism industry. The experience of Germany, Japan, South Korea, the UAE and the UK can serve as a useful basis for Kazakhstan, helping to identify effective models and technologies that can be adapted to local conditions, as well as to understand the challenges these countries face in the process of digitalization.

International experience shows that the successful implementation of digital solutions in tourism requires an integrated approach, including infrastructure

development, digital literacy and the introduction of innovative technologies to improve the quality of tourism services and increase competitiveness in the global market [6].

Kazakhstan's tourism industry has been demonstrating positive trends in recent years in terms of the growing number of both domestic and international tourists. Both cultural and ecological tourism are actively developing in the republic, as well as an increase in the number of tourist facilities and infrastructure, including hotels and transport. However, for further development, there is a need to improve the quality of services and infrastructure, especially in remote and mountainous regions.

The main problems of the tourism industry in Kazakhstan are related to the lack of developed infrastructure in remote areas, the low level of digitalization in the tourism sector and insufficient marketing support. In addition, there are still problems with staff training, which also affects the quality of travel services. Difficulties are also caused by the low awareness of potential tourists about the opportunities offered by Kazakhstan as a tourist destination. Tourism in the country faces a number of difficulties, such as an underdeveloped infrastructure, problems with personnel qualifications, lack of proper marketing and advertising, as well as weak legislative regulation and seasonality of tourist flows (see Figure 2) [7].

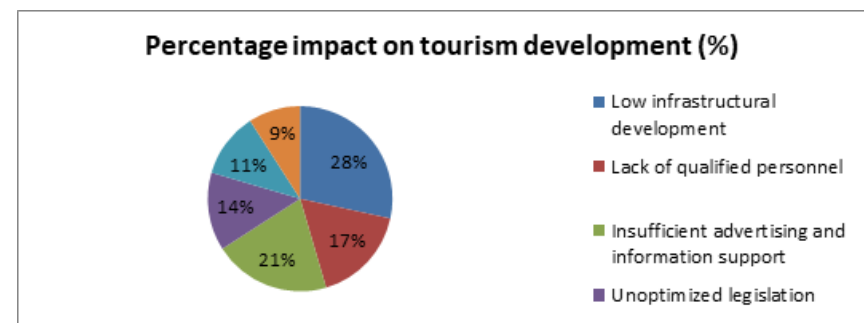


Figure 2 – Problems and barriers affecting the development of tourism in Kazakhstan

The chart visualizes the percentage impact of various problems and barriers on the development of the tourism industry in Kazakhstan. The diagram shows that the most significant obstacles are low infrastructural development, lack of qualified personnel and insufficient advertising support. These factors require attention from government agencies and private investors to optimize conditions for tourism development. At the same time, smaller issues such as tourism seasonality and

geopolitical instability also play a role, but their impact is generally less significant compared to the main factors.

The introduction of digital technologies in the tourism sector of Kazakhstan opens up great prospects for improving the efficiency of the industry. The development of online booking and sales platforms, the introduction of analytics systems for predicting tourist flows and improving the quality of service using CRM systems will create conditions for effective tourism management [8].

To analyze the use of tourism resources and assess changes in various industry indicators, the chart shows changes in key indicators such as the number of foreign tourists, tourism revenue, and others. The diagram shows how changes in the economic situation, politics, and infrastructure have affected the development of the industry over the years (see Figure 3).

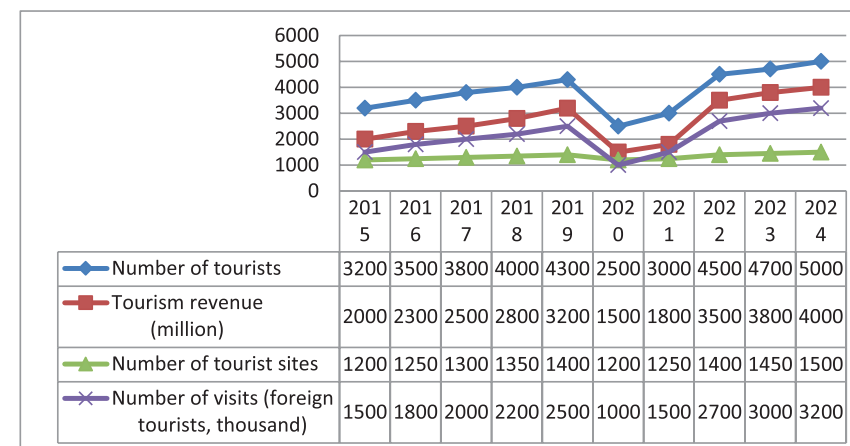


Figure 3 – Diagram of the development of the tourism industry in Kazakhstan by year

Based on the data presented in the diagram, it is possible to observe how various factors, including changes in government policy, the economy and the international situation, influenced the tourist flow in Kazakhstan. The chart reflects the key points of growth and decline in the industry, which allows us to identify the most important stages of tourism development, as well as identify areas that require special attention to improve the situation in the future [9].

The tourism industry of Kazakhstan demonstrates an increase in the number of domestic and international tourists, the active development of cultural and ecological tourism, as well as the expansion of tourist infrastructure. However,

further growth requires upgrading the quality of service and improving infrastructure, especially in remote regions.

The integration of digital technologies into the tourism sector opens up new prospects for increasing the competitiveness of the industry. The development and implementation of online platforms, analytics systems for forecasting tourist flows, and CRM systems will improve tourism management, make services more accessible and personalized, and reduce operating costs. The use of big data processing technologies, artificial intelligence and blockchain solutions will ensure transparency of interactions and increase trust in travel services.

The use of IT solutions, such as mobile applications for booking and navigation, augmented reality systems for virtual tours, intelligent chatbots and automated platforms for managing tourist flows, will make travel services in Kazakhstan more convenient and accessible. Thus, the development of digital technologies in the tourism industry, based on the achievements of computer science, will become a key factor in improving the quality of service, expanding the tourism market and forming Kazakhstan as an attractive tourist destination [10].

Figure 4 shows a diagram of a digital model aimed at optimizing tourism services in the Republic of Kazakhstan. The model includes key elements that make it possible to effectively integrate digital technologies into the processes of the tourism industry, improving the quality of service, simplifying booking processes, increasing the availability of information and stimulating innovation. The figure shows the main components of the model, their relationship and the stages of implementation, as well as the role of each component in the optimization process.

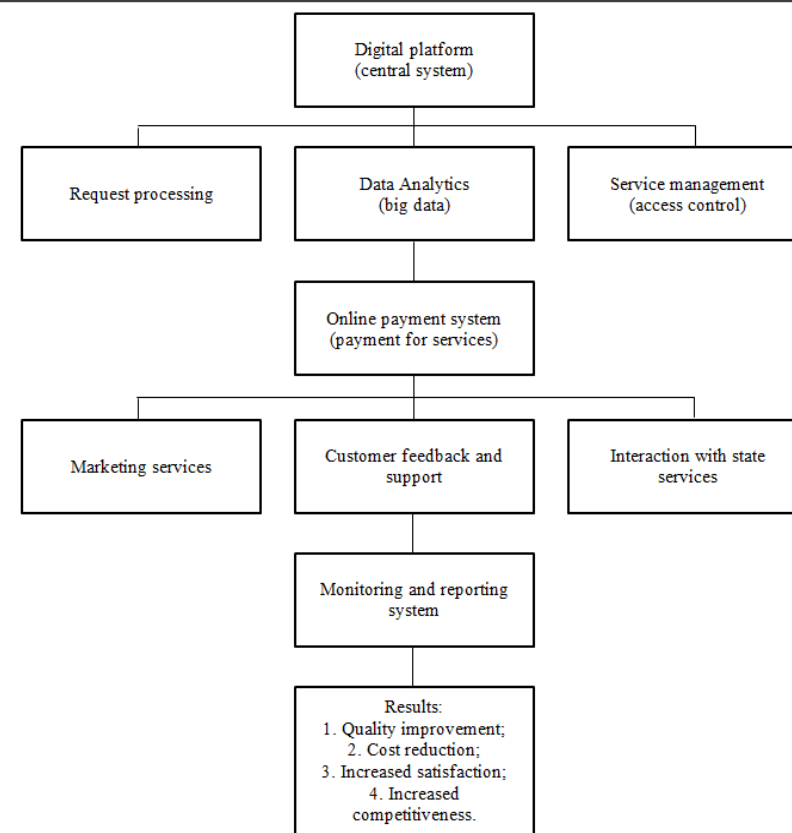


Figure 4 – Diagram of the proposed digital model for optimizing travel services

The model aims to improve the quality of services through the use of data, monitoring and analytics systems, as well as process automation. Effective implementation of the digital solutions shown in the diagram will lead to cost reductions, improved accessibility of services, and increased tourist satisfaction.

The evaluation of the effectiveness of the digital model implementation will include an analysis of the growth in the number of tourists, improving service, reducing costs and increasing customer satisfaction. Digitalization should improve the management of tourist flows, increase the competitiveness of the industry and optimize processes, which will ensure the sustainable development of tourism in the country.

The impact of digitalization on the quality of services will be assessed through monitoring customer experience, satisfaction levels, and improvements in service responsiveness. An important aspect will be the analysis of the impact of digital technologies on the speed of service, personalization of services and accessibility of information for tourists.

To improve the functioning of the system, taking into account digitalization, it is necessary to increase the level of interaction between various market participants, improve data security and regularly update software products. It is also important to develop mobile services for user convenience and train staff to use new technologies effectively. Improving infrastructure in remote regions and ensuring a high level of digital literacy among industry workers are also key aspects for successful digitalization.

Figure 5 shows a diagram showing the improvement in the quality of travel services after the introduction of the digital model. The chart shows the main parameters of the quality of services, such as the speed of response to customer requests, the level of satisfaction, the accuracy of order fulfillment and the availability of information. It is important to note that the graph shows a positive trend, which indicates a significant improvement in these indicators as a result of the use of digital solutions in the tourism industry.

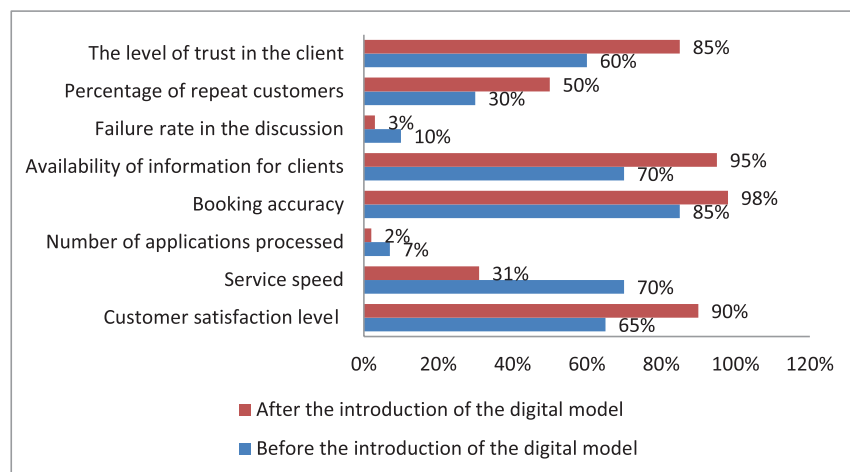


Figure 5 – Diagram of the improvement of the quality of tourist services after the introduction of the digital model

The analysis shown in the diagram shows the positive impact of the introduction of the digital model on the quality of travel services. Significant improvements in indicators such as service speed and customer satisfaction confirm that digitalization of processes contributes to improving the efficiency and quality of travel services. These changes make it possible to optimize interaction with tourists, make the service more efficient and transparent, which in turn affects the improvement of the image and competitiveness of the tourism industry in Kazakhstan.

The assessment of the impact of digitalization on the quality of services demonstrates significant improvements in terms of tourist satisfaction and increased efficiency of the industry. For the successful functioning of the digitalization system, it is necessary to continue to develop infrastructure, train staff and ensure data security, which will allow Kazakhstan to take a stable position in the international tourism market.

The development of a digital model for optimizing tourism services in Kazakhstan opens up great prospects for improving the quality of service and increasing the efficiency of the industry. The introduction of technologies such as online booking, mobile applications, and CRM systems allows for improved customer interaction and optimized internal processes. However, Kazakhstan faces a number of challenges, including the lack of digital maturity of many companies, infrastructure problems in remote areas, and data security risks.

The experience of other countries shows that the successful implementation of digital solutions in tourism makes it possible to increase economic efficiency and the quality of services. Kazakhstan can take advantage of these examples by implementing technologies to predict tourist flows and personalize offers.

Nevertheless, successful digitalization requires improved infrastructure, staff training, and the development of data protection legislation. In general, the digitalization of Kazakhstan's tourism industry will create opportunities to improve the quality of services, increase competitiveness and attract more tourists.

Conclusions

The development and implementation of a digital model for optimizing tourism services in Kazakhstan is a key factor in improving the competitiveness and efficiency of the tourism industry. Digitalization makes it possible to improve the quality of service, simplify booking processes and increase the availability of services for tourists. However, successful implementation of digital solutions requires overcoming a number of challenges, such as insufficient infrastructure, data protection, and staff training. Taking into account international experience and current trends, Kazakhstan has all the opportunities for successful digital transformation, which will further contribute to the growth of tourism, improve the quality of services and develop the country's economy.

REFERENCES

- 1 **Абдуллина, Р. Р.** Цифровизация туристической отрасли как фактор развития экономики Казахстана // Вестник КазНУ. Экономическая серия. – 2019. – № 4. – С. 12–19.
- 2 **Байдильдаев, Н. Т.** Перспективы цифровизации туризма в Казахстане // Экономика и общество. – 2020. – Т. 29, № 1. – С. 98–102.
- 3 **Гетманцева, И. А.** Развитие цифровых технологий в туристической отрасли : вызовы и решения // Наука и туризм. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 15–23.
- 4 **Колесников, В. С., Ярославцев, С. В.** Цифровизация и её влияние на развитие туризма // Журнал современной экономики. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 42–50.
- 5 **Назаров, С. Н.** Цифровые технологии в туризме : анализ мировых тенденций // Управление и инновации. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 33–41.
- 6 **Булах, Ю. В.** Использование цифровых технологий для улучшения качества туристических услуг в России // Вопросы туризма и гостиничного сервиса. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 75–80.
- 7 **Рахманбердиева, Н. Ж.** Влияние цифровых технологий на рынок туристических услуг Казахстана // Журнал экономических исследований. – 2020. – Т. 3, № 4. – С. 54–61.
- 8 **Хасанов, Р. В., Иванова, О. М.** Стратегии цифровизации туристической индустрии в условиях глобальных вызовов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 90–95.
- 9 **Buhalis, D., Law, R.** Progress in information technology and tourism management: 20 years on and 10 years after the Internet—the state of eTourism research // Tourism Management. – 2008. – Vol. 29, № 4. – P. 609–623. – <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.01.005>.
- 10 **Tussyadiah, I. P., Miller, G.** Hospitality and digital transformation : Disruptions in tourism // Tourism Management. – 2018. – Vol. 68. – P. 133–142. – <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.03.005>.

REFERENCES

- 1 **Abdullina, R. R.** Cifrovizatsiya turistskoi otrasli kak faktor razvitiya ekonomiki Kazakhstana [Digitalization of the tourism industry as a factor in the development of Kazakhstan's economy] // Vestnik KazNU. Ekonomicheskaya seriya. – 2019. – № 4. – P. 12–19.
- 2 **Bajdildaev, N. T.** Perspektivy cifrovizatsii turizma v Kazakhstane [Prospects for the digitalization of tourism in Kazakhstan] // Ekonomika i obshchestvo. – 2020. – V. 29, № 1. – P. 98–102.

- 3 **Getmanceva, I. A.** Razvitie cifrovyyh tekhnologii v turistskoi otrasli : vyzovy i resheniya [Development of digital technologies in the tourism industry : challenges and solutions] // Nauka i turizm. – 2021. – V. 22, № 3. – P. 15–23.
- 4 **Kolesnikov, V. S., Yaroslavtsev, S. V.** Cifrovizatsiya i ee vliyanie na razvitie turizma [Digitalization and its impact on tourism development] // Zhurnal sovremennoy ekonomiki. – 2020. – V. 19, № 2. – P. 42–50.
- 5 **Nazarov, S. N.** Cifrovye tekhnologii v turizme : analiz mirovyykh tendentsii [Digital technologies in tourism : analysis of global trends] // Upravlenie i innovatsii. – 2019. – V. 7, № 3. – P. 33–41.
- 6 **Bulah, Yu. V.** Ispolzovanie cifrovyyh tekhnologii dlya uluchsheniya kachestva turistskikh uslug v Rossii [The use of digital technologies to improve the quality of tourism services in Russia] // Voprosy turizma i gostinichnogo servisa. – 2018. – V. 6, № 2. – P. 75–80.
- 7 **Rahmanberdieva, N. Zh.** Vliyanie cifrovyyh tekhnologii na rynek turistskikh uslug Kazakhstana [The impact of digital technologies on the tourism services market of Kazakhstan] // Zhurnal ekonomicheskikh issledovaniy. – 2020. – V. 3, № 4. – P. 54–61.
- 8 **Hasanov, R. V., Ivanova, O. M.** Strategii cifrovizatsii turistskoi industrii v usloviyakh globalnykh vyzovov [Strategies for digitalization of the tourism industry in the context of global challenges] // Menedzhment v Rossii i za rubezhom. – 2020. – V. 16, № 2. – P. 90–95.
- 9 **Buhalis, D., Law, R.** Progress in information technology and tourism management : 20 years on and 10 years after the Internet—the state of eTourism research // Tourism Management. – 2008. – Vol. 29, № 4. – P. 609–623. – <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.01.005>.
- 10 **Tussyadiah, I. P., Miller, G.** Hospitality and digital transformation : Disruptions in tourism // Tourism Management. – 2018. – Vol. 68. – P. 133–142. – <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.03.005>.

***Е. М. Бекенов¹, Д. Ж. Кайбасова²**

^{1,2}Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫНДА ТУРИСТІК ҚЫЗМЕТТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Зерттеудің өзектілігі Қазақстан Республикасында туристік қызметтерді оңтайландыру үшін цифрлық технологияларды қолдану қажеттілігіне байланысты, бұл туристік салада бәсекеге қабілеттілік пен қызмет көрсету сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Жұмыстың мақсаты туристік қызметтердің сапасы мен

қолжетімділігін жақсартуға бағытталған цифрлық модельді әзірлеу болып табылады. Алға қойылған мақсатқа жету үшін мынадай міндеттер шешілді: Қазақстанның туристік саласының жай-күйін талдау, қолданыстағы әлемдік цифрлық шешімдерді зерттеу, оңтайландырудың цифрлық моделін әзірлеу және оның тиімділігін бағалау. Зерттеу барысында салыстырмалы талдау, статистикалық талдау, модельдеу және сараптама әдістері қолданылды. Жұмыс нәтижелері ұсынылған цифрлық модельді енгізу туристерге қызмет көрсету сапасын жақсартуға, ақпараттың қолжетімділігін арттыруға, қызметтерді брондау үшін уақыт пен қаржылық шығындарды азайтуға ықпал ететінін көрсетті. Сондай-ақ, Қазақстандағы туризм экономикасына цифрландырудың әсерін бағалау жүргізілді, салада цифрлық шешімдерді пайдалануды кеңейту перспективалары анықталды. Қорытындылай келе, елдің туристік нарығының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін цифрлық модельді одан әрі жетілдіру және инновацияларды енгізу бойынша ұсыныстар жасалды.

Кілтті сөздер: туризмді цифрландыру, туристік қызметтер, оңтайландыру, модельдеу, инновация.

***Е. М. Бекенов¹, Д. Ж. Кайбасова²**

^{1,2}Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

ОПТИМИЗАЦИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Актуальность исследования обусловлена необходимостью применения цифровых технологий для оптимизации туристических услуг в Республике Казахстан, что позволит повысить конкурентоспособность и качество обслуживания в туристической отрасли. Целью работы является разработка цифровой модели, направленной на улучшение качества и доступности туристических услуг. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ состояния туристической отрасли Казахстана, исследование существующих мировых цифровых решений, разработка цифровой модели оптимизации и оценка её эффективности. В процессе исследования использовались методы сравнительного анализа, статистического анализа, моделирования и экспертизы. Результаты работы показали, что внедрение предложенной цифровой модели способствует улучшению качества обслуживания

туристов, повышению доступности информации, сокращению временных и финансовых затрат на бронирование услуг. Также была проведена оценка влияния цифровизации на экономику туризма в Казахстане, выявлены перспективы для расширения использования цифровых решений в отрасли. В заключение сделаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию цифровой модели и внедрению инноваций для повышения конкурентоспособности туристического рынка страны.

Ключевые слова: цифровизация туризма, туристические услуги, оптимизация, моделирование, инновации.

***Р. А. Верещагин¹, М. В. Бодылевский², Ю. В. Улихина³,
Н. Н. Пудич⁴, В. И. Фандюшин⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1905-3436>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9774-809X>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

*e-mail: ehot.roman@mail.ru

РАЗРАБОТКА САЙТА «COOK TOGETHER»

Веб-сайт «Cook together» успешно интегрирует функциональность и дизайн, предоставляя пользователям удобную платформу для обмена рецептами и кулинарными идеями. Разработка сайта включала создание макета и дизайна, выбор среды и языка разработки, а также программную реализацию. Был сначала разработан макет сайта в Paint, затем создан дизайн в Adobe Photoshop, включая логотип, баннеры и фотографии блюд. Logo содержит смысл, связанный с единством людей вокруг кулинарии. Баннеры разработаны на основе блюд для разных приемов пищи с соответствующими слоганами. Футер содержит разделы «О нас», «Связаться с нами» и «Подпишитесь на нас» с контактной информацией. Как среда разработки использовалась Visual Studio, которая предоставляет мощные инструменты отладки, многоязыковую поддержку и удобную интеграцию с облачными службами. HTML, CSS и JavaScript были использованы для создания сайта. Для создания футера были разработаны стили для контейнеров блюд и добавлена функция переворачивания фотографий при наведении мыши. Главная страница содержит разделы «Завтрак», «Обед» и «Ужин», которые перенаправляют пользователей на соответствующие страницы. Каждая страница содержит заголовок с логотипом, навигационным меню и выпадающим меню для рецептов. Контейнеры для блюд упрощают добавление рецептов, а стили и функциональность позволяют видеть список ингредиентов при наведении мыши.

Ключевые слова: разработка сайта, веб технологии, макет и дизайн, логотип, баннер, структура сайта, сетевые приложения.

Введение

На данный момент развитие веб технологий достигло такого уровня, что без них успешно не функционирует ни одна организация или предприятие. Сегодня, любой пользователь может найти для себя интересующие его ответы на вопросы, для решения которых раньше необходимо было приложить гораздо больше усилий. Веб приложения разрабатываются на основе веб технологий. Веб технологии – это цифровые технологии, то есть комплекс средств таких как сетевые языки программирования, программы, отображающие взаимодействие в сети, при помощи которых возможно создавать, модифицировать и обновлять различные сетевые приложения для объединения, работы и отдыха удаленных пользователей по средствам сети. Веб приложения, а точнее информационные системы работающие в локальной сети организации или использующие сеть Интернет для взаимодействия как обычных пользователей, так и выполнения рабочих функций сотрудниками занимают все большее место в профессиональной и социальной жизни нашего общества. Одна из ниш веб технологий разработка сайтов и приложений различной тематики, носящей как профессиональную направленность (автоматизированные рабочие места, интернет-магазины), так и развлекательную (интернет кинотеатры, соцсети). В данной статье описывается разработка сайта «Cook together», как процесс углубленного рассмотрения сайтостроения такого актуального в наши дни.

Разрабатываемый веб-сайт «Cook together» представляет простую и удобную платформу для обмена рецептами и кулинарными идеями как для новичков, так и для профессионалов.

Материалы и методы

Для разработки сайта «Cook together» необходимо было выполнить ряд задач:

- 1) Создание макета и дизайна сайта «Cook together».
- 2) Выбор среды и языка разработки «Cook together».
- 3) Проведение программной реализации сайта «Cook together».

Среда разработки. Visual Studio (VS) – мощная интегрированная и популярная среда разработки, предоставляемая компанией Microsoft.

Многоязыковая поддержка является одной из важных особенностей Visual Studio.

Инструменты отладки в Visual Studio являются хорошо продуманными и непревзойденными. Разработчики могут использовать различные готовые

функции встроенные и среду, а также создать свои функции необходимые для процесса создания.

Среда разработки также обладает удобной интеграцией с облачными службами, в частности с Microsoft Azure. Это делает процесс разработки облачных приложений более простым и удобным.

HTML (HyperText Markup Language) – это стандартизированный язык разметки, используемый для создания веб-страниц. Он представляет основу веб-страницы, определяя и организуя содержимое документа, структурируя текст, изображения, ссылки, формы и другие элементы для отображения в браузере [1; 2].

CSS (Cascading Style Sheets) – это язык таблиц стилей, который используется для стилизации и оформления веб-страниц. Он предоставляет средства для определения внешнего вида элементов HTML, задания их внешнего оформления, расположения на странице, цветов, шрифтов, отступов, размеров и других аспектов дизайна [3; 4; 5; 6].

JavaScript (JS) – это высокоуровневый интерпретируемый язык программирования, который применяется для создания динамического контента на веб-страницах. Он широко используется для добавления интерактивности, управления поведением страницы, обработки событий пользователя и манипуляции данными на веб-сайтах [7; 8; 9].

Результаты и обсуждение

Вначале была продумано логическое размещение компонентов (макет сайта) необходимых для сайта функционирования сайта «Cook together». Создание примерного макета сайта происходило в таком приложении как Paint. Макет сайта «Cook together» представлен на рисунке 1 [1, с. 11].



Рисунок 1 – Макет сайта «Cook together»

На макете изображено примерное расположение всех элементов необходимых для самостоятельного приготовления блюд со списком ингредиентов и краткой инструкцией по приготовлению.

Следующим этапом, разрабатывался дизайн сайта с помощью приложения Adobe Photoshop, логотип, баннеры, фотографии блюд.

В результате проделанной работы получился такой дизайн сайта. Специально по тематике сайта были разработаны логотип (рисунок 2), баннеры (рисунок 3) и подвал (рисунок 4), которые в дальнейшем были применены в данном сайте [10; 11; 12].



Рисунок 2 – Логотип сайта «Cook together»

В логотип сайта был вложен смысл, такой как, первая буква названия и отзеркаленная копия, олицетворяют людей, объединённых одной идеей приготовления пищи.

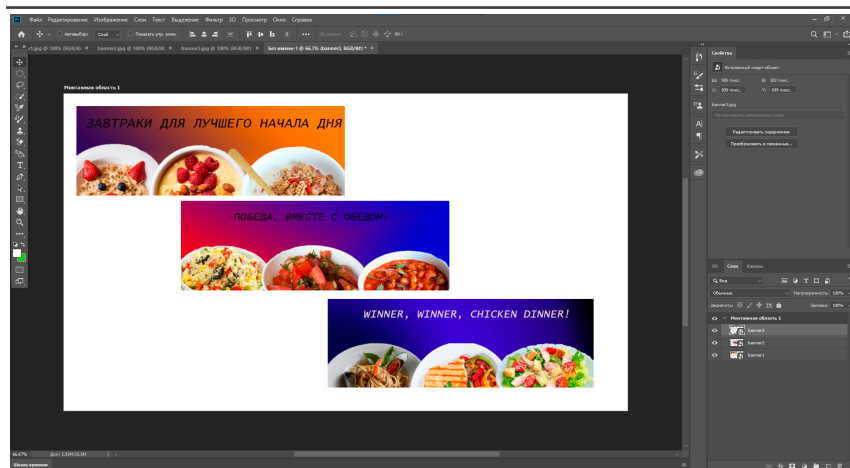


Рисунок 3 – Баннеры для главной страницы сайта «Cook together»

Баннеры были созданы на основе блюд, относящихся к разным часовым приёмам пищи, завтрак, обед, ужин. На каждом баннере продуман свой слоган, который намекает на часовой приём пищи [11, сс. 49-64].

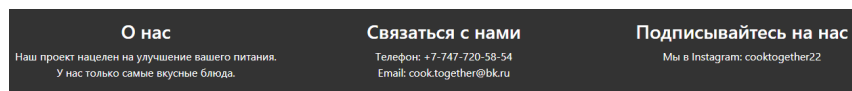


Рисунок 4 – Футер для сайта «Cook together»

В футере с левой стороны расположен раздел «О нас», который содержит информацию о цели сайта. В центре футера располагается раздел «Связаться с нами», в котором размещены контактный телефон и адрес электронной почты, по которым пользователи могут связаться и оставить свои предложения и пожелания. В правом нижнем углу расположен раздел «Подписывайтесь на нас», в котором размещён Instagram контакт, в котором можно следить за обновлениями сайта и предложениями пользователей [12].

Процесс создания футера. Футер сайта – это нижняя часть веб-страницы, которая обычно содержит информацию о сайте, дополнительные ссылки, контактные данные, карта сайта, правовую информацию и другую вспомогательную информацию.

Далее были созданы стили для контейнеров блюд и добавлены функции переворачивания фотографий при наведении мыши [12, с. 196]. Заполнены контейнеры информацией о блюдах. Создан «Footer» с помощью HTML-элемента div и применены необходимые классы для стилизации [2].

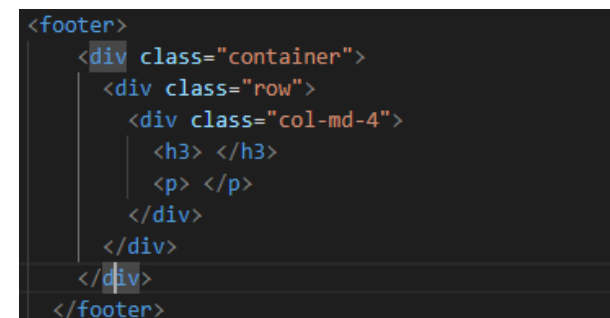


Рисунок 5 – Конструкция футера «Cook together»

На главной странице располагаются разделы «Завтрак», «Обед», «Ужин», которые перенаправляют пользователей на соответствующую страницу с предложенными рецептами блюд (Рисунок 6).

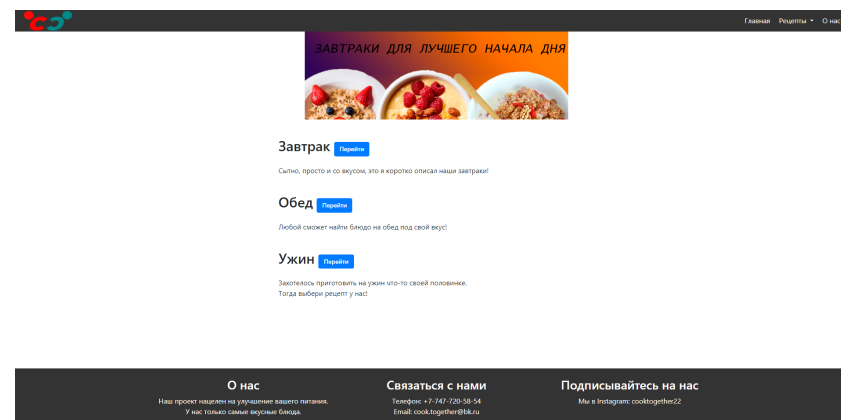


Рисунок 6 – Главная страница сайта «Cook together»

Процесс создания главной страницы. Создаем функцию, в которой размещаем три секции. Каждая из этих секций, предоставляет информацию о различных типах приема пищи. Также добавляем кнопку перехода на страницу и несколько слоганов для привлечения внимания пользователей. Чтобы сделать страницу более привлекательной создаем стили для кнопок и устанавливаем соответствующие шрифты. В итоге мы представляем окончательный результат. После нажатия на кнопку «Перейти», пользователь попадает на одну из веб страниц. На рисунках 7 представлен пример

страницы «Завтрак», написанной в среде VS CODE. На рисунке 8 отображена страница завтрак сайта «Cook together» в браузере.

```
<main>
<section id="breakfast">
  <h2>Завтрак <a href="../../проект/breakfast/breakfast.html" class="button">Перейти</a></h2>
  <p>Сытно, просто и со вкусом, это я коротко описал наши завтраки!</p>
</section>

<section id="lunch">
  <h2>Обед <a href="../../проект/lunch/lunch.html" class="button">Перейти</a></h2>
  <p>Любой сможет найти блюдо на обед под свой вкус!</p>
</section>

<section id="dinner">
  <h2>Ужин <a href="../../проект/dinner/dinner.html" class="button">Перейти</a></h2>
  <p>Захотелось приготовить на ужин что-то своей половинке.</br>
  Тогда выбери рецепт у нас!</p>
</section>
</main>
```

Рисунок 7 – Конструкция страницы завтрак «Cook together»

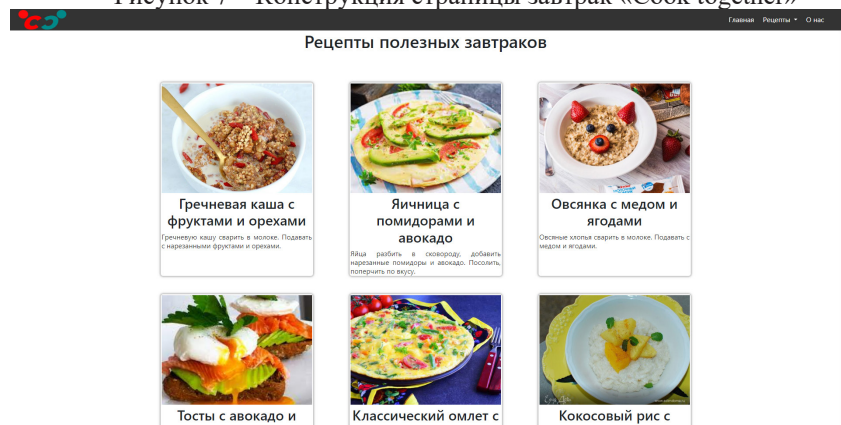


Рисунок 8 – Страница «Завтрак»

Процесс создания страницы с завтраками. В начале разработки данного веб-сайта, создавался раздел «Header». Внутри «Header» разместили контейнеры и навигационные бары, добавив логотип для узнаваемости. Далее, добавили функциональное меню с ссылками на разделы «Главная», «Рецепты» и «О нас». Чтобы сделать «Header» более привлекательным, применили стили, определив цвета, размеры текста, отступы и другие параметры. Также было добавлено выпадающее меню при нажатии на пункт меню «Рецепты», выпадает список, содержащий варианты «Завтрак»,

«Обед» и «Ужин». Были созданы контейнеры для блюд, упрощая процесс добавления разнообразных рецептов на сайт. Далее, продумали и применили стили для контейнеров и функциональность, позволяющую видеть список ингредиентов при наведении мыши на фотографии блюд. Затем продолжили добавление блюд в контейнеры, дополняя информацией о каждом рецепте. В завершение, создали «Footer» или подвал сайта, добавив соответствующий div-блок и классы для стилизации. «Footer» предоставляет информацию о сайте и контактные данные, обогащая пользовательский опыт.

Выводы В процессе разработки веб-сайта «Cook together» были тщательно рассмотрены и реализованы ключевые этапы, начиная от создания логической схемы и макета до выбора среды разработки. Visual Studio – среда разработки сыграла ключевую роль в процессе создания веб-сайта, благодаря своей многоязыковой поддержке и удобной интеграции с облачными службами. Дизайн сайта, включая логотип, баннеры и футер, не только эстетически привлекателен, но и логично соответствует тематике ресурса. Главная страница, с функциональным меню и стилизованными элементами, создает привлекательное визуальное впечатление. В целом, веб-сайт «Cook together» успешно сочетает в себе техническую функциональность с привлекательным дизайном, предоставляя пользователям удобную платформу для обмена рецептами и кулинарными идеями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Дакетт, Д. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. – Эксмо : Россия, 2019. – 480 с.
- 2 Фримен, Э., Фримен, Эл. Изучаем HTML, XHTML и CSS. – Шепелев ИП : Россия, 2024. – 720 с.
- 3 Минник, К., Титтел, Э. HTML5 и CSS3 для чайников. – Диалектика, 2020, – 400 с.
- 4 Дронов, В. HTML и CSS. 25 уроков для начинающих. – BHV : СПб, 2020. – 400 с.
- 5 Макфарланд, Д. С. Новая большая книга CSS. – Питер, 2019, 720 с.
- 6 Грант, К. CSS для профи. – Питер : Россия, 2021. – 496 с.
- 7 Флэнаган, Д. JavaScript. Полное руководство. – Вильямс : Россия, 2020, – 720 с.
- 8 Дронов, В. JavaScript: 20 уроков для начинающих. – BHV : СПб, 2020. – 352 с.
- 9 Чиннатхамби К. JavaScript с нуля. – Питер, 2021. – 400 с.
- 10 Купер, Алан. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. – Питер, 2022, – 720 с.

11 **Круг, Стив.** Не заставляйте меня думать. 3 – издание. – Эксмо : Россия, 2021. – 256 с.

12 **Сидоренко И.** Дизайнер интерфейсов. Принципы работы и построение карьеры. – Олимп Бизнес, 2019. – 224 с.

REFERENCES

1 **Dakett, D.** HTML i CSS. Razrabotka i dizajn veb-sajtov [HTML and CSS. Website development and design] – E`ksmo : Rossiya, 2019. – 480 p.

2 **Frimen, E'., Frimen, E'I.** Izuchaem HTML, XHTML i CSS [Learning HTML, XHTML and CSS]. – Shepelev IP : Rossiya, 2024. – 720 p.

3 **Minnik, K., Tittel, E'.** HTML5 i CSS3 dlya chajnikov [HTML5 and CSS3 for dummies]. – Dialektika, 2020. – 400 p.3

4 **Dronov, V.** HTML i CSS. 25 urokov dlya nachinayushhix [HTML and CSS. 25 lessons for beginners]. – BHV : SPb, 2020. – 400 p.

5 **Makfarland, D. S.** Novaya bol'shaya kniga CSS. [The New Big CSS Book] – Piter : 2019. – 720 p.

6 **Grant, K.** CSS dlya profi [CSS for the pros] – Piter : Rossiya, 2021. – 496 p.

7 **Fle'nagan, D.** Java Script. Polnoe rukovodstvo [Javascript. Complete Guide]. – Vil'yams : Rossiya, 2020, – 720 p.

8 **Dronov, V.** JavaScript: 20 urokov dlya nachinayushhix [JavaScript: 20 Lessons for Beginners]. – BHV : SPb, 2020. – 352 p.

9 **Chinnatxambi K.** JavaScript s nulya [JavaScript from scratch]. – Piter, 2021. – 400 p.

10 **Kuper, Alan.** Interfejs. Osnovy` proektirovaniya vzaimodejstviya [Interface. Interaction Design Fundamentals]. – Piter, 2022. – 720 p.

11 **Krug, Stiv.** Ne zastavlyajte menya dumat' [Don't make me think]. 3 – izdanie – E`ksmo, 2021. – 256 p.

12 **Sidorenko I.** Dizajner interfejsov. Principy` raboty` i postroenie kar`ery` [Interface designer. Operating principles and career development]. – Olimp Biznes, 2019. – 224 p.

***R. A. Vereshchagin¹, M. V. Bodylevskiy², Ю. В. Улихина³, Н. Н. Пудич⁴, В. И. Фандюшин⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

«COOK TOGETHER» САЙТЫН ӘЗІРЛЕУ

«Cook together» веб-сайты функционалдылық пен дизайнды сәтті біріктіріп, пайдаланушыларға рецепттер мен тағам

дайындау идеяларын бөлісуге ыңғайлы платформаны ұсынады. Веб-сайтты әзірлеуге макет пен дизайнды жасау, әзірлеу ортасы мен тілін таңдау, сондай-ақ бағдарламалық жасақтаманы енгізу кіреді. Веб-сайт макеті алдымен Paint бағдарламасында әзірленді, содан кейін логотипті, баннерлер мен тағам фотосуреттерін қамтитын дизайн Adobe Photoshop бағдарламасында жасалды. Логотипте тамақ дайындаудың айналасындағы адамдардың бірлігіне қатысты мағына бар. Баннерлер сәйкес ұрандармен әртүрлі тамақтануға арналған тағамдарға негізделген. Төменгі деректемеде байланыс ақпараты бар. «Біз туралы», «Байланыс» және «Бізге жазылу» бөлімдері бар. Visual Studio қуатты жөндеу құралдарын, көп тілді қолдауды және бұлттық қызметтермен ыңғайлы интеграцияны қамтамасыз ететін әзірлеу ортасы ретінде пайдаланылды. Сайтты жасау үшін HTML, CSS және JavaScript пайдаланылды. Төменгі деректемені жасау үшін тағам контейнерлеріне арналған стильдер әзірленді және тінтуірді апарған кезде фотосуреттерді аудару функциясы қосылды. Басты бетте пайдаланушыларды тиісті беттеріне қайта бағыттаушы таңғы ас, түскі ас және кешкі ас бөлімдері бар. Әрбір бетте логотипі бар тақырып, шарлау мәзірі және рецепттерге арналған ашылмалы мәзір бар. Тағамға арналған контейнерлер рецепттерді қосуды жеңілдетеді, ал стильдер мен функционалдылық тінтуірді жылжыту арқылы ингредиенттер тізімін көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: веб-сайтты әзірлеу, веб-технология, макет және дизайн, баннер, веб-сайт құрылымы, желілік қосымшалар.

***R. A. Vereshchagin¹, M. V. Bodylevskiy², Y. V. Ulikhina³, N. N. Pudich⁴, V. I. Fandyushin⁵**

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

DEVELOPMENT OF THE SITE «COOK TOGETHER»

The Cook together website successfully integrates functionality and design, providing users with a convenient platform for sharing recipes and cooking ideas. Website development included creating a layout and design, choosing a development environment and language, as well as software implementation. A website layout was first developed in Paint, then a design was created in Adobe Photoshop, including a logo, banners and food photographs. The logo contains meaning related to the unity of

people around cooking. The banners are designed based on dishes for different meals with corresponding slogans. The footer contains sections «About Us», «Contact Us» and «Follow Us» with contact information. Visual Studio was used as a development environment, which provides powerful debugging tools, multi-language support and convenient integration with cloud services. HTML, CSS and JavaScript were used to create the site. To create the footer, styles for food containers were developed and the function of flipping photos when hovering the mouse was added. The home page contains Breakfast, Lunch, and Dinner sections that redirect users to their respective pages. Each page contains a header with a logo, a navigation menu, and a drop-down menu for recipes. Meal containers make it easy to add recipes, and the styles and functionality allow you to see the ingredient list on mouseover.

Keywords: website development, web technology, layout and design, logo, banner, website structure, network applications.

МРНТИ 20.01.45

DOI

**Ж. Б. Исабеков¹, *Б. Б. Исабекова²,
Г. С. Балгабаева³, А. Т. Абенова⁴**

^{1,2,3,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОНЛАЙН ОБУЧЕНИИ

В статье рассмотрено одно из видов интерактивных технологий - геймификация. Геймификация, или использование игровых элементов и механик в неигровых контекстах, получила широкое применение в онлайн обучении. Исследование охватывает разнообразные методы интерактивных технологий: создание квестов, поп-квизов, системы достижений, уровней и наград. Почему необходимо использовать геймификации на уроках особенно в онлайн обучении. Применение геймификации позволяет сделать скучный, неинтересный процесс обучения увлекательным и интересным, похожим на игру. Здесь также задействована эмоциональная составляющая для усиления целевого поведения, вовлечения и лучшего усваивания учебного материала. Возрастающий интерес к геймификации как из основных инструментов при онлайн обучении побудил многих преподавателей использовать элементы геймификации, превращая процесс обучения в творческий процесс. В настоящее время можно сказать, что геймификация становится важным инструментом для повышения эффективности онлайн обучения, делая его более увлекательным, интерактивным и мотивирующим для обучающихся, открывая новые горизонты для эффективного усвоения знаний в онлайн среде. Основываясь на данных о повышении мотивации, улучшении учебных результатов и увеличении вовлеченности студентов, делается вывод о значительной пользе использования геймификации в образовательном процессе.

Ключевые слова: геймификация, онлайн обучение, процесс обучения, мотивация, игра.

Введение

Внедрение интерактивных технологий в онлайн обучение привносит революционные изменения в образовательный процесс, предоставляя новые возможности для эффективного и увлекательного обучения. Это введение предназначено для освещения значимости и примеров использования интерактивных технологий в онлайн образовании.

С развитием технологий интерактивность в образовании перестала быть просто модным трендом и стала ключевым элементом обучения. Интерактивные технологии предоставляют учащимся возможность активного участия, позволяя им взаимодействовать с учебным материалом в более глубоком и увлекательном формате [1; 2].

Широкий спектр интерактивных технологий [3; 4; 5], таких как виртуальная и дополненная реальность, онлайн платформы для коллективной работы, интерактивные видеоуроки, вебинары с возможностью обратной связи и др. Примеры успешного применения этих технологий в онлайн образовании подчеркивают их способность сделать учебный процесс более динамичным и доступным.

Как показывает опыт, применение интерактивных технологий в онлайн обучении повышает мотивацию, улучшает результаты обучения и увеличивает вовлеченность студентов благодаря использованию таких технологий.

В целом, применение интерактивных технологий в онлайн обучении играет критическую роль в улучшении процесса обучения, делая его более интересным, эффективным и адаптированным к потребностям современных учащихся [6; 7; 8]. Это введение призвано подчеркнуть значимость этих технологий и их потенциал для будущего образования.

Материалы и методы

Применение интерактивных технологий в онлайн обучении требует разнообразных материалов и методов для создания эффективных образовательных процессов. Вот несколько типичных материалов и методов, используемых в этой области. Например создание виртуальных сред с помощью VR и AR позволяет студентам погрузиться в учебный материал, исследовать сложные концепции, имитировать реальные ситуации и улучшать понимание предмета. Онлайн платформы, поддерживающие интерактивное обучение [9; 10; 11], предоставляют инструменты для коллективной работы, обратной связи и обмена материалами между студентами и преподавателями. Использование интерактивных видеоуроков с возможностью выбора сценария, проверки знаний в режиме реального времени и возможностью управления процессом обучения стимулирует активное участие студентов. Проведение вебинаров с возможностью

обратной связи, обсуждения материала в реальном времени и задавания вопросов влияет на повышение вовлеченности и улучшение понимания темы. Внедрение элементов игровой механики (награды, уровни, достижения) в учебный процесс стимулирует мотивацию студентов и способствует более глубокому усвоению материала. Создание интерактивных заданий, которые позволяют студентам тестировать свои знания, решать задачи и получать мгновенную обратную связь, способствует активному обучению. Возможность проведения экспериментов и исследований в виртуальной среде помогает студентам практически применять свои знания.

Это лишь часть инструментов, которые могут быть использованы для создания интерактивных образовательных сред в онлайн формате, стимулирующих активное участие студентов и повышение эффективности обучения.

Рассмотрим один из видов интерактивных технологий – геймификацию. Одним из преимуществ геймификации является то, что она автоматизирует многие задачи. Например, игровой курс автоматически оценивает вопросы без ручной проверки, на которые есть определенные ответы с отработкой неправильных, т.е. наличие обратной связи, что помогает студенту самостоятельно закрепить материал.

В игровой среде учащийся, выбирая темп обучения или область обучения, адаптирует образовательную программу к своим собственным предпочтениям, т.е. у каждого есть индивидуальное обучение.

Например, с помощью программы Wordwall можно создать как интерактивные (рисунок 1), так и печатных материалов. Интерактивные воспроизводятся на любом устройстве с вебинтерфейсом, например, на компьютере, планшете, телефоне или интерактивной доске.

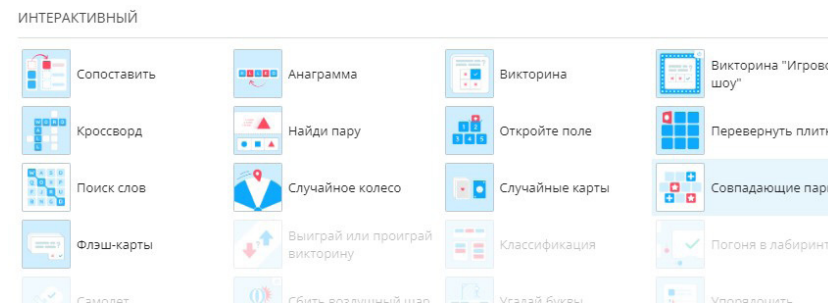


Рисунок 1 – Шаблоны создания игр

На рисунке 2 представлен пример использования wordwall.net «сопоставить». Например, дисциплина «Дистанционные образовательные технологии». Чтобы его загрузить необходимо запустить программу star.html. Выйдет главное окно, состоящее из лекционного, лабораторного и практического материала по оной на каждую неделю (с 1 по 14).

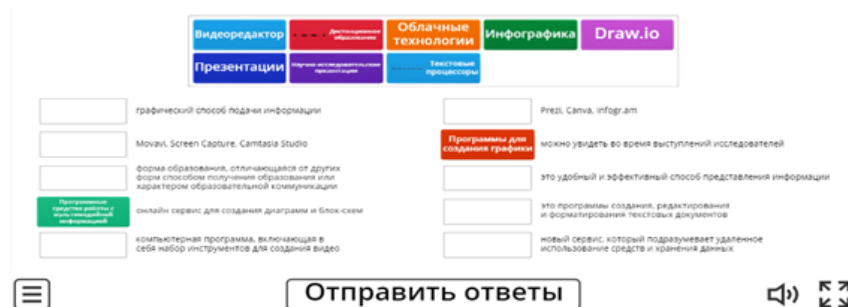


Рисунок 2 – Игра «Сопоставить»

На рисунке 3 представлена викторина, проверка полученных знаний в игровой форме.

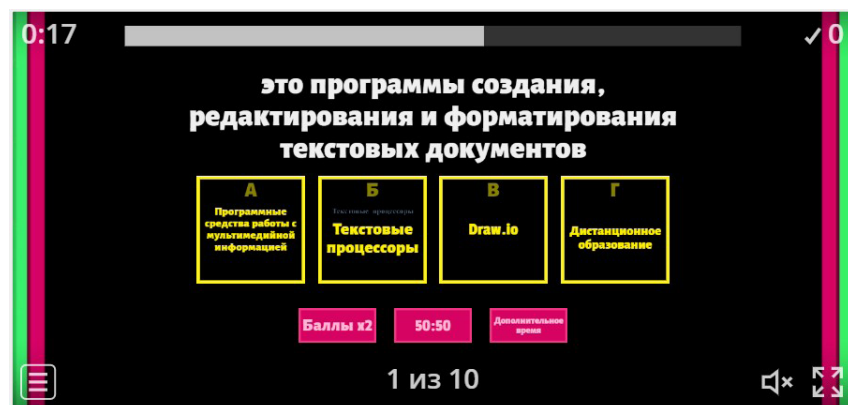


Рисунок 3 – Игра «Викторина»

Также можно придумать разные варианты проверки знаний с помощью сайта <https://learningapps.org/>, например на рисунке 4 нужно сопоставить слова с определением, а на рисунке 5 нужно угадать слово.

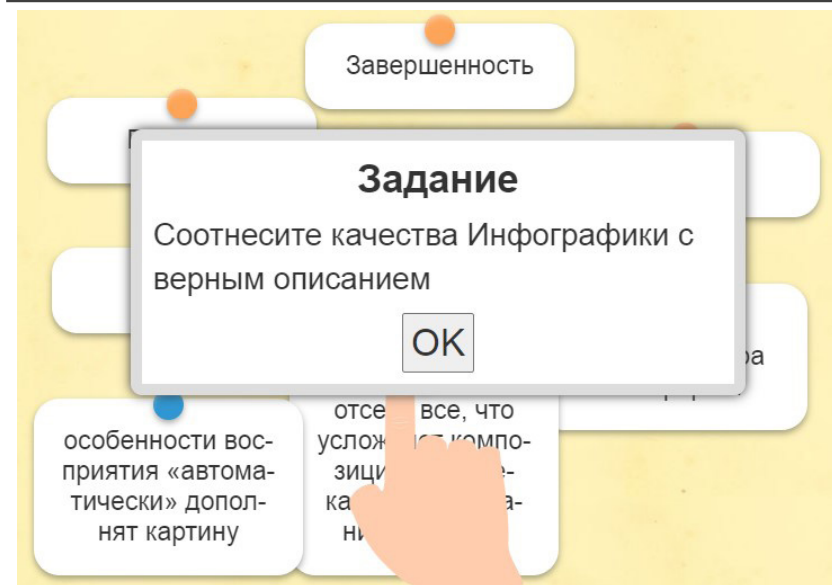


Рисунок 4 – Задание в learningapps.org

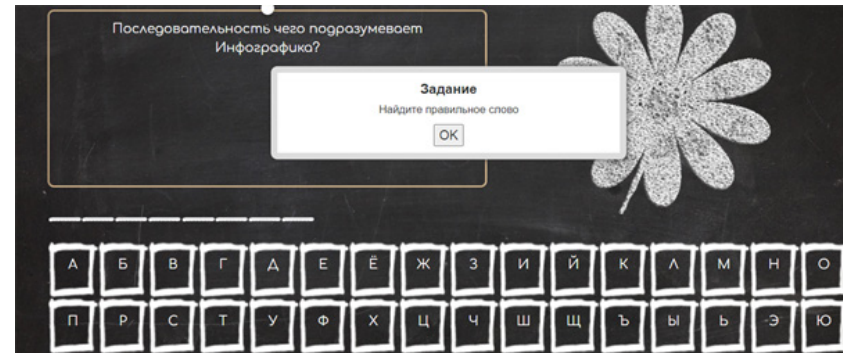


Рисунок 5 – Угадай слово

Элементы интерактивных упражнений будут представлены разнообразными заданиями в игровой форме. Например, как показано на рисунке 6, необходимо вести в поле правильный термин к определению.

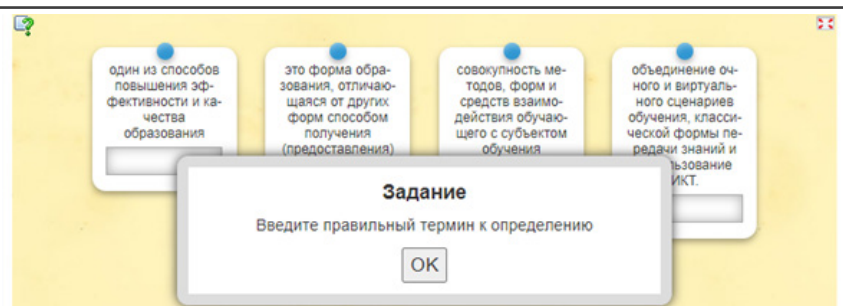


Рисунок 6 – Задание 1

На рисунке 8 необходимо подобрать определения к подходящей модели, например задание определить тип моделей по Хуторскому А.В. На рисунке 9 необходимо вставить пропущенные слова. Если слова правильные ячейки окрасятся в синий цвет, если нет в красный, можно вводить слова до тех пор, пока пользователь не введет правильные слова.

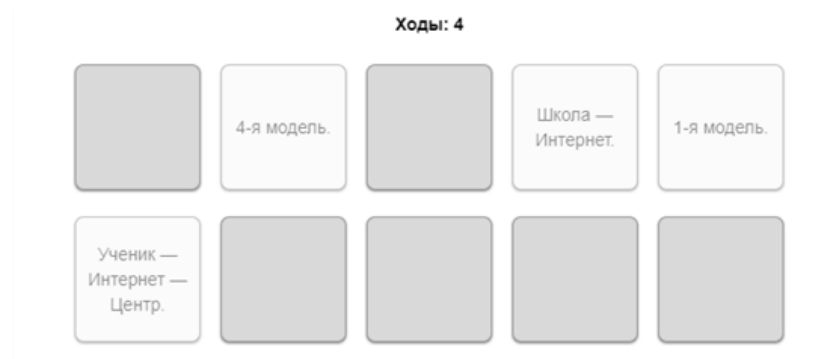


Рисунок 8 – Задание 2

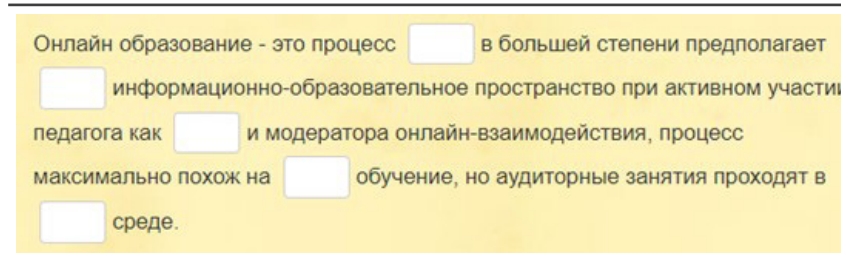


Рисунок 9 – Задание 3

Задание, представленное на рисунке 10, необходимо щелкнуть на красную кнопку и выбрать правильное определение этого элемента.

Также можно сделать сопоставить правильное определение к представленной иллюстраций.

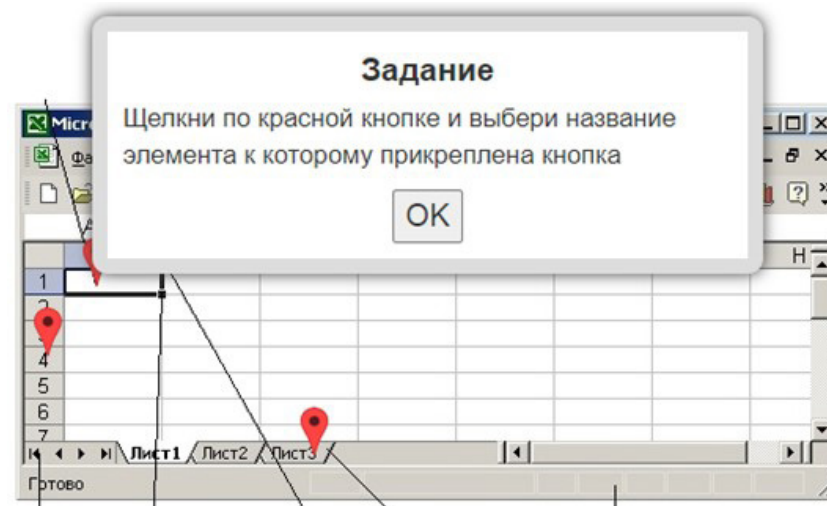


Рисунок 10 – Задание: сопоставить правильное определение элементов

На рисунке 11 представлена игра, которую можно играть с друзьями или одному. Всплывает меню вопроса и пользователь должен нажать на правильный ответ. При ответе правильно на вопрос тебе или компьютеру зачисляются баллы. Выигрывает тот, кто отвечает больше правильно.

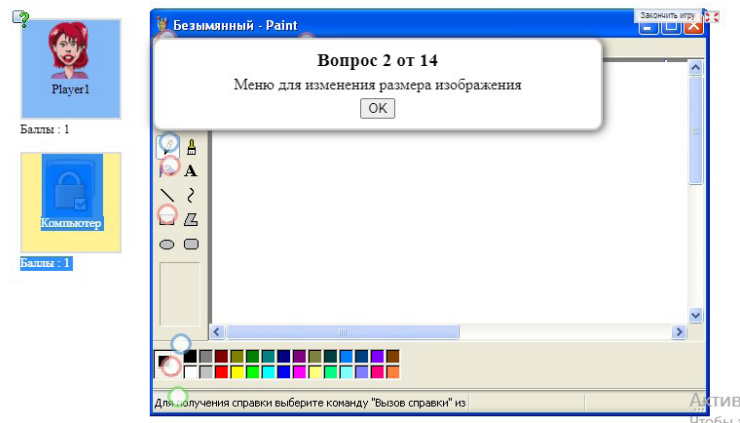


Рисунок 11 – Игра найти правильный ответ на заданный вопрос

Для закрепления просмотренного видео-материала на основе полученной информации в конце представлены вопросы, представленные на рисунке 12

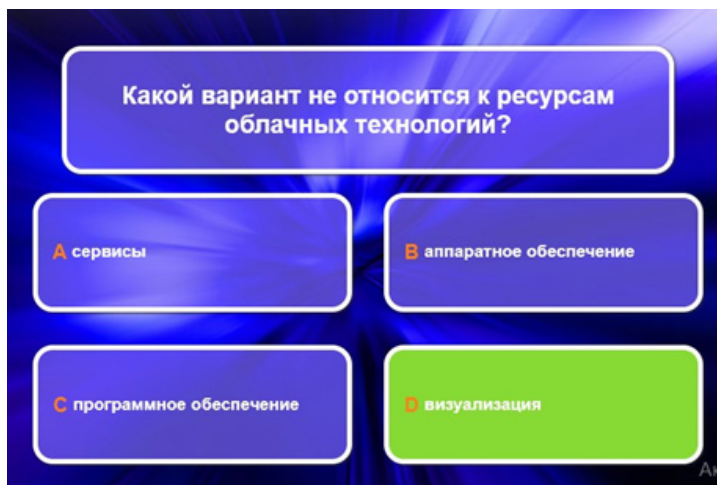


Рисунок 12 – ответы на вопросы

На рисунке 13 представлен один из видов теста в виде игры «стань миллионером».

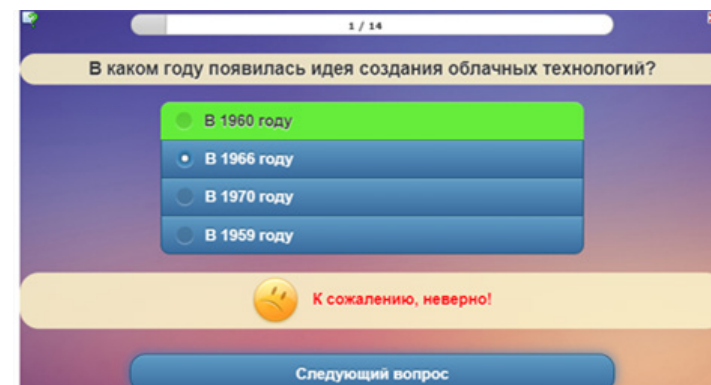


Рисунок 13 – Задание тест

На следующем задании (рисунок 14) необходимо найти указанные с правой стороны слова. Они могут быть горизонтально, вертикально, по диагонали.

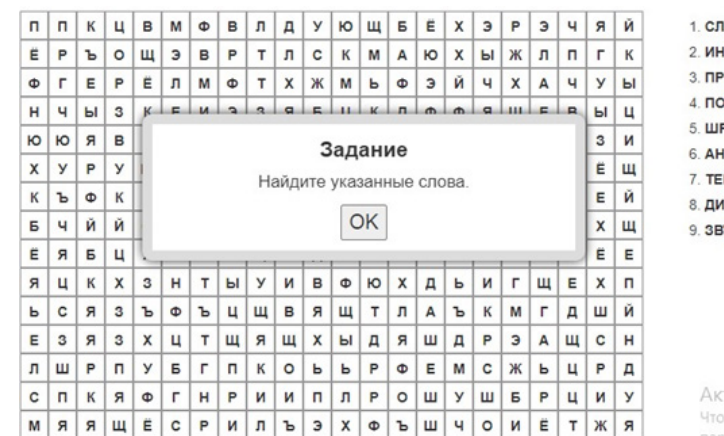


Рисунок 14 – Ребус

Результаты и обсуждение

Интерактивные технологии позволяют студентам более глубоко погружаться в учебный материал, что способствует улучшению усвоения информации. Использование интерактивных видеуроков, тестов с обратной связью и онлайн симуляций помогает улучшить усвоение знаний. Интерактивные методы создают более интересные и увлекательные формы обучения, что способствует улучшению обучаемости и помогает студентам лучше понимать и запоминать материал.

Разработанные электронные курсы подтверждают эффективность использования интерактивных технологий в онлайн обучении, обеспечивая более эффективный, интересный и доступный образовательный процесс для студентов разных возрастов и уровней подготовки.

Выводы. Применение интерактивных технологий в онлайн обучении не обозначает отказ от таких традиционных источников информации, как лекции и учебники; интерактивные технологии является важным дополнением к учебному процессу и дает студенту возможность закрепить полученные теоретические знания на практике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Красильникова, В. А.** Использование информационных и коммуникационных технологий в образовании. [Текст]. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 291 с.

2 **Соколова, С. А.** Современные инновационно-информационные технологии в образовательном процессе [Текст] // NOVAINFO.RU. – 2015. – № 36(1). – С. 187–191.

3 Внедрение геймификации в образовательный процесс вуза [Электронный ресурс]. – URL: <https://lala.lanbook.com/vnedreniegejmifikacii-v-obrazovatelnyj-process-vuza> [дата обращения 28.02.2023].

4 Геймификация как средство повышения эффективности онлайнкурсов [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geymifikatsiya-kak-sredstvo-povysheniyaeffektivnosti-onlayn-kursov> [дата обращения 28.02.2023].

5 **Благовещенский, И. А.** Технологии и алгоритмы для создания дополненной реальности. [Текст] // Моделирование и анализ информационных систем. – 2013. – Т. 20. – № 2. – С. 129–138.

6 **Воробьева, В. М.** Эффективное использование метода интеллект-карт на уроках : методическое пособие [Текст]. – Москва : ГБОУ «ТемоЦентр», 2013. – 44 с.

7 **Зыкова, И. Ф.** Информационная поддержка проекта как метода формирования метапредметных знаний. [Текст] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Информатизация образования». – 2016. – № 3. – С. 59–65.

8 **Логинова, Н. Э.** Использование интерактивной онлайн-доски в условиях инклюзивного образования. [Текст] // Современная наука: проблемы и перспективы развития: сб. ст. международной научнопрактической конференции. Омск : ОмГА. – 2017. – С. 168–173.

9 **Раскина, И. И.** Использование мобильных устройств на уроках математики и информатики. [Текст] // Актуальные проблемы обучения информатике и математике в современной школе : материалы Международной научно-практической интернет-конференции. Москва : МПГУ. – 2019. – С. 732–739.

10 **Горбатюк, В. Ф.** Модели системы обучения в условиях1 внедрения технологий e-learning. [Текст] // 44Вестник Таганрогского государственного педагогического института. Физико-математические28 и естественные науки. Таганрог : Издво Таганрог. гос. пед. ин-та. – 2011. – № 1. – С. 116–122.

11 **Chan Lin.** Formats and prior knowledge on learning in a computerbased lesson [Текст]. Journal of Computer Assisted Learning. – 2001. – № 17. – P. 409 – 419.

REFERENCES

1 **Krasilnikova, V. A.** Ispolzovanie informatsionnyh i kommunikatsionnyh tehnologii v obrazovanii [The use of information and communication technologies in education] [Text]. Orenburg : OSU, 2012. – 291 p.

2 **Sokolova, S. A.** Sovremennye innovatsionno-informatsionnye tehnologii v obrazovatelnom protsesse3[Modern2 innovative information technologies in the educatio3nal process] [Text] // NOVAINFO.RU. – 2015. – № 36(1). – P. 187–191.

3 Vnedrenie geimifikatsii v obrazovatelnyi prot2sess vuza [Introduction of gamification into the educational process of the university] [Electronic resource]. – URL: <https://lala.lanbook.com/vnedrenie-gejmifikacii-vobrazovatelnyj-process-vuza> [accessed 02/12/2023].

4 Geimifikatsiya kak sredstvo povыsheniya effektivnosti onlain-kursov36[Gamification as a means of increasing the effectiveness of online courses]2[Electronic resource]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geymi36fikatsiya-kak-sredstvo-povysheniyaeffektivnosti-onlayn-kursov> [accessed 02/12/2023].

5 **Blagoveshchenskiy, I. A.** Tehnologii i algoritmy dlya sozdaniya dopolnennoi realnosti [Technologies and algorithms for creating augmented

reality] [Text] // Modeling and analysis of information systems. - 2013. - Vol. 20. - № 2. - P. 129-138.

6 **Vorobyova, V. M.** Effektivnoe ispolzovanie metoda intellekt-kart na urokah: metodicheskoe posobie [Effective use of the method of intelligence maps in the classroom : a methodological guide] [Text]. - Moscow : GBOU «Temocenter», 2013. - 44 p.

7 **Zykova, I. F.** Informatsionnaya podderjka proekta kak metoda formirovaniya metapredmetnyh znaniy [Information support of the project as a method of forming meta-subject knowledge] [Text] // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. The series «Informatization of education». - 2016. - № 3. - P. 59-65.

8 **Loginova, N. E.** Ispolzovanie interaktivnoi onlain-doski v usloviyah inkluzivnogo obrazovaniya. [The use of an interactive online whiteboard in inclusive education] [Text] // Modern science: problems and prospects of development : collection of articles of the international scientific and practical conference. Omsk : OmGA. - 2017. - P. 168-173.

9 **Raskina, I. I.** Ispolzovanie mobilnyh ustroystv na urokah matematiki i informatiki [The use of mobile devices in mathematics and computer science lessons] [Text] // Actual problems of teaching computer science and mathematics in a modern school : materials of the International scientific and practical Internet conference. Moscow : MPSU. - 2019. - P. 732-739.

10 **Gorbatyuk, V. E.** etody obucheniya v sisteme elektronnoy obucheniya. [Teaching methods in the e-learning system] [Text] // Bulletin of the Taganrog State Pedagogical Institute. Physical, mathematical and natural sciences. Taganrog : Published by Taganrog State Pedagogical Institute. - 2011. - № 1. - P. 116-122.

11 **Chan Lin.** Formats and prior knowledge about learning in a computer lesson [Text]. The Journal of Computer Learning. - 2001. - № 17. - P. 409-419.

Ж. Б. Исабеков¹, *Б. Б. Исабекова²,

Г. С. Балгабаева³, А. Т. Әбенова⁴

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

ОНЛАЙН ОҚЫТУДА ИНТЕРАКТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ МЫСАЛДАРЫ

Мақалада интерактивті технологияның бір түрі геймификация қарастырылған. Геймификация немесе ойын элементтері мен механиканы ойын емес контексте қолдану онлайн оқытуда кеңінен қолданылды. Зерттеу интерактивті технологияның әртүрлі әдістерін қамтиды: квесттер, поп-квиздер, жетістіктер, деңгейлер мен марапаттар жүйесін құру. Нәтижесінде сабақтарда геймификацияны қолдану керек, әсіресе онлайн оқытуда. Геймификацияны қолдану скучно, қызықсыз оқу процесін ойынға ұқсас қызықты және қызықты етуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, мақсатты мінез-құлықты күшейту, тарту және оқу материалын жақсы игеру үшін эмоционалды компонент қатысады. Интернеттегі оқытудың негізгі құралы ретінде геймификацияға деген қызығушылықтың артуы көптеген оқытушыларды оқу процесін шығармашылық процеске айналдыра отырып, геймификация элементтерін қолдануға итермелейді. Қазіргі уақытта геймификация онлайн оқытудың тиімділігін арттырудың маңызды құралына айналып, оны қызықты, интерактивті және білім алушылар үшін ынталандырушы етеді, онлайн ортада білімді тиімді игерудің жаңа көзжиектерін ашады деп айтуға болады. Мотивацияны арттыру, оқу нәтижелерін жақсарту және студенттердің белсенділігін арттыру туралы мәліметтерге сүйене отырып, білім беру процесінде геймификацияны қолданудың маңызды пайдасы туралы қорытынды жасалады.

Кілтті сөздер: геймификация, онлайн оқыту, оқу процесі, мотивация, ойын.

Z. B. Issabekov¹, *B. B. Issabekova²,

G. S. Balgabaeva³, A. T. Abenova⁴

^{1,2,3,4,5}Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

EXAMPLES OF THE USE OF INTERACTIVE TECHNOLOGIES IN ONLINE LEARNING

The article considers one of the types of interactive technologies - gamification. Gamification, or the use of game elements and mechanics in non-game contexts, has been widely used in online learning. The research covers a variety of interactive technology methods: creating quests, pop quiz7zes, achievement systems, levels and rewards. Why it is necessary to use gamification in lessons, especially in online learning. The use of gamification allows you to make a boring, uninteresting learning process exciting and interesting, similar to a game. There is also an emotional component involved to enhance target behavior, engagement and better assimilation of educational material. The growing interest in gamification as one of the main tools in online learning has prompted many teachers to use gamification elements, turning the learning process into a creative process. Currently, it can be said that gamification is becoming an important tool for improving the effectiveness of online learning, making it more exciting, interactive and motivating for students, opening up new horizons for effective learning in an online environment. Based on data on increased motivation, improved learning outcomes and increased student engagement, it is concluded that there is a significant benefit of using gamification in the educational process.

Keywords: gamification, online learning, motivation, game.

FTAMP 28.23.37

DOI

*М. Н. Күмісбек¹, А. Н. Шормакова²

^{1,2}Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7940-2113>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1637-4643>

*e-mail: mali.kumisbek@gmail.com

ЗИЯНДЫ СПАМ-ХАБАРЛАМАЛАРЫН ТИІМДІ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Бұл мақалада логистикалық регрессия және TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) сияқты дәстүрлі машиналық оқыту әдістері мен BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) сияқты трансформер негізіндегі заманауи модельдердің тиімділігіне жан-жақты салыстырмалы талдау жүргізілді. Зерттеудің басты мақсаты – дәлдік (precision), сезімталдық (recall) және F1 көрсеткіші сияқты негізгі өнімділік метрикаларын бағалау және оларды трансформер модельдері негізінде одан әрі жақсартудың мүмкіндіктерін зерттеу. Сондай-ақ, қазақ тіліндегі деректерді өңдеген кезде трансформер модельдерін бейімдеу (fine-tuning) әдісінің маңыздылығына ерекше назар аударылады. Зерттеуде трансформерлік модельдердің аз ресурсты тілдер, соның ішінде қазақ тілі үшін бейімделу мүмкіндіктері мен тиімділігі егжей-тегжейлі талданды. Бұл талдауға деректер жиынын дайындау, токенизация ерекшеліктері және модельдерді бейімдеу процесінің шешуші рөлі секілді мәселелер кіреді. Әртүрлі деректер жиындарын пайдалана отырып, эксперименттік бағалау жүргізілді және әрбір әдістің түрлі шарттардағы тиімділігі анықталды. Жұмыста модель өнімділігіне әсер ететін нақты факторлар көрсетіліп, қазақ тілінің лингвистикалық ерекшеліктерін дәл анықтауда трансформер модельдерін бейімдеудің маңыздылығы аталып өтілді. Зерттеу нәтижелері көптілді спамды анықтау есептерінде трансформер модельдерін оңтайландыру бойынша құнды мәліметтер береді. Сонымен қатар, модельдердің сапалы жұмыс істеуіне әсер ететін

маңызды техникалар мен конфигурациялар айқындалды. Жүргізілген кешенді зерттеу нәтижелері қазақ тілі секілді аз зерттелген тілдер үшін табиғи тілді өңдеу мүмкіндіктерін дамытуға ұмтылатын зерттеушілер мен мамандарға бағыт-бағдар бере алады.

Кілтті сөздер: машиналық оқыту, гибриді әдіс, логистикалық регрессия, трансформер модельдері, TF-IDF, BERT, Бейімдеу (Fine-tuning), Спамды анықтау.

Кіріспе

Қазіргі уақытта интернет-технологиялардың қарқынды дамуы ақпараттық кеңістіктің ұлғаюына ықпал етіп қана қоймай, сонымен қатар ақпараттық қауіпсіздік мәселелерінің күрделенуіне әкелді. Осындай мәселелердің бірі – қажетсіз және зиянды хабарламалардың (спам) таралуы. Спам пайдаланушының рұқсатынсыз жіберілетін, әдетте жарнамалық немесе алаяқтық мақсаттағы хабарламалар болып табылады. Мұндай хабарламалар тек пайдаланушылардың жайлылығын бұзып қана қоймай, жеке ақпараттың құпиялығына да айтарлықтай қауіп төндіреді [1, 1-10-бб.].

Қазіргі таңда спамды анықтау үшін әртүрлі әдістер қолданылады. Дәстүрлі тәсілдер, оның ішінде логистикалық регрессия сияқты классикалық машиналық оқыту алгоритмдері мен TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) статистикалық талдау әдістері кеңінен зерттелген. Алайда, бұл әдістердің тиімділігі деректердің өзгермелілігі мен жаңа үлгілердің пайда болуына байланысты шектеулі болуы мүмкін. Сонымен қатар, аталған әдістер көбінесе алдын ала анықталған ережелерге немесе қолмен жасалған белгілерге негізделеді, бұл олардың жаңа спам түрлеріне тез бейімделу қабілетін төмендетеді.

Соңғы жылдары трансформерлік архитектураға негізделген үлкен тілдік модельдердің (LLM), оның ішінде Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) моделінің пайда болуы мәтін талдауы және жіктеу міндеттерінде айтарлықтай жетістіктерге әкелді. Берт және осыған ұқсас трансформерлік модельдер тілдік құрылымды тереңірек түсініп, мәтіннің семантикалық және контекстік ерекшеліктерін жақсы қамтиды. Осы себепті, трансформер модельдері көптілді деректер жиынында, әсіресе қазақ тіліндегі мәтіндерді өңдеу кезінде үлкен әлеуетке ие.

Дегенмен, трансформер модельдерінің жоғары нәтижелерге жетуі үшін оларды белгілі бір тілге және нақты міндетке бейімдеу (fine-tuning) процесі маңызды. Бұл әсіресе қазақ тілі сияқты ресурстары шектеулі тілдерде өзекті мәселе болып табылады. Трансформерлік модельдердің бастапқы параметрлерін бейімдеу және олардың тиімділігін арттыру жолдары әлі де жеткілікті зерттелмеген.

Осы жұмыста дәстүрлі машиналық оқыту әдістері (логистикалық регрессия + TF-IDF) және заманауи трансформер модельдері (BERT) қазақ және ағылшын тілдеріндегі спамды анықтау міндетінде салыстырмалы түрде зерттелді. Сонымен қатар, трансформер модельдерін қосымша бейімдеудің (fine-tuning) нәтижеге әсерін әрі қарай жақсартудың әлеуетті мүмкіндіктері қарастырылды. Бұл зерттеу нәтижелері ақпараттық қауіпсіздік саласындағы мамандар мен зерттеушілер үшін маңызды болып, спамды тиімді анықтау және алдын алудағы жаңа әдістерді әзірлеуге негіз бола алады.

Материалдар мен әдістері

Зерттеуде қолданылған әдістер екі негізгі топқа бөлінеді: дәстүрлі машиналық оқыту алгоритмдері және трансформерге негізделген модельдер. Зерттеу жұмысының басты мақсаты – мәтіндік деректерді талдауға негізделген спам хабарламаларды анықтаудың тиімді әдістерін бағалау, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін талдау.

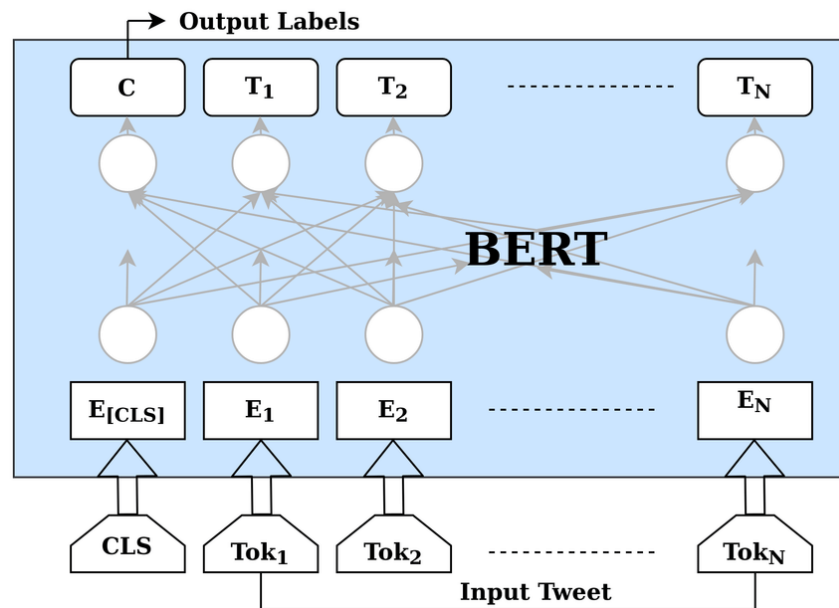
Дәстүрлі машиналық оқыту әдістерінің ішінде зерттеуде қолданылған негізгі алгоритмдерге тірек векторларының машинасы (Support Vector Machines – SVM), логистикалық регрессия (Logistic Regression), кездейсоқ орман әдісі (Random Forest), наивті Байес классификаторы (Naive Bayes) және шешімдер ағашы (Decision Tree) жатады. Бұл алгоритмдер деректерді векторлық кеңістікте көрсетудің классикалық әдісі – TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) көмегімен өңделген мәтіндік белгілер негізінде жұмыс істейді. TF-IDF әдісі сөздердің мәтіндегі маңыздылығын статистикалық есептеуге негізделген [2, 34-47-бб; 3, 30-31-бб.].

1-кесте – Дәстүрлі машиналық оқыту әдістерінің салыстырмалы талдауы

Әдістер	Артықшылықтар	Кемшіліктері
SVM + TF-IDF	Жоғары өлшемді мәтіндік деректермен тиімді жұмыс істейді, сызықты түрде ажыратылатын деректерді жақсы анықтайды.	Жоғары есептеу ресурстарын талап етеді және нәтижелерді интерпретациялау қиын; шулы деректерде тиімділігі төмендейді.
Логистикалық регрессия + TF-IDF	Жеңіл интерпретацияланады, жылдам оқытылады, мәтіндерді жіктеуде тұрақты нәтижелер береді.	Күрделі сызықты емес үлгілерді анықтауда әлсіз, теңгерімсіз немесе шулы деректерде сапасы төмендейді.
Кездейсоқ орман + TF-IDF	Үлкен деректер жиынында тиімді, артық бейімделуден (overfitting) қорғалған, күрделі үлгілерді жақсы анықтайды.	Оқыту процесінде көп есептеу ресурстарын қажет етеді, гиперпараметрлерді баптау нәтижелердің өзгеруіне алып келеді.

Наивті Байес + TF-IDF	Жылдам есептеледі, үлкен мәтіндік деректерді жіктеуге өте ыңғайлы, аз деректермен жақсы нәтиже көрсетеді.	Мәтіндік деректердегі белгілердің өзара тәуелсіздігі жайындағы болжам шындыққа сай келмейді; белгілер бір-біріне тәуелді болғанда сапасы төмендейді.
-----------------------	---	--

Трансформерге негізделген модельдер қатарында Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) модельдері қарастырылды. BERT – бұл терең нейрондық желі архитектурасы, ол мәтінді екі бағытта бір мезгілде талдайды және әрбір сөздің мәнін жақсы түсінуге мүмкіндік береді (1-сурет). Бұл модельдер алдын ала үйретілген трансформер архитектурасына негізделген және мәтіндік классификация, мәтіндерді талдау, эмоцияны анықтау секілді көптеген табиғи тілдерді өңдеу тапсырмаларында жоғары дәлдік көрсетеді.



1-сурет – BERT моделінің архитектурасы

1-суретте көрсетілгендей, BERT моделі сөздерге бөлінген мәтіндік деректерді «токендер» түрінде қабылдайды. Әр токен арнайы эмбеддингтерге түрлендіріліп, көп қабатты трансформер блоктары арқылы өңделеді. Әр блок көп назар механизмдері (multi-head attention mechanism) арқылы сөздер

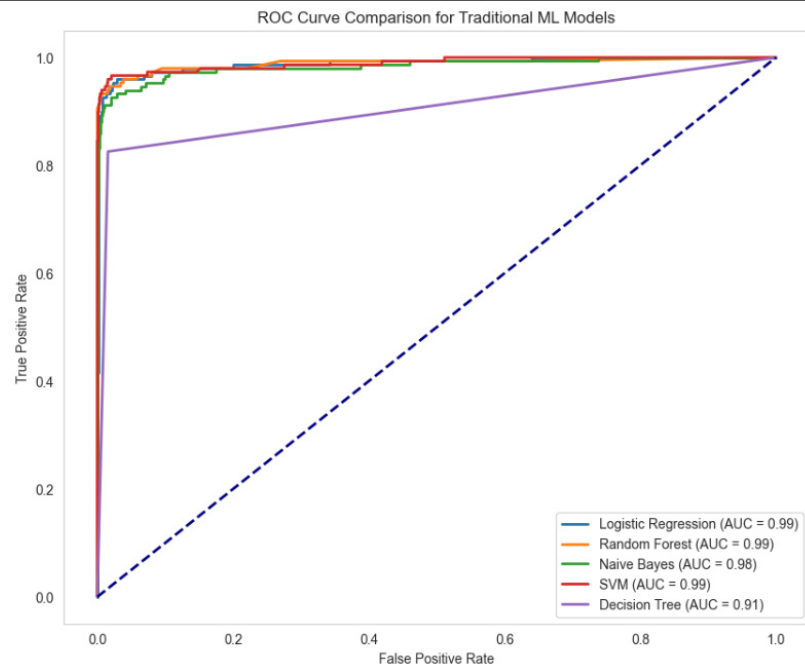
арасындағы семантикалық байланыстарды анықтайды, нәтижесінде мәтіннің мағыналық тұтас көрінісі қалыптасады. Классификациялау мақсатында [CLS] токенінің шығысы қолданылады, ол бүкіл кіріс мәтінінің жалпыланған семантикалық сипатын қамтиды.

Зерттеу барысында модельдердің тиімділігі стандартты метрикалар көмегімен бағаланды, оның ішінде дәлдік (precision), толықтық (recall), F1-score көрсеткіштері пайдаланылды. Барлық модельдердің жұмысы бірдей шарттарда, бірыңғай деректер жиынтығында тексерілді, бұл алынған нәтижелердің әділдігін қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, қазақ тіліндегі деректер жиынтығымен жұмыс істегенде модельдерді арнайы бейімдеу (fine-tuning) процесінің маңыздылығы ерекше атап өтіледі. Қазақ тілінің ерекшеліктеріне сәйкес алдын ала үйретілген модельдерді бейімдеу нәтижелердің сапасын елеулі жақсартуға мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау

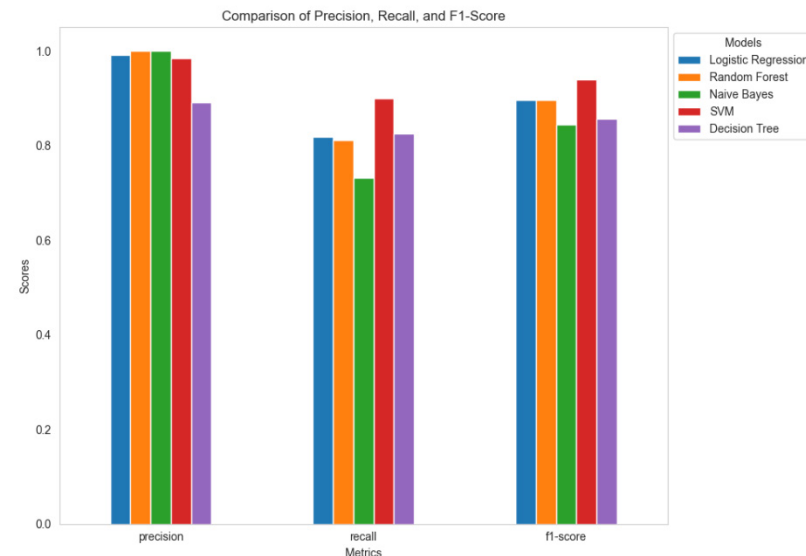
Зерттеу барысында спам-хабарламаларды анықтауда классикалық машиналық оқыту әдістерінің тиімділігіне талдау жүргізілді. Бұл әдістердің қатарына логистикалық регрессия (Logistic Regression), кездейсоқ орман (Random Forest), наивті Байес классификаторы (Naive Bayes), тірек векторлар машинасы (SVM) және шешім ағашы (Decision Tree) кіреді. Барлық модельдер Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) әдісімен өңделген мәтіндік деректер негізінде бағаланды [4, 12-13-66.].

Әдістердің өнімділігі ROC-көрсеткіштері арқылы салыстырылды. ROC-қисықтары нақты позитивтік көрсеткіштер (True Positive Rate, TPR) мен жалған позитивтік көрсеткіштер (False Positive Rate, FPR) арасындағы өзара байланысты анықтайды. Бұл бағалау тәсілі классификаторлардың жалпы дәлдігін ғана емес, сонымен қатар әрбір модельдің сезімталдығы мен спецификалығын бағалауға мүмкіндік береді. Сурет 1-де көрсетілгендей, логистикалық регрессия (AUC=0.99), кездейсоқ орман (AUC=0.99) және SVM (AUC=0.99) әдістері ең жоғары көрсеткіштерге ие болып, спамды анықтауда айтарлықтай жоғары дәлдік көрсетті. Бұл нәтижелер аталған әдістердің нақты деректерді тиімді ажырату қабілетінің жоғарылығын растайды. Сонымен қатар, наивті Байес (AUC=0.98) және шешім ағашы (AUC=0.91) әдістері салыстырмалы түрде төмен нәтиже көрсетті. Әсіресе шешім ағашы әдісінің төмен нәтижесі оның қарапайым құрылымы мен күрделі емес шешім қабылдау стратегиясына байланысты болуы мүмкін.



2-сурет – Дәстүрлі модельдер үшін ROC-қисық

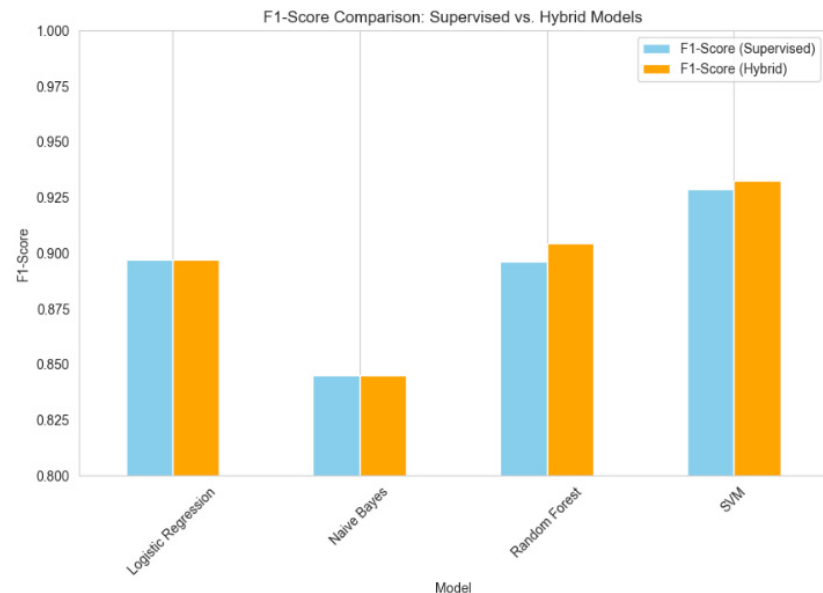
Нақтырақ талдау үшін модельдердің precision, recall және F1-score көрсеткіштері де есептелді (Сурет 2). Precision көрсеткіші модельдің анықтаған спам-хабарламалары арасында шын мәнінде қанша хабарлама спам екенін көрсетсе, recall көрсеткіші барлық шынайы спам-хабарламалардың қандай бөлігі анықталғанын сипаттайды. Ал F1-score осы екі көрсеткіштің үйлесімді орташа мәнін береді. Кездейсоқ орман және логистикалық регрессия модельдері жоғары precision және recall көрсеткіштерін қамтамасыз етті, бұл осы әдістердің нақты сценарийлерде сенімді екенін дәлелдейді. SVM әдісі precision көрсеткіші бойынша ең жоғары нәтиже көрсеткенімен, recall бойынша орташа көрсеткішке ие болды. Бұл SVM моделінің анықталған спамдар ішінде қателігі төмен болғанымен, кейбір шынайы спамдарды жіберіп алатындығын білдіреді. Наивті Байес және шешім ағашы әдістері барлық үш көрсеткіш бойынша тұрақты, бірақ салыстырмалы түрде төмен нәтижелер көрсетті, бұл модельдердің күрделі немесе жаңа спам үлгілерін анықтауда қиындықтары бар екенін растайды.



2-сурет – Дәстүрлі модельдердің дәлдік көрсеткіштері

Дәстүрлі машиналық оқыту модельдерінің көрсеткіштерін әрі қарай қалай жақсартуға болады деген сұрақ туындайды. Бұл мақсатта гибридік әдістер қолданылады, олардың негізінде қадағалаумен (supervised learning) және қадағалаусыз (unsupervised learning) оқыту тәсілдерін біріктіру жатыр. Осындай тәсіл модельдердің жіберіп алған жалған теріс нәтижелерін (false negatives) азайтуға мүмкіндік береді, әсіресе бастапқыда төмен көрсеткіштерді көрсеткен әдістер үшін.

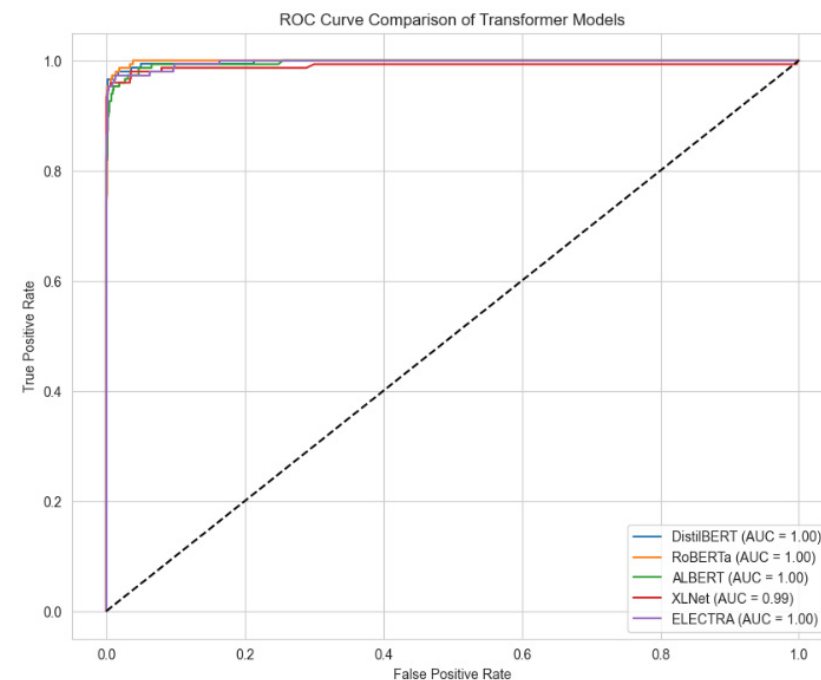
Гибридік әдісті іске асыру барысында біз автокодер (autoencoder) негізіндегі аномалияны анықтау алгоритмін қолдандық. Мұндай тәсіл модельдің дұрыс анықтай алмаған хабарламаларын (шекаралық жағдайлар) қайта бағалап, бастапқы модельдің нәтижесін жақсарту үшін пайдаланылады. Алынған нәтижелер 3-суретте келтірілген.



3-сурет – Дәстүрлі модельдердің гибриді тәсілдік көрсеткіштері

Суреттен байқалғандай, бастапқыда төмен көрсеткіштерге ие болған Random Forest және Naive Bayes әдістерінде гибридік тәсіл қолданғаннан кейін F1-Score көрсеткіштері жақсарғаны анық көрінеді. Бұл әдістердің деректердің ішіндегі күрделі құрылымдарды немесе ерекше жағдайларды дәлірек анықтай алатынын көрсетеді. Сонымен қатар, Logistic Regression және SVM модельдерінде гибридік тәсіл айтарлықтай жақсартулар әкелмеген, себебі бұл модельдердің бастапқы нәтижелері жоғары болды және олардың шекаралық жағдайлары аз болды.

Егер үлкен тілдік модельдерді қарастыратын болсақ (DistilBERT, RoBERTa, ALBERT, XLNet, ELECTRA), олар дәстүрлі машиналық оқыту әдістерімен салыстырғанда ең жақсы нәтижелерді көрсетеді. Себебі, трансформер негізіндегі модельдер мәтіннің контекстін тереңірек түсінеді, бұл өз кезегінде хабарламаларды нақтырақ жіктеуге мүмкіндік береді [5, 1-6-66; 6, 785-794-66.]. Мысалы, DistilBERT, RoBERTa және ELECTRA модельдері 1.00-ге тең AUC көрсеткішін көрсетті, бұл модельдердің жалған позитивті анықтау деңгейі өте төмен және классификациялау қабілеті жоғары екендігін дәлелдейді. XLNet модельінің AUC көрсеткіші 0.99 болды, бұл да өте жоғары нәтиже болып саналады.

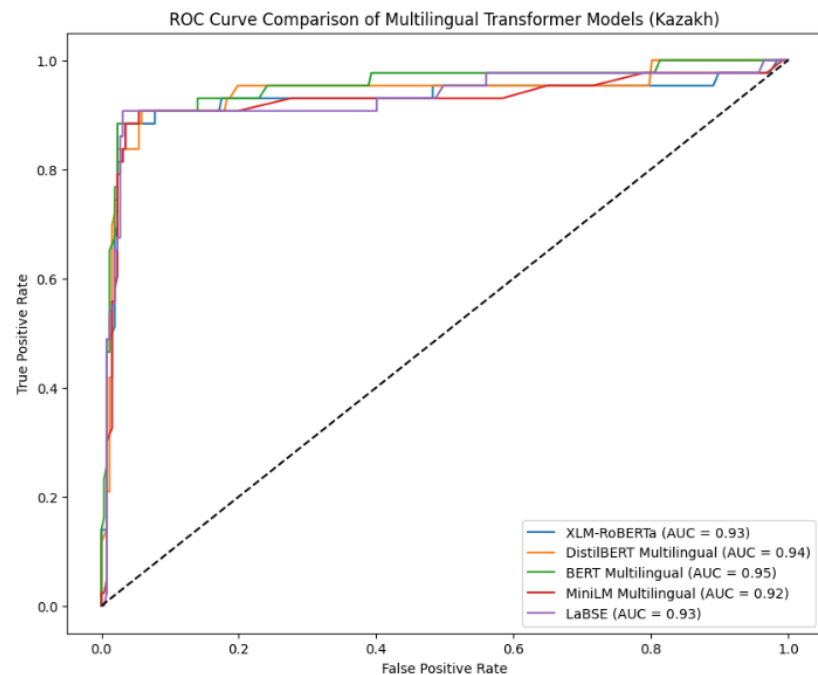


4-сурет – Үлкен тілдік модельдерінің ROC-қисығы

Сонымен қатар, дәлдік (precision), қайтарымдылық (recall) және F1-score метрикалары бойынша трансформерлер негізіндегі модельдер тұрақты жоғары көрсеткіштерге ие. Бұл модельдер мәтіндегі сөздердің өзара байланысын, олардың семантикалық мағынасын жақсырақ түсінуге мүмкіндік беретін көпқабатты назар аудару (attention) механизмдерін қолданады. Мұндай ерекшелік дәстүрлі әдістерде кездеспейді, себебі дәстүрлі машиналық оқыту әдістері (мысалы, Naive Bayes немесе Logistic Regression) сөздердің жиілігіне және қарапайым статистикалық заңдылықтарға сүйенеді. Сондықтан трансформер негізіндегі модельдердің артықшылығы мәтінді терең түсіну қабілетінде.

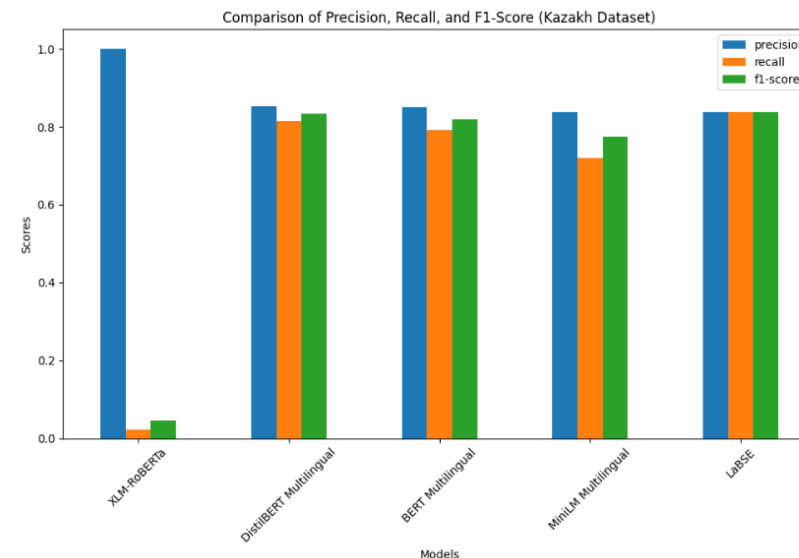
Қазақ тіліндегі зиянды спам-хабарлама деректер қорын қарастыратын болсақ, үлкен тіл модельдері келесідей нәтижелер көрсетті (Сурет 5, Сурет 6). Зерттелген модельдердің ішінде ең жоғары көрсеткіштерді BERT Multilingual (AUC = 0.95) моделі көрсетті. Сонымен қатар, DistilBERT Multilingual (AUC = 0.94) және LaBSE (AUC = 0.93) модельдері де жақсы нәтиже көрсетіп, қазақ тіліне бейімделу қабілетінің жоғары екенін дәлелдеді. Бұл модельдердің

жоғары нәтижелері көптілді тілдік модельдердің контекстті терең түсінуіне және қазақ тілінің лексикалық және синтаксистік ерекшеліктерін жақсы меңгеруіне байланысты [7, 4-6-бб; 8, 2-5-бб].



5-сурет – Үлкен тілдік модельдерінің қазақ тілін талдай білу қабілетінің ROC-қисығы

6-суретте көрсетілген Precision, Recall және F1-score көрсеткіштері бойынша салыстырмалы талдауға сәйкес, XLM-RoBERTa моделі Precision көрсеткішінде жоғары мәнге ие болғанымен, Recall және F1-score көрсеткіштерінде айтарлықтай төмен нәтижеге ие болды. Бұдан, модельдің жалған позитивті жағдайлардың аз екенін, бірақ позитивті жағдайларды анықтау қабілетінің төмен екенін аңғаруға болады.



6-сурет – Үлкен тілдік модельдерінің қазақ тіліндегі хабарламаларды талдаудағы дәлдік көрсеткіштері

Қалған модельдер, атап айтқанда BERT Multilingual, DistilBERT Multilingual, MiniLM Multilingual және LaBSE, барлық үш көрсеткіш бойынша теңгерімді және жоғары нәтижелер көрсетті. Бұл нәтижелер қазақ тіліндегі мәтіндерді жіктеу және спамды анықтау сияқты нақты тапсырмаларда осы модельдердің практикалық қолданылуын растайды.

Қорытындылай келе, алынған нәтижелер негізінде қазақ тіліндегі мәтіндерден спамды анықтау тапсырмасында үлкен тіл модельдері (LLM) дәстүрлі машиналық оқыту әдістерінен анағұрлым жоғары нәтиже көрсететіндігі анықталды. Әсіресе, көптілді BERT моделі қазақ тіліндегі деректерді талдау кезінде ең тиімді болып шықты. Бұл модель тек жақсы классификация көрсеткіштерін беріп қана қоймай, Precision, Recall және F1-score секілді маңызды метрикалар бойынша да тұрақты жоғары мәндерді көрсетті.

Сонымен қатар, қазақ тілінде жүргізілген тәжірибелер модельді арнайы бейімдеудің және fine-tuning әдісінің маңыздылығын көрсетті. Бұл тәсіл тілдік ерекшеліктерді ескеруге және мәтіндердің мағыналық контекстін дәлірек тануға мүмкіндік береді [9, 8-10-бб; 10, 2-3-бб.]. Осыған байланысты қазақ тіліндегі деректерді өңдеу кезінде алдын ала оқытылған көптілді

модельдерді қолдану және оларды нақты тапсырмалар үшін арнайы бейімдеу ең ұтымды шешім ретінде ұсынылады.

Алынған нәтижелер мен жасалған талдаулар қазақ тілі сияқты ресурстары шектеулі тілдер үшін үлкен тіл модельдерін қолданудың перспективалы екендігін көрсетеді. Мұндай модельдерді қолдану ақпараттық қауіпсіздікті нығайтуға, сонымен қатар тілдік кедергілерді жеңуге және табиғи тілді өңдеу тапсырмаларын тиімді шешуге ықпал етеді.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырды (Грант №. BR24993001 Қазақ тілін және технологиялық прогресті қолдау үшін үлкен тілдік модельді (LLM) құру).

Қорытынды

Бұл мақалада спамды тиімді анықтау үшін дәстүрлі машиналық оқыту әдістері мен үлкен тілдік модельдердің (LLM) жан-жақты салыстырмалы талдауы ұсынылды. Жүргізілген тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде келесі негізгі қорытындылар жасалды.

Біріншіден, алынған нәтижелер трансформер негізіндегі модельдердің дәстүрлі машиналық оқыту әдістерінен едәуір жоғары екенін көрсетті. Әсіресе BERT және DistilBERT модельдері қазақ тіліндегі мәтіндерді өңдеуде ең жақсы көрсеткіштерге қол жеткізді. Бұл трансформерлердің мәтіндік деректерді контекстік тұрғыда тереңірек талдай алу қабілетін және семантикалық байланыстарды жақсырақ тану мүмкіндігін дәлелдейді.

Екіншіден, дәстүрлі машиналық оқыту әдістерін гибридік тәсілдер арқылы жақсарту мүмкіндігі зерттелді. Бұл тәсіл кейбір классикалық модельдерде, әсіресе бастапқыда төмен нәтиже көрсеткен модельдер үшін F1 көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік берді. Дегенмен, гибридік тәсілдің жалпы жақсаруы шектеулі болып шықты және бастапқыда жоғары нәтиже көрсеткен модельдерге айтарлықтай әсер етпеді.

Үшіншіден, қазақ тілі сияқты ресурстары аз тілдер үшін көптілді үлкен тіл модельдерін (LaBSE, MiniLM, XLM-RoBERTa) арнайы бейімдеудің (fine-tuning) маңыздылығы көрсетілді. Нақты тілдік ерекшеліктерге бейімделген модельдер спамды анықтауда жоғарырақ дәлдік пен сенімділікті қамтамасыз етті, бұл қазақ тіліндегі мәтіндерді тиімді өңдеу үшін көптілді модельдерді міндетті түрде бейімдеу қажет екенін дәлелдейді.

Қорыта айтқанда, трансформер негізіндегі көптілді модельдерді пайдалану және оларды арнайы бейімдеу қазақ тіліндегі мәтіндік деректерді талдауда дәстүрлі машиналық оқыту әдістерінен айқын басымдыққа ие. Бұл тәсіл ақпараттық қауіпсіздікті нығайту мен спамға қарсы жүйелердің тиімділігін арттыру үшін перспективалы бағыт болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Скляренко, Н. С.** Обзор алгоритмов машинного обучения, решающих задачу обнаружения спама // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2017. – С. 1–10.

2 **Абдуракипов, С. С., Бутаков, Е. Б.** Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения для определения предостказных и аварийных состояний авиадвигателей // Автометрия. – 2020. – Т. 56, № 6. – С. 34–47.

3 **Платонов, Р., Руденко, К.** Выявление и классификация токсичных высказываний методами машинного обучения // Математические методы в психологии. – 2022.

4 **Janez-Martino, F., Alaiz-Rodriguez, R., Gonzalez-Castro, V., Fidalgo, E., Alegre, E.** Classifying spam emails using agglomerative hierarchical clustering and a topic-based approach. – arXiv preprint arXiv:2402.05296, 2024.

5 **Shahbaz, M., Guergachi, A., Khushi, M.** A Comparative Study of Machine Learning Models for Spam Email Detection // Proceedings of the 2021 International Conference on Data Science and Machine Learning. – 2021. – С. 1–6.

6 **Chen, T., Guestrin, C.** XGBoost : A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – С. 785–794.

7 **Dorogush, A. V., Ershov, V., Gulin, A.** CatBoost: gradient boosting with categorical features support // arXiv preprint arXiv:1810.11363. – 2018.

8 **Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K., Toutanova, K.** BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // arXiv preprint arXiv:1810.04805. – 2018.

9 **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. – 2017. – С. 8–10.

10 **Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J.** Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // arXiv preprint arXiv:1301.3781. – 2013.

REFERENCES

1 **Sklyarenko, N. S.** Obzor algoritmov mashinnogo obucheniya, reshayushchikh zadachu obnaruzheniya spama [Review of Machine Learning Algorithms for Spam Detection Tasks]. Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh, 2017, P. 1–10.

2 **Abdurakipov, S. S., Butakov, E. B.** Sravnitel'nyy analiz algoritmov mashinnogo obucheniya dlya opredeleniya predotkaznykh i avariynykh sostoyaniy aviadvigateley [Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms

for Predicting Pre-failure and Emergency Conditions of Aircraft Engines]. Avtometriya, 2020, vol. 56, no. 6, pp. 34–47.

3 **Platonov, R., Rudenko, K.** Vyyavleniye i klassifikatsiya toksichnykh vyskazyvaniy metodami mashinnogo obucheniya [Detection and Classification of Toxic Expressions Using Machine Learning Methods]. Matematicheskiye metody v psikhologii, 2022.

4 **Janez-Martino, F., Alaiz-Rodriguez, R., Gonzalez-Castro, V., Fidalgo, E., Alegre, E.** Classifying spam emails using agglomerative hierarchical clustering and a topic-based approach. arXiv preprint arXiv:2402.05296, 2024.

5 **Shahbaz, M., Guergachi, A., Khushi, M.** A Comparative Study of Machine Learning Models for Spam Email Detection. Proceedings of the 2021 International Conference on Data Science and Machine Learning, 2021, P. 1–6.

6 **Chen, T., Guestrin, C.** XGBoost : A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, P. 785–794.

7 **Dorogush, A. V., Ershov, V., Gulin, A.** CatBoost: gradient boosting with categorical features support. arXiv preprint arXiv:1810.11363, 2018.

8 **Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K., Toutanova, K.** BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.

9 **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, 2017, P. 8–10.

10 **Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J.** Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. arXiv preprint arXiv:1301.3781, 2013.

***М. Н. Кумисбек¹, А. Н. Шормакова²**

^{1,2}Казахский национальный университет
имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДОНОСНЫХ СПАМ-СООБЩЕНИЙ

В данной статье проведён комплексный сравнительный анализ эффективности традиционных методов машинного обучения, таких как логистическая регрессия и TF-IDF (частотность термина — обратная частотность документа), а также современных моделей на основе трансформеров, таких как BERT (двунаправленное

кодирование представлений от трансформеров). Основная цель исследования – оценить ключевые показатели производительности моделей, такие как точность (precision), полнота (recall) и F1-мера, а также изучить возможности дальнейшего улучшения этих показателей с использованием трансформерных моделей. Особое внимание уделяется важности метода тонкой настройки (fine-tuning) трансформерных моделей при обработке данных на казахском языке. В работе детально исследованы возможности и эффективность адаптации трансформерных моделей для языков с ограниченными ресурсами, в частности казахского языка. Анализ охватывает вопросы подготовки наборов данных, особенности токенизации и решающую роль процесса тонкой настройки моделей. Проведена экспериментальная оценка с использованием различных наборов данных, в ходе которой определена эффективность каждого метода в различных условиях. В исследовании выделены конкретные факторы, влияющие на производительность моделей, и подчеркнута важность тонкой настройки трансформерных моделей для точного распознавания лингвистических особенностей казахского языка. Полученные результаты дают ценные сведения для оптимизации трансформерных моделей в задачах многоязычного распознавания спама, а также выявлены ключевые техники и конфигурации, влияющие на качество работы моделей. Представленные итоги исследования могут служить ориентиром для исследователей и специалистов, стремящихся улучшить возможности обработки естественного языка для малоисследованных языков, таких как казахский.

Ключевые слова: машинное обучение, гибридный подход, логистическая регрессия, трансформерные модели, TF-IDF, BERT, тонкая настройка (Fine-tuning), обнаружение спама.

***M. N. Kumisbek¹, A. N. Shormakova²**

^{1,2}Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

RESEARCH AND COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR EFFECTIVE DETECTION OF MALICIOUS SPAM MESSAGES

This article presents a comprehensive comparative analysis of traditional machine learning methods, such as Logistic Regression and TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency), alongside advanced transformer-based models like BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) for efficient spam detection. The main goal of this research is to evaluate key performance metrics including precision, recall, and F1-score, and to explore potential improvements of these metrics through transformer models. Particular attention is given to the significance of fine-tuning transformer models, especially when processing Kazakh-language datasets. The study thoroughly analyzes the adaptability and effectiveness of transformer models for low-resource languages, particularly Kazakh. Issues covered include dataset preparation, tokenization specifics, and the crucial role of model fine-tuning. An experimental evaluation was conducted using diverse datasets to determine the effectiveness of each method under various conditions. Specific factors influencing model performance were identified, emphasizing the importance of fine-tuning transformer models to accurately capture linguistic features of the Kazakh language. The findings provide valuable insights for optimizing transformer models for multilingual spam detection tasks, highlighting essential techniques and configurations that significantly influence model performance. The results of this study can guide researchers and practitioners aiming to enhance natural language processing capabilities for underrepresented languages such as Kazakh.

Keywords: machine learning, hybrid approach, logistic regression, transformer models, TF-IDF, BERT, Fine-tuning, spam detection.

FTAMP 20.01.45

***Л. М. Кыдыралина¹, Ш. Р. Ринамова²**

^{1,2}Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ.,

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-0919>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9102-2696>

e-mail: lazat_75@mail.ru

«КЕҢЕЙТІЛГЕН ШЫҢДЫҚТЫ ОҚУ ПРОЦЕСІНДЕ ҚОЛДАНУ» ТАҚЫРЫБЫНА ТАЛДАУ ЖӘНЕ ШОЛУ

Мақалада «кеңейтілген шындықты оқу процесінде қолдану» тақырыбына талдау және шолу жасалған. Кеңейтілген және виртуалды шындық цифрлық құрылғылар мен бағдарламалар арқылы жасалған объектілер арқылы адам өмірінің физикалық кеңістігін кеңейтуге бағытталған жылдам дамып келе жатқан технологиялар деген тұжырым қалыптасқан. Сондықтан, кеңейтілген шындық Augmented Reality (AR) пен виртуалды шындықтың (VR) ерекшеліктері салыстырылып, олардың білім беру саласындағы қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. AR пайдаланушыларға нақты ортада енгізілген виртуалды нысандарды көруге және олармен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді. Талдау және шолу кезінде төрт ғалымның зерттеу жұмыстары қарастырылған, атап айтқанда, А.Новикова, И.Минина, Ю. Ю. Дюличева, С. С. Аверьянова. Авторлар кеңейтілген шындықтың білім беру процесінде оқушылардың материалды қабылдауын жақсартып, оқу үдерісін көрнекі және интерактивті етуге ықпал ететінін атап көрсетеді. Зерттеу жұмыстарында AR технологиясының болашағы мен оның білім беру саласына ықпалы жан-жақты қарастырылып, осы бағыттағы даму перспективалары талданады. Қарастырылған жұмыстарда AR технологиясының басты ерекшеліктері ретінде нақты және виртуалды әлемнің үйлесімділігі, интерактивтілік, сондай-ақ объектілердің үш өлшемді көрінісі атап өтіледі. Сонымен қатар, AR технологиясының ғылыми, медициналық және инженерлік білім беру салаларында да үлкен әлеуетке ие екендігі атап өтіледі.

Кілтті сөздер: кеңейтілген шындық, виртуалды шындық, шындық технологиялары, қосымшалар, оқу процесі.

Кіріспе

Білім беру саласындағы кеңейтілген шындық технологиялары студенттер мен мұғалімдер үшін мүлде жаңа мүмкіндіктерді ашады. Олар күрделі және дерексіз ұғымдарды визуализациялауға арналған бірегей құралдарды ұсынады, бұл оларды әлдеқайда түсінікті және үйренуді жеңілдетеді.

Студенттер ақпаратты есте сақтау ғана емес, сонымен қатар оны өз алдынан көру мүмкіндігіне ие болады, бұл оқу процесін жеңілдетеді және материалды жақсы түсінуге көмектеседі. Білім берудегі бұл тәсіл жаңа перспективаларды ашады және мұғалімдерге оқушыларды оқытудың тиімді құралдарын ұсынады.

Білім беру саласындағы кеңейтілген шындық технологиялары интерактивті және иммерсивті оқу материалдарын жасау үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Олардың көмегімен студенттер өздерінің алдында тұрған виртуалды нысандармен әрекеттесу мүмкіндігіне ие болады.

Бұл оқу үдерісін қызықты әрі тартымды етіп қана қоймайды, сонымен қатар көрнекі және практикалық оқытудың тиімді үйлесімі арқылы жақсы оқуға ықпал етеді. Оқушылар үш өлшемді модельдерді көріп, қолмен ұстай алады, бұл материалды түсіну және есте сақтау процесін айтарлықтай жақсартады.

Мектеп оқушыларының оқу процесінде кеңейтілген шындық (AR) элементтерін қолданудың тиімділігін талдау және бағалау. Зерттеу барысында AR технологиясының білім беру үдерісіне ықпалын анықтау және оны енгізу бойынша ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеу қарастырылады.

Материалдар мен әдістері

А.Новикованың «Мектеп оқушыларына математика мен информатиканы оқыту процесінде кеңейтілген шындық элементтерін пайдалану» [1, 6-б.] атты зерттеу жұмысында «кеңейтілген шындықтың» шығу тарихы көрсетілген, атап айтқанда, «кеңейтілген шындық технологиясының алғашқы зерттеушісі - Иван Сазерленд, ол өзінің студенті Боб Спрулмен бірге 1968 жылы «Дамокл қылышы» деп аталатын құрылғыны жасай алды, осылайша, виртуалды ортаны физикалық ортаға айналдыра алатын жобалау мүмкіндігі бар ақпаратты көрсету жүйесін жасады» деп жазады. Автор «кеңейтілген шындықтың алғашқы кең тарауы ғарышта радарлар мен камераларды қолдану болды» деп көрсетеді және «Кеңейтілген шындық» терминінің даму тарихы туралы мәліметтер қарастырылған. Атап айтқанда, 1990 жылдан бері қолданыла бастаған авторы «Боинг» авиакомпаниясының зерттеу инженері Том Коделлге тиесілі деп санайды. Том Коделл бұл терминді бас киімге орнатылған цифрлық дисплейге қолданды, ол жұмысшыларға салынып

жатқан ұшақтың электр сымдарын құрастыру кезінде басшылық жасауға көмектесті.

И. Минина Nsportal.ru[2, 4-б.] зерттеуінде 80-90 жылдардың басында Джарон Ланье «виртуалды шындық» (Virtual Reality – VR) терминін ұсынады және оның тұжырымдамасын жасаған деп атап өтеді. Бірақ көп ұзамай Boeing корпорациясының ғалымдары Томас П. Коделл, ол үшін теориялық және практикалық базасы берілген «кеңейтілген шындық» (Augmented Reality – AR) ұғымын енгізгені туралы жазады.

Ю. Ю. Дюличеваның «Применение технологии дополненной реальности для повышения эффективности преподавания» [3, 1-б.] атты 2020 жылы жарық көрген мақаласында кеңейтілген шындық технологиясын оқытуда қолданудың келешегі сондай-ақ маңызды алғашқы зерттеушілерінің бірі – 1990 жылы Boeing зерттеушілері Т.П.Коделл мен Д.Мизелл ұсынған бас киімге орнатылған нысананы белгілеу және ұшуды көрсету жүйесі деп жазып, атап кеткен. Сонымен қатар, мақалада 1997 жылы Р. Т. Азума кеңейтілген шындықты виртуалды кескіндерді нақты ортамен біріктіретін жаңа технология ретінде қарастыруды ұсынғанын атап өтеді. Ал, Новикованың жұмысында зерттеуші Рональд Азума 1997 жылы кеңейтілген шындықты жүйе деп қарастырған, атап айтқанда:

- виртуалды және нақтыны біріктіретін;
- нақты уақыт режимінде өзара әрекеттесетін;
- үш өлшемді кеңістікте орналасатын.

И. Минина[2, 4-б.] Nsportal.ru білім беру әлеуметтік желісіндегі «Мектеп оқушыларының оқу процесінде пайдалану үшін кеңейтілген шындық элементтерін әзірлеу» атты еңбегінде кеңейтілген шындық - бұл виртуалды ортаның вариациясы(өзгеруі), оның басты айырмашылығы - виртуалды әлемге ішінара ену деп атап өткен. Сонымен қатар, пайдаланушыны синтетикалық, жасанды жасалған ортаға толығымен енгізетін виртуалды шынайылық технологиясына қарағанда, пайдаланушы виртуалды объектілер енгізілген әлемнің нақты бейнесін көре алатыны туралы жазған. Атап айтқанда, автор AR шындықты толығымен алмастырмайды, тек қана толықтырады – делінген. Мақалада кеңейтілген шынайылықтың негізгі белгілері деп нақты және виртуалды әлемнің үйлесімін(комбинациясын); интерактивтілікті; объектілердің үш өлшемді көрінісін атап өткен.

Ал, Ю. Ю. Дюличева [3, 1-б.] мақаласында кеңейтілген шындықты басқаша көзқараспен қарастыра отырып, төмендегідей анықтама береді: толқытырылған шындық (AR) - адам мен компьютердің өзара әрекеттесуіне жаңа көзқараспен қарауға мүмкіндік беретін инновациялық технологиялардың бірі деген тұжырымға тоқталады. Атап айтқанда, бұл цифрлық ақпарат қабаттарын қосу арқылы физикалық әлемді кеңейтетін

технология деп айтады. Виртуалды шындықтан айырмашылығы, кеңейтілген шындық нақты ортаны виртуалдымен толығымен ауыстыру үшін жасанды орталарды жасамайды, бірақ нақты ортаны шынайы 3D модельдермен және нақты әлемнің көзге көрінбейтін күрделі объектілері мен құбылыстарын түсіндіре алатын басқа мазмұнмен кеңейтеді (толықтырады).

С. С. Аверьянова, И. А. Прохорова авторлардың «Кеңейтілген шындық: білім беруде қолдану және болашағы» [4, 1-б.] мақаласында кеңейтілген (Augmented Reality – AR) және виртуалды (Virtual Reality – VR) шындық – цифрлық құрылғылар мен бағдарламалар арқылы жасалған объектілер арқылы адам өмірінің физикалық кеңістігін кеңейтуге бағытталған жылдам дамып келе жатқан технологиялар деген тұжырым жасалады. Жоғарыда қарастырылып өткен мақалалармен салыстырғанда, бұл жұмыста, кеңейтілген шындық анықтамасын беру үшін, оны виртуалды шындықпен салыстырып, айырмашылығын көрсеткен, сонда VR-мен салыстырғанда AR интерфейстері пайдаланушыларға нақты әлемде енгізілген виртуалды нысандарды көруге және оларды нақты уақытта басқаруға мүмкіндік береді делінген. Нақты айтқанда, кеңейтілген шындық – бұл шындық пен виртуалды орта арасындағы аралық деген тұжырым жасалады.

Мақалада зерттеу тақырыбына талдау және шолу жасау кезінде аналитикалық әдіс және салыстырмалы әдіс, индукция әдістері қолданылды.

Ю. Ю. Дюличеваның «Применение технологии дополненной реальности для повышения эффективности преподавания» [3, 2-б.; 5, 26-б.] атты 2020 жылы жарық көрген мақаласында да А.Новикова, И.Минина атап көрсеткендей кеңейтілген шындық технологиясын оқытуда қолданудың келешегі сондай-ақ маңызды алғашқы зерттеушілерінің бірі – 1990 жылы Boeing зерттеушілері Т.П.Коделл мен Д.Мизелл ұсынған бас киімге орнатылған нысананы белгілеу және ұшуды көрсету жүйесі деп жазып, атап кеткен.

И. Мининаның [2, 4-б.] зерттеу жұмысында кеңейтілген шындық қосымшалары жоғарыда көрсетілгендей үш топқа жіктелген. Ал А. Новикованың [1, 7-б.; 6, 13-б.] зерттеу жұмысында да кеңейтілген шындық қосымшаларының жіктеу бойынша осы үш топ қарастырылған.

С. С. Аверьянова, И. А. Прохорова [4, 1-б.] мақаласында да А. Новикова [1, 5-6-б.] атап кеткендей кеңейтілген шындық - цифрлық контентті нақты объектілерге қоюға мүмкіндік беретін интерактивті технология. Цифрлық контент: компьютерлік графика, мәтіндік ақпарат, электрондық сілтемелер, бейнелер және 3D нысандары болуы мүмкін екенін айтады.

Нәтижелер және талқылау

И.Мининаның [2, 5-6-б.] зерттеу жұмысында кеңейтілген шындық қосымшалары үш топқа жіктелген:

Тұтынушымен өзара әрекеттесу тұрғысынан кеңейтілген шындықты пайдаланатын интерфейстерді келесі топтарға бөлген: автономдық; интерактивті.

Ұтқырлық дәрежесі бойынша келесі кеңейтілген шындық жүйелерін бөліп қарастырған: стационарлық; мобильді.

Тұтынушы үшін іске асырылатын функционалдық құндылыққа сәйкес кеңейтілген шындық қосымшаларын келесі бес бағытына тоқталған: көзбен шолып іздеу(визуалды); тану; адам 2.0; экран-айна/линза; контекстік тапсырмалар бойынша өнімді визуализациялау.

А. Новикованың [1, 14-15-б.] зерттеу жұмысында да кеңейтілген шындық қосымшаларының жіктеу бойынша осы үш топ қарастырылған.

И.Минина [2, 6-7-б.] өз жұмысында кеңейтілген шындық технологиялары көптеген салаларда сәтті қолданылатынын атап айтқан. Мысалы, ойын-сауық индустриясы кеңейтілген шындық үшін ең ірі тауашалардың бірі болып табылатынын атап өтіп отыр. WOW-әсері AR-ды event-индустрияда, кинематографияда, шоуда және т.б. пайдалануға итермелейді. Осы ойдың негізінде, кеңейтілген шындықты пайдалану аудитория мен кейіпкерлер арасындағы байланысты нығайтады деген тұжырым жасайды. Одан бөлек, маркетингтік және жарнамалық бизнес сатылымдарды арттыруға көмектесетін және қоғамдық резонанс тудыратын ойын-сауық құндылығына байланысты кеңейтілген шындық технологияларын пайдаланады. AR функцияларымен витриналар, промо-стендтер және интерактивті алаңдар жабдықталады. Бизнес-логистика да AR-ді тиімділікті арттыру және шығындарды үнемдеу үшін пайдаланылатыны туралы айтып өткен. Ол маршрутты тасымалдауды, сақтауды және оңтайландыруды қамтиды дейді.

Сәулет және құрылыс кеңейтілген шындықты мобильдік құрылғыларды пайдалана отырып, қолданыстағы кеңістікте ұсынылған жобаның 3D-модельдерін орналастыру үшін пайдаланатынын айтады.

Осылайша, AR қосымшалары, гарнитуралар және смарт көзілдірік көптеген салада жұмыс тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретіні айқын. Көптеген жобалар әлі де әзірлеу және сынақтан өту сатысында болса да, кеңейтілген шындықты пайдалану қазірдің өзінде өміріміздің бір бөлігіне айналууда.

Ал А.Новикованың [1, 5-б.; 7, 34-б.] біліктілік жұмысында кеңейтілген шындық деп нақты физикалық әлемді нақты уақыт режимінде цифрлық деректермен толықтыратын орта – деп, атап өтеді, яғни бұл айналамыздағы ақиқат виртуалды объектілермен толықтырылатын жүйелер, олардың ролінде мәтіндер, фотосуреттер, 3D форматындағы графикалық объектілер, дыбыстар, бейнелер, сайттарға сілтемелер болуы мүмкін екенін айтады.

С. С. Аверьянова, И. А. Прохорова[4, 1-2-б.] мақаласында қойылған виртуалды нысандар цифрлық құрылғылармен: смартфондар, планшеттік компьютерлер, мультимедиялық көзілдіріктер немесе виртуалды шындық бас киімі және арнайы бағдарламалық өнімдермен оқылады деп жазып кетеді.

Бұл жерде виртуалды объект деп виртуалды әлемнің материалдық емес объектісін түсіну керектігін қарастырған, виртуалды объект осы объектіні модельдейтін және оның сыртқы түрін қалыптастыратын компьютерлік бағдарламаны қамтиды. Нақты объект деп физикалық түрде бар объектіні меңзеген. А.Новикова[1, 5-6-б.] жұмысында кеңейтілген шындық технологиясының жұмыс істеу принципі нақты уақыт режимінде кейбір виртуалды нысанды (3D модельдер, графика, мәтін, аудио, бейне, сілтемелер және т.б.) қоршаған әлемдегі нақты объектіге қою механизмі болып табылатынын көрсеткен. Бұл саладағы зерттеулердің бағыты – Augmented Reality(AR) (кеңейтілген шындық) терминімен белгілеген. Кейбір дереккөздерінде «толықтырылған шындық» атауымен де қолданылады.

Автордың мақаласында білімді - шындық технологиясын қолданудың ең перспективалы бағыттарының бірі ретінде қарастырған және оған сипаттама берген. Сонымен қатар, мақалада AR технологиясы студенттерге кеңейтілген шындық объектілерін басқаруға, оларды жылжытуға, айналдыруға, масштабты өзгертуге, оларды әртүрлі қырынан қарауға мүмкіндік береді - бұл кеңістіктік ойлаудың дамуына үлкен серпін береді, оларға зерттелетін пәнді толық және тереңірек қабылдауға мүмкіндік беретінін атап өткен.

Автор «Кеңейтілген шындық» және «виртуалды шындық» терминдерінің арасындағы айырмашылықты анықтап алу керектігін айтады. Айырмашылығына тоқталсақ: виртуалды шындық – ақпараттық және бағдарламалық құралдар көмегімен жасалған жасанды кеңістік болса, кеңейтілген шындықты пайдаланушының жасанды әлемде болуының елесін, оның осы әлемнің объектілерімен және объектілерімен өзара әрекеттесуін жасайтын имитацияланған шындық ретінде қарастырады. Тіпті бастапқы кезеңде виртуалды шындыққа қарсы AR термині қолданылды дейді. Ал AR мақсаты пайдаланушыны синтезделген, толық ақпараттық ортаға батырудың орнына, нақты әлемді қосымша ақпаратты өңдеу мүмкіндігімен кеңейту болып табылады дейді.

А. Новикова[1, 12-13-б.] және Ю.Дюличева[3, 2-б.] жұмысында қазіргі уақытта кеңейтілген шындық технологиясын дамытудың үш негізгі бағытымен қосымшалар шығаруға болатынын айтады, олар:

1. «Маркерсіз» AR технологиясы – арнайы тану алгоритмдері арқылы жұмыс істейтін, мұнда виртуалды «тор» камера түсірген қоршаған ландшафтқа орналастырылатынын айтады. Бұл технологияның артықшылығы ретінде,

нақты дүние объектілерінің өзі маркерлер болып табылатынын, яғни, арнайы визуалды идентификаторларды жасаудың қажеті жоқ екенін атап өтеді.

2. Маркерлерге негізделген AR технологиясы – ол арнайы маркерлер немесе тегтер негізінде жұмыс істейді, олар ыңғайлы, себебі оларды камера оңай танып, маркер виртуалды объектілерді кейіннен көрсету үшін арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы орналасқан және талданатын, қоршаған кеңістікте орналасқан объект ретінде түсінілетінін меңзейді.

3. «Кеңістіктік» технология – объектінің кеңістікте орналасуына негізделген технология болып табылатынын атап өтеді.

Сонымен қатар, А.Новикова[1, 13-14-б.; 8, 252-253-б.] жұмысында кеңейтілген шындық жүйелерінің классификациялары қарастырылған, атап айтқанда, ақпаратты ұсыну түріне қарай келесі жүйелерді ажыратуға болатынын көрсетеді:

1. Визуалды. Бұл жүйелер адамның көрнекі қабылдауына негізделгенін айтады. Мұндай жүйелердің мақсаты - адам өз мақсатына жету үшін пайдалана алатын бейнені жасайтынын атайды. Жүйенің бұл түрі адамның қабылдау ерекшеліктеріне байланысты жиі кездеседі - бейне адам үшін неғұрлым ақпаратты және түсінікті болып келеді.

2. Аудио. Бұл түрдегі жүйелер есту арқылы қабылдауға негізделген. Әдетте, бұл жүйелер навигаторлар ретінде пайдаланылады.

3. Аудиовизуалды. Бұл жүйелер алдыңғы екі түрдің қосындысы болып табылады, бірақ олардағы дыбыстық ақпарат көмекші сипатта болатынын атап айтады.

Жоғарыда қарастырылған зерттеу жұмыстарына талдау және шолу жасай отырып, Ю.Дюличеваның[3, 2-б.; 9, 156-б.] мақаласындағы кеңейтілген шындық технологиясын үш тұрғыдан қарастырғанын ерекше айтып өтуге болады. Яғни, автор шындық технологиясын физикалық, когнитивтік, контекстік тұрғыдан қарастырған.

Физикалық тұрғыдан алғанда, кеңейтілген шындық студенттерге осы процестер мен құбылыстармен табиғи әрекеттесу арқылы физикалық процестер мен құбылыстар туралы идеяларды елестетуге көмектеседі; когнитивтік тұрғыдан алғанда, кеңейтілген шындық ақпаратты символдық қабылдауға ықпал етеді, бұл абстрактілі ұғымдарды түсінуді жақсартуға әкеледі; контекстік өлшем тұрғысынан кеңейтілген шындық виртуалды мазмұнды жасау кезінде басқа студенттермен өзара әрекеттесу арқылы жеке маңызды тәжірибе алуға көмектеседі.

Ал, шындық технологиясының қолжетімділік мәселесін С. С. Аверьянова[4, 2-б.] смартфондар мен планшеттерде AR қосымшаларын қолдану мүмкіндігімен және оның тез өсуіне ықпал ететініне сенімді.

Қарастырылған жұмыстардан өзгешелігі мақалада AR технологиясын білім беру мақсатында қолданудың бірнеше артықшылықтарын атап өткен:

- мобильді құрылғының жеңілдігі, тасымалдануы және салыстырмалы түрде төмен бағасы, кез келген цифрлық құрылғыдан үйрену мүмкіндігі;
 - білім мазмұнының қысқалығы мен түсініктілігі;
 - ақпараттық оқытудан нақты уақыт режимінде білім беру мазмұнымен интерактивті өзара әрекеттесуге көшу;
 - тәжірибеге бағытталған оқыту;
 - жеке оқыту – әрбір студент өзінің немесе оқу орны ұсынған гаджетті пайдаланады;
 - қоршаған әлемде болып жатқан процестер туралы идеяларды кеңейту, типтік емес оқу тапсырмаларын модельдеу мүмкіндіктерін кеңейту;
 - өмір мен денсаулыққа қауіп төндірмей, стандартты зертханалық жабдықты қолданбай ғылыми тәжірибелер мен эксперименттер жүргізу, техникалық құрылғыларды және т.б., әртүрлі процестер мен құбылыстарды зерттеу;
 - сезім мүшелері арқылы қабылданатын оқу ортасын құру, оқу процесіне тарту арқылы оқушылардың ынтасы мен қызығушылығын арттыру;
 - жас ерекшеліктеріне байланысты шектеулер жоқ, кәсіби қайта даярлауда пайдалану мүмкіндігі.
- Одан бөлек, AR технологиясын білім беру мақсатында қолдану да бірқатар шектеулерге ие екенін атап өтеді, мысалы:
- кейбір студенттерде ұялы телефондары мен планшеттерінің болмауы;
 - цифрлық құрылғылардың техникалық шектеулері: мобильді құрылғылардың шағын экрандары, батареяның тез бітуі және т.б.;
 - IT құрылғыларының жылдам өзгеретін нарығы, техникалық сипаттамаларының артуы, мобильді құрылғылардың ескірген үлгілері соңғы технологияларды қолдамауы мүмкін;
 - жеке деректерді қорғау дағдыларын меңгеру қажеттілігі;
 - көпшілігі шет тілінде болатын кеңейтілген шындықпен білім беру қосымшаларының болмауы;
 - мұғалімдердің білім беруде AR технологиясын қолдануға әдістемелік дайын еместігі;
 - студенттердің де, мұғалімдердің де AR жобаларымен жұмыс істеу тәжірибесінің болмауы;
 - кеңейтілген шындықпен қосымшаны құрудың күрделілігі және қаржылық шығындардың жоғары деңгейі;

Ю. Дюличаева[3, 2-б.; 10, 17-б.] білім беру саласында кеңейтілген шындық технологиясын қолдануға көптеген жұмыстар арналғанын айтады, атап айтқанда:

О. П. Жигалованың, О. В. Толстопятовтың мақаласында (Использование технологии дополненной реальности в образовательной сфере // Балтийский гуманитарный журнал. 2019. Т. 8. № 2 (27). С. 43–46.) олар білім беруде кеңейтілген шындық технологиясын қолдану тәсілдерін жүйелейді және білім берудің шынайылығын кеңейту технологиясын кеңінен таратуға кедергі келтіретін себептерді сипаттайды;

П. С. Бажина, А. А. Куприенко өз мақалаларында (Опыт применения дополненной реальности в образовании // Мир науки, культуры, образования. 2018. № 3 (70). С. 244–246.) кеңейтілген шындық технологиясын «Қиыр Шығыстың Қызыл кітабының жануарлары» арт-жобасын жүзеге асыру мысалында жобалау және инженерлік қызметтің құралы ретінде қарастырады;

А. Ю. Кравченконың, А. А. Лежебокованың, С. В. Пашенконың мақаласында (Особенности использования технологии дополненной реальности для поддержки образовательных процессов // Открытое образование. 2014. № 3. С. 49–54.) күрделі объектілерді, модельдерді және процестерді визуалды көрсету үшін медиа объектілерінің QR кодтарын басқаруға арналған бағдарламалық пакет ұсынылады;

А. А. Кочкин, С. Н. Калашников, С. Ю. Красноперов мақалада (Сценарий взаимодействия в программных образовательных ресурсах с интерфейсом дополненной реальности // Интернет журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 5.) пайдаланушының кеңейтілген шындық интерфейсімен өзара әрекеттесуінің сценарийін ұсынады;

Гаджа Мада университетінің Индонезиялық ғалымдарының жұмысы (Meta-review of augmented reality in education // The 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering. 2018. P. 312–315. DOI: 10.1109/ICITEED.2018.8534888) білім беруде кеңейтілген шындық технологиясын қолдануға арналған көптеген шетелдік авторлардың әртүрлі басылымдарын талдады.

Қорытынды

«Кеңейтілген шындықты оқу процесінде қолдану» тақырыбына талдау және шолу жасау барысында кеңейтілген шындық технологияларының мектеп оқушыларының оқу процесіне ықпалы жан – жақты қарастырылды. Қарастырылған мақалалар мен зерттеу жұмыстарында кеңейтілген шындық терминінің шығу тарихынан бастап және технологияларына, кеңейтілген шындық жүйесіне, кеңейтілген шындықты білім беруде қолдану және болашағы сияқты мәселелерге талдау және шолу жасалды. Сонымен қатар кеңейтілген шындықтың (AR) отандық және әлемдік білім беру процессінде қолданысы қарастырылды және оның артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Жалпы алғанда, кеңейтілген шындық элементтерін білім беру жүйесіне енгізу заман талабына сай маңызды қадам. Дегенмен, AR-ды мектеп бағдарламасына енгізуде бірқатар қиындықтар да бар. Олардың ішінде техникалық құралдардың жетіспеушілігі, мұғалімдердің жаңа технологияларды қолдану дағдыларының жеткіліксіздігі және оқыту әдістемесінің әлі де толық қалыптаспағаны секілді мәселелер ерекше назар аударуды талап етеді. Кеңейтілген шындық технологияларын мектеп оқушыларының білім алу процесінде пайдалану қалыптасып қалған білім беру жүйесіне жаңа серпін береді. Кеңейтілген шындық технологиялары оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттырып, оқушылардың білім алуына оң әсер ететінін көрсетті.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Новикова, А. Э. Применение элементов дополненной реальности в процессе обучения школьников математике и информатике // Қорытынды біліктілік жұмысы. – Екатеринбург, 2023. – 5–15 с.
- 2 Минина, И. Использование технологии дополненной реальности в образовательном пространстве // – Nportal.ru, 2020. – 4–8 с.
- 3 Дюличева, Ю.Ю. Применение технологии дополненной реальности для повышения эффективности преподавания // Журнал «Информатика в школе». – Симферополь, 2020. № 3 – 1–2 с.
- 4 Аверьянова, С. С., Прохорова, И. А. Дополненная реальность: применение и перспективы в образовании // – Наука ЮУрГУ : материалы 71-й научной конференции, 2019. – 1–3 с.
- 5 Конюхова, Д.А., Маскайкина, И.В. Разработка элементов дополненной реальности для использования в процессе обучения школьников информатике // Наука и Просвещение. – Пенза, 2022. – 26–29 с.
- 6 Vuta, Daniela Roxana. Augmented Reality Technologies in Education // ResearchGate – Transilvania University of Brasov, 2020. № 2 – p. 13
- 7 Лоткова, А.А., Кошева, Д.П. Внедрение дидактического материала с элементами технологии дополненная реальность по разделу «Моделирование и формализация» в учебный процесс // Педагогическое образование на Алтае. – Барнаул, 2023. № 1 – 33–37 с.
- 8 Agibova, I.M., Fundamental education in university in development of future teachers' professional competences // European Proceedings of Social & Behavioural Sciences. – 2019. – p. 249–259.
- 9 Кургузов, А. В., Латушкина, В. А. Совместное использование дополненной реальности и искусственного интеллекта в образовании //

Проблемы современного педагогического образования. – 2020. – № 69-4. – 155-158 с.

10 Латушкина, В. А. Использование технологии дополненной реальности при обучении «информатике» // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий Том 10. – 2021. – №4 – 16–19 с.

REFERENCES

- 1 Novikova, A. E'. Primenenie e'lementov dopolnenoj real'nosti v processe obucheniya shkol'nikov matematike i informatike [Application of augmented reality elements in the process of teaching mathematics and informatics to schoolchildren] [Text]. Kory'ty'ndy' biliktilik zhummy'sy'. – Ekaterinburg, 2023. – 5 – 15 p.
- 2 Minina, I. Ispol'zovanie texnologii dopolnenoj real'nosti v obrazovatel'nom prostranstve [Using augmented reality technology in the educational environment] [Text]. – Nportal.ru, 2020. – 4–8 p.
- 3 Dyulichева, Yu. Yu. Primenenie texnologii dopolnenoj real'nosti dlya povы'sheniya e'ffektivnosti prepodavaniya [Application of augmented reality technology to improve teaching effectiveness] [Text]. Zhurnal «Informatika v shkole». – Simferopol', 2020. – №. 3. – 1. – 2 p.
- 4 Aver'yanova, S. S., Proxorova, I. A. Dopolnennaya real'nost' : primeneniye i perspektivy' v obrazovanii [Augmented reality: application and prospects in education] [Text]. Nauka YuUrGU : materialy' 71-j nauchnoj konferencii, 2019. – 1 – 3 p.
- 5 Konyuxova, D. A., Maskajkina, I. V. Razrabotka e'lementov dopolnenoj real'nosti dlya ispol'zovaniya v processe obucheniya shkol'nikov informatike [Development of augmented reality elements for use in the process of teaching informatics to schoolchildren] [Text]. Nauka i Prosveshhenie. – Penza, 2022. – 26 – 29 p.
- 6 Vuta, Daniela Roxana. Augmented Reality Technologies in Education // ResearchGate – Transilvania University of Brasov, 2020. № 2 – 13 p.
- 7 Lotkova, A. A., Kosheva, D. P. Vnedreniye didakticheskogo materiala s e'lementami texnologii dopolnennaya real'nost' po razdelu «Modelirovaniye i formalizaciya» v uchebny'j process [Implementation of didactic material with elements of augmented reality technology in the section «Modeling and formalization7 in the educational process] Pedagogicheskoe obrazovanie na Altae. – Barnaul, 2023. № 1. – 33. – 37 p.
- 8 Agibova, I. M. Fundamental education in university in development of future teachers' professional competences– European Proceedings of Social & Behavioural Sciences. – 2019. – 249–259 p.

9 **Kurguzov, A. V., Latushkina, V. A.** Sovmestnoe ispol'zovanie dopolnennoj real'nosti i iskusstvennogo intellekta v obrazovanii [Joint use of augmented reality and artificial intelligence in education] Problemy` sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. – 2020. – № 69–4. – 155–158 p.

10 **Latushkina, V. A.** Ispol'zovanie texnologii dopolnennoj real'nosti pri obuchenii «informatike» [Using augmented reality technology in teaching “informatics”] [Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informacionny`x texnologij Tom 10. – 2021. – №4 – 16–19 p.

**Л. М. Кыдыралина¹, Ш. Р. Ринатова²*

^{1,2} Университет имени Шакарима, Республика Казахстан, г. Семей

АНАЛИЗ И ОБЗОР ПО ТЕМЕ «ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ»

В статье представлен анализ и обзор темы «Применение дополненной реальности в процессе обучения». Утверждается, что дополненная (Augmented Reality – AR) и виртуальная (Virtual Reality – VR) реальность – быстро развивающиеся технологии, цель которых расширить физическое пространство жизни человека объектами, созданными с помощью цифровых устройств и программ. Поэтому сравниваются особенности дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) и рассматриваются возможности их применения в сфере образования. AR позволяет пользователям просматривать и взаимодействовать с виртуальными объектами, представленными в реальной среде. В ходе анализа и обзора были рассмотрены исследовательские работы четырех ученых: А. Новиковой, И. Мининой, Ю. Ю. Дюличевой, С. С. Аверьяновой. Авторы подчеркивают, что дополненная реальность улучшает восприятие материала учащимися в образовательном процессе, способствуя визуальному и интерактивному процессу обучения. В исследовательских работах всесторонне рассматриваются перспективы технологии AR и ее влияние на сферу образования, анализируются перспективы развития в данном направлении. В рассмотренных работах в качестве главных особенностей технологии AR подчеркивается гармония реального и виртуального мира, интерактивность, а также трехмерное представление объектов. Кроме того, отмечается, что технология AR также имеет большой потенциал в области научного, медицинского и инженерного образования.

Ключевые слова: дополненная реальность, виртуальная реальность, технологии реальности, приложения, процесс обучения.

**L. M. Kydyralina¹, S. R. Rinatova²*

^{1,2}Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey

ANALYSIS AND REVIEW ON THE TOPIC «APPLICATION OF AUGMENTED REALITY IN THE LEARNING PROCESS»

The article presents an analysis and review of the topic «Application of augmented reality in the learning process». It is claimed that augmented reality (AR) and virtual reality (VR) are rapidly developing technologies, the purpose of which is to expand the physical space of human life with objects created using digital devices and programs. Therefore, the features of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) are compared and the possibilities of their application in the field of education are considered. AR allows users to view and interact with virtual objects presented in a real-world environment. During the analysis and review, the research works of four scientists were examined: A. Novikova, I. Minina, Yu. Yu. Dyulichева, S. S. Averianova. The authors emphasize that augmented reality improves students' perception of material in the educational process, facilitating a visual and interactive learning process. The research papers comprehensively examine the prospects of AR technology and its impact on the field of education, and analyze the development prospects in this area. The works reviewed emphasize the harmony of the real and virtual worlds, interactivity, and three-dimensional representation of objects as the main features of AR technology. In addition, it is noted that AR technology also has great potential in the field of scientific, medical and engineering education.

Keywords: augmented reality, virtual reality, reality technologies, applications, learning process.

***Д. Т. Алдашева¹, О. С. Салыкова², Т. А. Жуаспаев³**

^{1,2}Костанайский региональный университет имени

Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, г. Костанай,

³Костанайский инженерно-экономический университет имени
Мыржакыпа Дулатова, Республика Казахстан, г. Костанай

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4990-4308>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2240-9729>

* e-mail: aldasheva.dinara@mail.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Данная статья посвящена разработке алгоритма машинного обучения в автомобильной отрасли. В ней рассматривается значение использования методов машинного обучения для оптимизации производственных процессов в автомобильной промышленности. Авторы исследуют различные подходы к применению алгоритмов машинного обучения для повышения эффективности и качества производства автомобилей, а также обсуждают основные преимущества и вызовы, связанные с их внедрением на автомобильных заводах.

В последнее десятилетие машинное обучение пользуется заслуженной репутацией успешного средства автоматизации в различных областях благодаря высокой скорости развития и отличной предсказательной способности. Безусловно, стремительно развивающиеся отрасли, такие как машиностроение и автомобилестроение, нуждаются в активном применении моделей машинного обучения для своего дальнейшего роста и оптимизации процессов. Крупномасштабные проблемы, возникающие в промышленных условиях, являются ярким примером среды, в которой могут быть полезны алгоритмы машинного обучения. Статья подчёркивает важность инновационных подходов в автомобилестроении для достижения высокой степени автономности и безопасности транспортных средств в будущем.

Результаты работы могут быть полезны для специалистов, занимающихся автоматизацией производственных процессов в автомобильной отрасли.

Ключевые слова: машинное обучение, предиктивное обслуживание оборудования, анализ данных, автомобильная промышленность, искусственный интеллект, IoT.

Введение

В современной автомобильной промышленности внедрение технологий машинного обучения становится все более актуальным. Автопроизводители стремятся к улучшению производственных процессов, повышению качества и безопасности продукции, сокращению времени и затрат на производство. Разработка алгоритмов машинного обучения на заводе СарыаркаАвтоПром позволяет оптимизировать производственные процессы, автоматизировать контроль качества, предсказывать возможные отказы оборудования и предотвращать их, а также принимать обоснованные решения на основе данных. В данной статье мы рассмотрим основные этапы разработки алгоритма машинного обучения в автомобильной промышленности на примере работы на заводе СарыаркаАвтоПром.

Машинное обучение является одним из главных направлений развития искусственного интеллекта, основная особенность, которой заключается в способности к самообучению. Основу процесса поиска решения составляет использование программ, способных самосовершенствоваться и развиваться в определенном направлении [1, с. 1].

Ученые и раньше понимали, насколько важно обучение, однако лишь только после множества исследований, проведенных в области интерпретации знаний, стало ясно, что размеры информации, получаемой человеком в ходе обучения очень большие. Благодаря развитию технологий искусственного интеллекта в машиностроении появляются уникальные возможности для увеличения точности, эффективности и скорости процессов производства. На основании этого было решено, что закладывать информацию в электронные системы вручную очень трудоёмко и в большинстве случаев нецелесообразно.

Материалы и методы

Перед тем как рассматривать конкретную задачу, которую можно решить с помощью машинного обучения, необходимо рассмотреть, какие методы машинного обучения существуют.

На данный момент можно выделить три основных метода:

Первый метод – это обучение с учителем. При использовании данного подхода система должна установить взаимосвязь между заданными

входными и выходными данными и на её основании построить алгоритм для прогнозирования результата. Такой метод нашёл широкое применение в практических задачах и представляет собой настройку системы.

Второй метод – это обучение с подкреплением. В данной ситуации применяется обратная связь, что означает наличие системы вознаграждений и наказаний, зависящих от ответов и решений, принятых моделью в ходе решения поставленной задачи. Подкрепление в обучении обычно применяется в случаях, когда неточные результаты могут иметь серьёзные последствия.

Третий метод – это обучение без учителя. Система получает только входные данные, а найти между ними связь и составить целостную картину ей нужно самостоятельно. Такой метод редко используется, поскольку результат достаточно сложно предсказать.

Исследуя возможности использования машинного обучения в промышленности, можно выделить следующие направления:

Улучшение качества продукции. Искусственный интеллект можно применять для проверки качества на различных этапах производства. Системы машинного зрения способны выявлять дефекты в продукции с достаточной скоростью и точностью. Подобные технологии обеспечивают автоматизированную проверку качества, значительно уменьшая риск выпуска дефектных изделий и повышает общее качество производства [2, с. 413–422].

Роботизация производства. Использование машинного обучения считается основой для разработки умных роботов, которые могут применяться в промышленных целях. Современные роботы успешно справляются с задачами различной степени сложности, при этом выполняя их с высокой точностью. Это позволяет значительно повысить скорость выпуска и качество продукции. Кроме того, следует учитывать, что искусственный интеллект позволяет роботам совершенствовать механизмы адаптации к различным условиям и осуществлять операции без постоянного перепрограммирования.

Предиктивное обслуживание. В последнее время, данному направлению уделяется всё большее внимание, так как предиктивное обслуживание является крайне перспективным направлением применения машинного обучения в машиностроении. Главным минусом стандартных методов планового ремонта считается его ненадёжность, поскольку он часто приводит к излишним затратам и простоям производства. Искусственный интеллект с функцией обучения способен в режиме реального времени анализировать данные с датчиков, предсказывать возможные сбои и выполнять обслуживание

точно в нужный момент. Это значительно уменьшает возможность поломки и повышает потенциальный срок эксплуатации оборудования.

Автоматизация процессов проектирования и разработки. Искусственный интеллект занимает ключевую роль в автоматизации процессов проектирования и создании новых технологий. Алгоритмы искусственного интеллекта способны учитывать технические требования и генерировать наиболее оптимизированные конструктивные решения с учётом всех предоставленных данных. Это в значительной степени снижает временные затраты на разработку новых технологий, предоставляя инженерам возможность сконцентрироваться на решении задач, требующих творческого подхода.

Профессиональное развитие и обучение персонала. В машиностроении применение искусственного интеллекта охватывает также обучение и развитие кадров. Системы дополненной реальности, работающие на базе искусственного интеллекта, предоставляют персоналу возможность приобретения различных навыков и отработки опасных для жизни и здоровья операций в виртуальной среде. В свою очередь, машинное обучение позволяет ИИ получать обратную связь и на её основе улучшать и развивать методы обучения сотрудников [3, р. 1].

Особого внимания заслуживает применение ML в сварочных процессах. Алгоритмы машинного обучения применяются для классификации сварных швов на основе анализа звуковых сигналов дуги, что способствует более точной оценке качества соединений. В пайке машинное обучение используется для анализа, прогнозирования и оптимизации качества процесса, а также для окончательной проверки паяных соединений, что улучшает общие показатели надёжности и прочности соединений.

Результаты и обсуждение

При рассмотрении данной темы, также следует учитывать, что существуют проблемы, связанные с применением машинного обучения в промышленности. Главными предпосылками, которые позволяют использовать машинное обучение в производстве, принято считать качество входных данных, а также их доступность. Соответственно системе необходимы такие данные как: спецификации продукта, управляющих устройств и рабочих центров, полученные от различных источников. Эти данные должны быть предоставлены как самим предприятием, так и конечными потребителями, а также поставщиками. Однако, достаточно часто не удается представить заранее какие именно данные потребуются для обучения модели с сохранением необходимой точности. В следствии возникновения этой проблемы, наиболее сложным этапом проекта становится подготовка данных. В самом худшем случае, она может занимать

около 70%, от всего времени, затраченного на проект. Так как модель способна использовать, только те данные, которые ей предоставляют, следует внимательно следить за их правильным распределением по всей цепочке производственного процесса. Таким образом, при выборе алгоритма для решения конкретных задач первостепенное значение имеют такие параметры, как его надёжность и интерпретируемость [4, р. 226–310].

1 Определить цель: определить, для каких конкретных задач будет использоваться машинное обучение в автомобильной промышленности, например, для предиктивного обслуживания оборудования.

2 Сбор данных: собрать данные с оборудования, которое требуется обслуживать, такие как температура, давление, вибрация и другие параметры, которые могут быть индикаторами возможной поломки.

3 Подготовка данных: очистить и подготовить данные для обучения модели машинного обучения, включая заполнение пропущенных значений, обработку выбросов и шумов, а также масштабирование признаков.

4 Выбор модели: выбрать подходящую модель машинного обучения для задачи предиктивного обслуживания оборудования, например, модель классификации или регрессии.

5 Обучение модели: обучить модель на подготовленных данных, используя алгоритмы машинного обучения, такие как случайный лес, градиентный бустинг или нейронные сети.

6 Оценка модели: оценить качество модели на отложенной выборке данных с помощью метрик оценки качества модели, таких как точность, полнота, F1-мера и другие.

7 Внедрение модели: интегрировать модель машинного обучения в систему управления оборудованием для предиктивного обслуживания, чтобы автоматически определять возможные поломки и предупреждать операторов.

8 Мониторинг и обновление: регулярно мониторить работу модели и обновлять ее при необходимости на основе новых данных и изменений в условиях эксплуатации оборудования.

Надёжность алгоритма определяется его способностью адекватно функционировать в условиях неопределённости и своевременно реагировать на различные ситуации. Здесь следует учитывать устойчивость алгоритма к изменению входных данных, а также его способность правильно работать в нестандартных или стрессовых условиях, что особенно важно при управлении производственными процессами, где сбои могут привести к серьёзным последствиям.

Интерпретируемость алгоритма является не менее важным критерием, особенно в тех областях, где необходимо обосновывать решения, принимаемые системой. Интерпретируемость подразумевает возможность

понимания и объяснения внутренней логики алгоритма, что позволяет пользователям и разработчикам оценивать правильность его работы, выявлять потенциальные ошибки и вносить корректировки.

Кластеризация, иерархический кластерный анализ, DBSCAN. Примерами методов кластеризации являются k-means, нечеткое c-means. Наиболее распространенным методом обучения без учителя является кластерный анализ (кластеризация), который используется для исследовательского анализа данных с целью поиска скрытых закономерностей или группировок в данных (см. рис. 1а), а также HDBSCAN.

Кластеризация – это разделение точек данных о наборе данных с пространством функций в группы с помощью модели.

Обучение с учителем можно разделить на классификацию и регрессию. При классификации используются размеченные данные для изучения соответствия между входными данными и метками классов с целью изучения некоторой функции принятия решений (см. рис. 1б). Некоторые распространённые классификаторы – это k-ближайшие соседи (k-NN), наивные байесовские классификаторы, машины опорных векторов (SVM), (глубокие) искусственные нейронные сети, деревья решений, случайные леса и XGBoost.

Классификация - это присвоение точек данных для любого или нескольких из предварительно определенных классов с помощью модели, где прошел обучение на тренажере с этикетками и функциональное пространство.

Регрессия включает в себя методы обучения с учителем, которые используют пары входных и выходных данных для обучения прогнозированию непрерывных выходных данных для новых входных данных (см. рис. 1с). Некоторые распространённые методы машинного обучения для регрессии – это регрессия опорных векторов, (глубокие) искусственные нейронные сети, случайные леса и XGBoost.

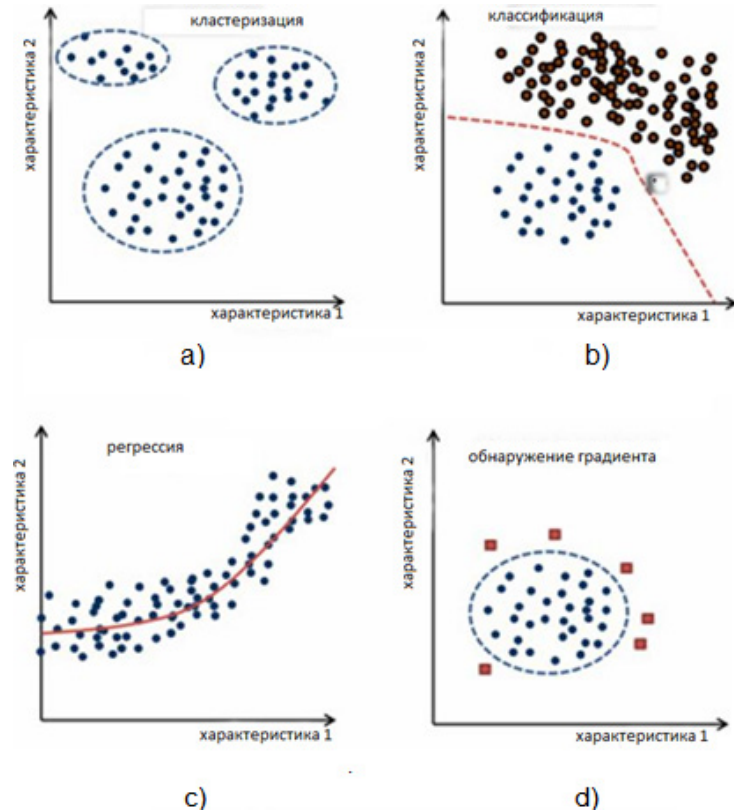


Рисунок 1 – Задачи машинного обучения,
наиболее актуальные для PdM

Регрессия – это прогнозирование (обычно непрерывных) результатов для ввода данных с помощью модели, где прошёл обучение на тренажере с результатами и функциональное пространство.

Задача профилактического обслуживания (PdM) тесно связана с моделированием нормального поведения системы и выявлением отклонений, так называемых градиентом, которые могут указывать на текущие или развивающиеся неисправности (см. рис. 1d). Это называется обнаружением аномалий и используется в различных областях, не только в автомобильной промышленности. Важность обнаружения градиента обусловлена тем, что градиент предоставляют важную информацию о состоянии системы. В связи с высокой значимостью обнаружения аномалий для PdM мы рассмотрим его более подробно [4, с. 226–310].

Таким образом, процесс выбора алгоритма является многослойной задачей, которая включает оценку его надёжности в контексте устойчивости к неопределённым ситуациям, а также его интерпретируемости, что позволяет обеспечить прозрачность и доверие к полученным результатам. Эти критерии играют ключевую роль в обеспечении успешного применения алгоритмов в реальных условиях и их адаптации к изменяющейся внешней среде.

В общем случае, решая задачу применения машинного обучения в промышленности, можно составить алгоритм, следующий ниже, который позволит получить определенный результат на основе анализа данных:

В первую очередь необходимо проанализировать ситуацию. С этой целью, проводится сбор данных, которые так или иначе связаны с предоставленной ситуацией. Данные можно собирать и записывать в систему вручную. Однако данный метод, как было сказано ранее, малоэффективен. В современных моделях машинного обучения предпочтительно использовать системы датчиков, собирающих информацию в реальном времени [5, p. 37-65; 6, p. 237-285].

Далее следует этап идентификации ситуации, который играет критически важную роль в процессе принятия решений. На данном этапе используется ряд заранее определённых критериев, позволяющих систематически анализировать и оценивать текущую ситуацию. Эти критерии разрабатываются с учётом специфики и требований конкретного промышленного предприятия, что обеспечивает точность и своевременность их применения.

Следующим шагом является разработка решения, которое должно базироваться на ранее собранных данных и проведённой идентификации ситуации. Важнейшим аспектом этого этапа является то, что разработанное решение должно соответствовать внутренним регламентам и стандартам, установленным на предприятии. Это включает в себя соблюдение норм безопасности, эффективности и качества, что, в свою очередь, способствует оптимизации производственных процессов и минимизации рисков.

SWOT-анализ внедрения машинного обучения в автомобильной промышленности для предиктивного обслуживания оборудования:

Strengths (Сильные стороны): Спрос на предиктивное обслуживание оборудования в автомобильной промышленности растет, что создает благоприятную среду для развития проекта. Использование машинного обучения позволяет повысить эффективность обслуживания и снизить затраты на его проведение. Специализированный набор навыков и знаний команды проекта поможет решить сложные задачи в области машинного обучения.	Weaknesses (Слабые стороны): Высокие затраты на разработку и внедрение технологии машинного обучения в автомобильную промышленность. Недостаточное количество квалифицированных специалистов в области машинного обучения, что может затруднить нахождение квалифицированных сотрудников для работы в проекте. Необходимость постоянного обновления и совершенствования алгоритмов машинного обучения для обеспечения их эффективной работы.
Opportunities (Возможности): Возможность диверсификации услуг и продуктов для других отраслей промышленности, где также требуется предиктивное обслуживание оборудования. Партнерство с крупными автомобильными компаниями для внедрения разработанных технологий на практике. Участие в конференциях и выставках по машинному обучению для привлечения внимания потенциальных инвесторов и партнеров.	Threats (Угрозы): Конкуренция со стороны крупных технологических компаний, уже активно развивающих технологии машинного обучения. Возможность появления новых технологий или алгоритмов, которые могут оказаться более эффективными и конкурентоспособными. Риски связанные с безопасностью и конфиденциальностью данных, используемых в алгоритмах машинного обучения.

На этапе уточнения ограничений необходимо провести детальный анализ разработанного решения, чтобы удостовериться, что оно не только отвечает функциональным требованиям, но и соответствует жёстким ограничениям внутренних регламентов предприятия. Эти ограничения могут включать в себя как финансовые рамки, так и технические спецификации, что требует тщательной проработки всех аспектов решения перед его утверждением [7, с 62–69].

После завершения этапа уточнения ограничений осуществляется реализация решения. В ходе осуществления этого процесса выполняется внедрение разработанного решения на практике, что требует координации усилий различных подразделений предприятия, а также мониторинга хода выполнения проекта. Именно поэтому Реализация должна быть тщательно спланирована, чтобы избежать сбоев и обеспечить плавный переход к новым процессам.

Наконец, важным этапом является оценка эффективности внедрённого решения. На этом этапе проводится анализ результатов его применения с целью определения, насколько оно соответствует изначально поставленным

целям и задачам. В случае выявления недостатков или неэффективных аспектов необходимо разработать и внедрить меры по улучшению, что позволит не только оптимизировать текущие процессы, но и повысить общую производительность и конкурентоспособность предприятия.

Выводы

Производство претерпевает окончательные изменения по мере того, как оно осваивает и изменяется благодаря использованию методов машинного обучения. Этот сдвиг произошел в начале нынешнего десятилетия. Применение технологий машинного обучения в различных аспектах производственных процессов уже приносит ощутимые результаты, значительно улучшая качество продукции, снижая производственные издержки и повышая надёжность оборудования.

Помимо этого, внимание уделялось интеграции алгоритма в реальный производственный контекст, где использование машинного обучения может повысить эффективность принятия решений за счёт обработки больших объёмов данных, предсказания возможных сценариев и оптимизации процессов.

Представленная работа, несмотря на внесённый вклад в виде новых идей в исследуемой области, содержит ряд существенных ограничений, которые необходимо отметить для объективной оценки её результатов. Главное из них заключается в неполноте и неоднородности обзорной части, препятствующей проведению количественного сравнения эффективности различных методов машинного обучения. Различия в постановках задач, используемых наборах данных, а также в методологии исследований, представленных в обзоре литературы, сделали невозможным прямое сравнение таких ключевых метрик, как точность, полнота, F1-мера и AUC-ROC. Включение подобного сравнения, без учёта этих существенных вариаций, привело бы к искажению результатов и созданию ложного впечатления о превосходстве одного метода над другими. Например, метод, показавший высокую точность на одном наборе данных, может продемонстрировать значительно худшие результаты на другом, отличающемся по размеру, составу, балансу классов или уровню шума. Это особенно актуально для задач компьютерного зрения, обработки естественного языка и анализа временных рядов, где характеристики данных критическим образом влияют на эффективность алгоритмов. Более того, необходимо учитывать специфику используемых архитектур нейронных сетей, размерность признакового пространства и применяемые методы предобработки данных, все из которых могут значительно сказываться на итоговых результатах [8, с. 51–71].

Второе существенное ограничение связано с отсутствием анализа реализуемости рассмотренных подходов в реальных условиях. Работа не

оценивает вычислительные затраты, потребление памяти и энергопотребление различных алгоритмов. Это особенно критично применительно к задачам, требующим обработки данных в режиме реального времени, например, в системах автономного вождения или в бортовых системах управления транспортных средств. Алгоритм, демонстрирующий высокую точность в лабораторных условиях, может оказаться непригодным для применения в автомобиле из-за ограниченных вычислительных ресурсов процессора или из-за чрезмерного времени ответа, не удовлетворяющего требованиям безопасности. Аналогичным образом, применение алгоритма в подключенных транспортных средствах зависит от требований к пропускной способности сети и времени задержки, что также не было рассмотрено в данной работе. Для полноценной оценки необходимо проводить анализ временных характеристик алгоритмов, а также оценивать их энергоэффективность, что требует проведения дополнительных экспериментов и моделирования [9, p. 1–6; 10, p. 312–323].

Третье ограничение, как уже отмечалось в других обзорах, связано с неоднозначностью и несогласованностью терминологии, используемой в литературе по машинному обучению. Многие подходы описываются по-разному, что затрудняет поиск и систематизацию информации. Даже синонимичные термины могут описывать существенно разные алгоритмы или их модификации. Наличие старых публикаций, использующих устаревшую терминологию, еще больше усугубляет ситуацию. Для решения этой проблемы авторы применили расширенные критерии поиска, но риск пропустить значимые работы остается. Более того, недостаточное внимание уделено анализу публикаций на разных языках, что может привести к неполному охвату существующих разработок. Для улучшения обзора необходимо использовать более сложные стратегии поиска, включающие ручной отбор статей и использование различных баз данных, а также привлечение специалистов из различных областей машинного обучения. Необходимо также рассмотреть вопрос о создании единой терминологической базы для облегчения сравнительного анализа.

В ходе написания данной статьи была сформулирована задача по разработке обобщенной схемы алгоритма, предназначенного для автоматизированного получения готовых решений на базе анализа данных с использованием методов машинного обучения. Кроме того, целью было рассмотрение общих тенденций и направлений развития, а также потенциальных возможностей практического применения алгоритмов машинного обучения на машиностроительных предприятиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Алгоритмы машинного обучения на основе сбора данных для безопасности передвижения транспортного средства [сайт] URL: <https://na-journal.ru/5-2023-informacionnye-tehnologii/5185-algoritmy-mashinnogo-obucheniya-na-osnove-sbora-dannyh-dlya-bezopasnosti-predvizheniya-transportnogo-sredstva>, 1, с 1.
- 2 Liu, F. T., Ting, K. M., Zhi, Z. Isolation forest Proceedings of the 2008 eighth IEEE international conference on data mining, IEEE Computer Society (2008), P. 413–422.
- 3 AITIA : Embedded AI Techniques for Embedded Industrial Applications, IEEE Conference Publication, IEEE Xplore <https://ieeexplore.ieee.org/document/9191672>, 3, P. 1.
- 4 Ester, M., Krieger, H.-P., Sander, J., Xu, X. et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In: Proceedings of the second international conference on knowledge discovery and data mining, Vol. 96. – 1996, P. 226–310.
- 5 Bezdek, J C, Ehrlich, R., Full, W. FCM : The fuzzy c-means clustering algorithm, P. 37–65.
- 6 Kaelbling, L. P., Littman, M. L., Moore, A. W. Reinforcement learning: A survey J Artificial Intelligence Res, 4 (1996), P. 237–285.
- 7 Тарасов, И. В. Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 2. – С. 62–69.
- 8 Абрамов, Е. Г., Авдонин, Б. Н., Батьковский, А. М., Батьковский, М. А. Диагностика и мониторинг экономической устойчивости предприятий радиоэлектронного комплекса с учетом оценки их инновационного потенциала // Электронная промышленность. – 2010. – № 3. – С. 51–71.
- 9 Vishwa, G. Predictive Maintenance Market : Global Opportunity Analysis And Industry Forecast, 2020–2027 // Allied Market Research. – 2021. – P. 1–6.
- 10 Фролов, В. Г., Дробот, Е. В., Абрамов, Е. Г. Реализация стратегий Индустрии 4.0 российскими и зарубежными предприятиями: возможности для российской текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2(398). – С. 312–323.

REFERENCES

- 1 Algoritmy` mashinnogo obucheniya na osnove sbora danny`x dlya bezopasnosti predvizheniya transportnogo sredstva [Machine learning algorithms

based on data collection for vehicle safety]. – [Electronic resource]. – URL: <https://na-journal.ru/5-2023-informacionnye-tehnologii/5185-algoritmy-mashinnogo-obucheniya-na-osnove-sbora-dannyh-dlya-bezopasnosti-peredvizheniya-transportnogo-sredstva> 1, P. 1.

2 Liu, F. T., Ting, K. M., Zhi, Z. Isolation forest Proceedings of the 2008 eighth IEEE international conference on data mining [text], IEEE Computer Society 2008, P. 413–422.

3 AITIA : Embedded AI Techniques for Embedded Industrial Applications [text] IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. – [Electronic resource]. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/9191672>. – 1 P. 1.

4 Ester, M., Kriegl, H.-P., Sander, J., Xu, X. et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. [text] In: Proceedings of the second international conference on knowledge discovery and data mining, Vol. 96. – 1996, P. 226–310.

5 Bezdek, J. C., Ehrlich, R., Full, W. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm [text] 5. – 1996. – P. 37–65

6 Kaelbling, L. P., Littman, M. L., Moore, A. W. Reinforcement learning: A survey J Artificial Intelligence Res [text], 4. – 1996. – P. 237–285.

7 Tarasov, I. V. Tekhnologii Industrii 4.0: vliyaniye na povy'sheniye proizvoditel'nosti promy'shlennyy'x kompaniy // Strategicheskie resheniya i riskmenedzhment [Technologies of Industry 4.0: impact on productivity improvement of industrial companies // Strategic decisions and risk management] [text]. – 2018. – № 2. – 62 – 69 p.

8 Abramov, E. G., Avdonin, B. N., Bat'kovskij, A. M., Bat'kovskij, M. A. Diagnostika i monitoring e'konomicheskoy ustojchivosti predpriyatij radioe'lektronnogo kompleksa s uchetoм ocenki ix innovacionnogo potentsiala [Diagnostics and monitoring of the economic stability of radio-electronic complex enterprises, taking into account the assessment of their innovative potential] [text]. // E'lektronnaya promy'shlennost'. – 2010. – № 3. – 51–71 p.

9 Vishwa, G. Predictive Maintenance Market: Global Opportunity Analysis And Industry Forecast, 2020–2027 [text] // Allied Market Research. – 2021. – P. 1–6.

10 Frolov, V. G., Drobot, E. V., Abramov, E. G. Realizaciya strategij Industrii 4.0 rossijskimi i zarubezhny'mi predpriyatiyami : vozmozhnosti dlya rossijskoj tekstil'noj promy'shlennosti [Implementation of Industry 4.0 strategies by Russian and foreign enterprises : opportunities for the Russian textile industry] [text] // Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti. – 2022. – № 2(398). – 312–323 p.

*Д. Т. Алдашева¹, О. С. Салыкова², Т. А. Жуаспаев³

^{1,2}Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.,

³Қостанайский инженерно-экономический университет имени Мыржақып Дулатова, Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

АВТОМОБИЛЬ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІН ЖАСАУ

Бұл мақала автомобиль саласында Машиналық оқыту алгоритмін жасауға арналған. Ол автомобиль өнеркәсібіндегі өндірістік процестерді оңтайландыру үшін машиналық оқыту әдістерін қолданудың маңыздылығын қарастырады. Авторлар автомобиль өндірісінің тиімділігі мен сапасын жақсарту үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолданудың әртүрлі тәсілдерін зерттейді және оларды автомобиль зауыттарында енгізудің негізгі артықшылықтары мен қиындықтарын талқылайды.

Соңғы онжылдықта Машиналық оқыту жоғары даму жылдамдығы мен тамаша болжау қабілетінің арқасында әртүрлі салаларда сәтті автоматтандыру құралы ретінде лайықты беделге ие болды. Әрине, машина жасау және автомобиль жасау сияқты қарқынды дамып келе жатқан салалар одан әрі өсу және процестерді оңтайландыру үшін машиналық оқыту модельдерін белсенді қолдануды қажет етеді. Өнеркәсіптік жағдайда туындайтын ауқымды мәселелер Машиналық оқыту алгоритмдері пайдалы болуы мүмкін ортаның тамаша мысалы болып табылады. Мақала болашақта автономия мен көлік қауіпсіздігінің жоғары деңгейіне жету үшін автомобиль жасаудағы инновациялық тәсілдердің маңыздылығын көрсетеді.

Жұмыс нәтижелері автомобиль өнеркәсібіндегі өндірістік процестерді автоматтандырумен айналысатын мамандар үшін пайдалы болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: машиналық оқыту, болжамды жабдыққа қызмет көрсету, деректерді талдау, автомобиль өнеркәсібі, жасанды интеллект, IoT.

*D. T. Aldasheva¹, O. S. Salykova², T. A. Zhuaspayev³

^{1,2}Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university,

Republic of Kazakhstan, Kostanay

³Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov,
Republic of Kazakhstan, Kostanay

DEVELOPMENT OF A MACHINE LEARNING ALGORITHM IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

This article is devoted to the development of a machine learning algorithm in the automotive industry. It examines the importance of using machine learning methods to optimize production processes in the automotive industry. The authors explore various approaches to the application of machine learning algorithms to improve the efficiency and quality of car production, as well as discuss the main advantages and challenges associated with their implementation in automobile factories.

In the last decade, machine learning has enjoyed a well-deserved reputation as a successful automation tool in various fields due to its high speed of development and excellent predictive ability. Of course, rapidly developing industries such as mechanical engineering and the automotive industry need to actively apply machine learning models for their further growth and process optimization. Large-scale problems arising in an industrial environment are a prime example of an environment in which machine learning algorithms can be useful. The article highlights the importance of innovative approaches in the automotive industry to achieve a high degree of vehicle autonomy and safety in the future.

The results of the work can be useful for specialists involved in the automation of production processes in the automotive industry.

Keywords: machine learning, predictive maintenance of equipment, data analysis, automotive industry, artificial intelligence, IoT.

MPHTI 28.21.19

DOI

Г. М. Ткач¹, *Р. Е. Габдушев², А. С. Чернов³

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8056-975X>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0067-4504>

*e-mail: gabdusevrasid@gmail.com

БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ КРИПТОВАЛЮТ

В представленной работе исследуется широкое применение блокчейн-технологий за пределами криптовалютной сферы, с акцентом на их влияние на различные отрасли экономики и социальной жизни. Особое внимание уделяется ключевым областям, таким как здравоохранение, логистика, государственное управление, защита интеллектуальной собственности и образование. Рассматриваются преимущества блокчейна, включая повышение прозрачности, снижение транзакционных издержек, улучшение защиты данных, обеспечение доверия в цифровой среде и автоматизацию процессов через использование смарт-контрактов. В работе приводятся примеры успешной реализации блокчейн-решений: внедрение электронных медицинских карт в здравоохранении, оптимизации цепочек поставок, защиты авторских прав, обеспечения подлинности образовательных документов. Также исследуются вызовы внедрения: сложность интеграции, высокая стоимость реализации, нехватка специалистов, правовые барьеры и масштабируемость. В статье затрагиваются перспективы синергии блокчейна с другими технологиями, такими как искусственный интеллект, IoT и большие данные, а также предлагаются направления для дальнейших исследований и практического применения. Работа представляет собой анализ текущего состояния, возможностей и перспектив развития блокчейн-технологий, а также выявляет ключевые направления для дальнейших исследований, направленных на устранение существующих барьеров и расширение применения технологий.

Ключевые слова: блокчейн-технологии, здравоохранение, логистика, государственное управление, интеллектуальная собственность, образование.

Введение

Современные технологии продолжают активно преобразовывать ключевые аспекты экономической, социальной и цифровой среды. Одной из наиболее значительных инноваций последних десятилетий является технология блокчейн. Изначально она была разработана для обеспечения функционирования криптовалют, таких как Bitcoin и Litecoin, впервые представленных в работе Сатоши Накамото в 2008 году, основой которой является распределённый реестр, обеспечивающий безопасность, прозрачность и децентрализацию транзакций [1]. Популярность блокчейна изначально была обусловлена его ключевой ролью в криптовалютах, которые представляют собой цифровую альтернативу традиционным финансовым инструментам, позволяя осуществлять переводы без посредников, таких как банки.

Однако, несмотря на сильную ассоциацию с криптовалютами, блокчейн обладает гораздо более широким потенциалом. Его фундаментальные свойства, включая неизменность данных, прозрачность и децентрализацию, делают эту технологию применимой в самых разнообразных сферах. Например, в здравоохранении блокчейн может способствовать безопасному хранению и управлению медицинскими данными. В логистике он оптимизирует цепочки поставок, минимизируя риски мошенничества и повышая прозрачность процессов. В управлении государственными реестрами блокчейн может обеспечить защиту прав собственности и прозрачность операций.

Внедрение блокчейн-технологий в различные сферы экономики и общественной жизни сопровождается рядом значительных проблем, как недостаточное понимание возможностей технологии среди заинтересованных сторон, высокой стоимости реализации решений, так и отсутствие унифицированной нормативно-правовой базы. Несмотря на возрастающий интерес исследователей и практиков, на сегодняшний день остаются недостаточно изученными аспекты внедрения и использования этой технологии вне финансовых сфер.

Исследование блокчейн-технологий за пределами их традиционной ассоциации с криптовалютами предоставляет возможность выявить новые области их применения и определить перспективные направления для дальнейших разработок в рамках цифровой трансформации общества.

Материалы и методы

Для анализа применения блокчейн-технологий за пределами криптовалютной сферы были изучены ключевые направления, такие как здравоохранение, логистика, управление государственными реестрами, защита авторских прав и образование. Эти области были выбраны с учётом их актуальности и перспектив использования технологий для решения существующих задач.

Ключевые методы исследования статьи: кейс-анализ, в рамках которого описываются конкретные примеры применения технологии, их результаты и существующие проблемы, и сравнительный анализ.

В статье «Блокчейн в здравоохранении» рассматриваются перспективы применения блокчейна для цифровизации медицинской отрасли. Например, фармацевтические компании, такие как Pfizer, Amgen и Sanofi, используют блокчейн для документирования клинических испытаний новых лекарственных средств, позволяющие сформировать централизованную базу данных для каждого препарата, содержащую информацию об участниках испытаний, эффективности лекарств и побочных эффектах. Особое внимание уделяется созданию единого реестра пациентов, цифровым медицинским картам и мониторингу лекарственных препаратов. Применение блокчейна в этих направлениях способствует сокращению административных издержек, улучшению защиты данных и упрощению доступа к медицинской информации. В российских больницах уже были внедрены пилотные проекты, которые продемонстрировали ускорение процессов обработки данных и повышение их надёжности [2].

Применение блокчейна в логистике используется для управления цепочками поставок, включая автоматизацию процессов, устранение посредников и отслеживание товаров в реальном времени. Согласно статье «Блокчейн в логистике», данная технология обеспечивает прозрачность операций, минимизирует ошибки и предотвращает мошенничество. Кроме того, блокчейн способствует стандартизации бизнес-процессов и снижению затрат на управление поставками. Примером успешного применения технологии являются проекты, направленные на улучшение координации между участниками цепочки поставок [3].

В 2018 году Приорбанк использовал блокчейн-платформу R-chain для выпуска международной банковской гарантии по поручению Мозырского НПЗ. Это позволило значительно ускорить процесс оформления и снизить затраты, связанные с оформлением традиционных бумажных документов и их проверкой. Платформа R-chain обеспечила полную автоматизацию процессов, включая передачу и обработку данных, что повысило эффективность взаимодействия между всеми участниками

сделки — от банка до бенефициара [4]. Такой подход иллюстрирует, как блокчейн может улучшить координацию, стандартизировать процесс и снизить транзакционные издержки в рамках цепочек поставок, обеспечивая прозрачность и безопасность всех операций.

Применение блокчейна в логистике ярко демонстрирует его потенциал для оптимизации цепочек поставок. В статье, размещенной на сайте Walmart, подробно описан опыт применения блокчейн-технологий для улучшения отслеживаемости продуктов в цепочке поставок. В 2016 году компания, совместно с JD, IBM и Университетом Цинхуа, создала блокчейн-реестр для отслеживания поставок свинины в Китае. Этот проект стал частью нового консорциума, направленного на повышение безопасности пищи, с участием поставщиков и регулирующих органов. В 2017 году Walmart расширила свое сотрудничество, создав партнерство с такими крупными игроками, как Dole, Kroger, McCormick, Nestlé и Unilever, чтобы исследовать новые способы повышения прослеживаемости продуктов. К 2018 году компания смогла отслеживать более 25 продуктов, включая зелень, мясо, молочные продукты и детское питание, возвращая данные о происхождении продуктов до фермеров, где они были выращены [5].

Эстония занимает одну из ведущих позиций в использовании блокчейн-технологий для государственных нужд [6]. В рамках программы электронного гражданства (e-Residency), запуск которой состоялся в 2014 году, правительство страны предоставляет цифровое удостоверение личности, позволяющее нерезидентам регистрировать компании, использовать онлайн-банкинг и подписывать документы с помощью электронной подписи. Эта инициатива обеспечивает удаленный доступ к государственным услугам и демонстрирует, как блокчейн может повысить прозрачность и доступность административных процессов. Другим примером является проект Bitnation, запущенный в 2015 году, который обеспечивает доступ к нотариальным услугам, включая регистрацию брака и рождения, а также некоторые виды коммерческих договоров. Этот сервис подчеркивает децентрализованный характер блокчейна, позволяя использовать его из любой точки мира и упрощая процесс подтверждения юридических документов.

Блокчейн всё чаще применяется для решения задач в области защиты интеллектуальной собственности и управления авторскими правами. Согласно исследованию, представленному в работе «Технология блокчейн как инструмент защиты авторских прав» (2020), технология позволяет зафиксировать авторство, автоматизировать управление правами и минимизировать издержки [7].

Примером успешного применения блокчейна в данной сфере является проект IPChain (Intellectual Property Chain). Этот национальный российский

проект создан для управления объектами интеллектуальной собственности и их защиты. Платформа позволяет фиксировать в децентрализованном реестре данные о произведениях, включая их название, дату создания, авторов и условия использования. Все записи защищены неизменяемыми временными метками, что исключает возможность подделки или удаления данных.

Одним из дополнительных примеров эффективного применения блокчейна является проект «Единый депозитарий результатов интеллектуальной деятельности» (ЕДРИД) [8]. Эта платформа впервые зарегистрировала авторские права посредством блокчейна. В децентрализованном реестре ЕДРИД можно фиксировать информацию о выходных параметрах авторских объектов, хранить сам объект или его цифровой отпечаток, что позволяет экономить место в системе. Криптографическая гарантия, обеспечиваемая платформой, подтверждает подлинность объекта и исключает подделку данных.

Одной из ключевых функций IPChain является использование смарт-контрактов для автоматизации операций с авторскими правами. Например, автор может установить цену за использование произведения, и смарт-контракт автоматически обеспечит выполнение условий сделки, включая передачу прав и выплату вознаграждений. Это исключает посредников и снижает финансовые и временные издержки.

На практике обе платформы — IPChain и ЕДРИД — уже объединяют правообладателей, упрощая регистрацию авторских прав, продажу лицензий и разрешение споров. Эти проекты демонстрируют, как блокчейн может оптимизировать управление интеллектуальной собственностью, повысить эффективность взаимодействия между участниками и обеспечить защиту прав авторов.

Технология блокчейн может быть использована в образовании для решения ряда задач, связанных с хранением и проверкой данных. В статье «Перспективы внедрения технологии блокчейн в современную систему образования» [9] авторы рассматривают несколько возможностей применения: возможности использования распределённого реестра для создания цифровых дипломов, подтверждения аккредитации вузов, отслеживания академических достижений студентов и защиты интеллектуальной собственности в образовательных проектах. Например, вместо традиционных бумажных дипломов, которые подвержены риску подделки и утраты, учебные заведения могут выдавать цифровые сертификаты, зарегистрированные в блокчейне. Это обеспечит неизменность и доступность информации о квалификации выпускников. Работодатели и другие заинтересованные стороны смогут легко проверить подлинность

диплома, обратившись к блокчейну, что значительно упростит процесс трудоустройства и повысит доверие к системе образования.

Университет Никосии (University of Nicosia) первым в мире начал использовать блокчейн для публикации дипломов всех выпускников. Впервые это произошло в 2017 году, когда университет перенес технологию из пилотного проекта в полноценную реализацию. Дипломы записываются на блокчейне Bitcoin в виде цифрового «хэша», что позволяет их легко проверять через инструменты верификации. Это исключает риск подделки и делает процесс проверки дипломов прозрачным и быстрым. Подобная система использует программное обеспечение Blockcerts и открытый код для обеспечения широкой доступности технологии другим учреждениям [10; 11].

Результаты и обсуждение

Блокчейн-технологии находят широкое применение в различных отраслях за пределами криптовалют. Данная технология активно используется для решения задач, связанных с прозрачностью, надежностью и безопасностью данных, а также автоматизацией процессов.

В здравоохранении блокчейн помогает фиксировать и защищать данные пациентов, создавать единые цифровые реестры и отслеживать цепочки поставок лекарственных препаратов. Например, в одной из больниц Новгородской области России применение блокчейна позволило повысить точность мониторинга использования медицинских препаратов, сократив вероятность ошибок и случаев подделки данных [2]. Сходные результаты наблюдаются и в логистике, где блокчейн обеспечивает прозрачность цепочек поставок, автоматизирует процессы и снижает транзакционные издержки за счет исключения посредников.

Примером успешного применения является опыт Walmart, где блокчейн помогает быстро выявлять источник загрязнений в цепочке поставок продуктов, улучшает управление отзывами продукции и минимизирует пищевые отходы. Технология позволяет собирать детализированную информацию о товаре, которая не только улучшает управление запасами, но и продлевает срок хранения продуктов. Благодаря сокращению времени и затрат на всех этапах поставок блокчейн укрепляет доверие потребителей и повышает общее качество продуктов [5].

В управлении государственными реестрами блокчейн используется для повышения эффективности административных процессов и защиты данных от несанкционированного доступа. Эстония, внедрившая блокчейн для электронного гражданства, демонстрирует, что такие решения способствуют сокращению времени обработки данных и снижению рисков мошенничества [6]. В отличие от других сфер, где блокчейн используется для улучшения процессов обмена информацией между участниками (например,

логистика или здравоохранение), здесь он помогает значительно упростить взаимодействие граждан с государственными органами, минимизируя коррупционные риски и административные барьеры.

В сфере защиты интеллектуальной собственности блокчейн упрощает управление правами, снижает транзакционные издержки и минимизирует споры между правообладателями и пользователями контента. Например, платформы IPChain и ЕДРИД успешно используют смарт-контракты для автоматизации сделок с интеллектуальными активами, обеспечивая надежную фиксацию данных о правах авторов [7; 8]. Сравнение с традиционными системами защиты авторских прав показывает, что блокчейн значительно упрощает взаимодействие между правообладателями и пользователями контента.

Похожие преимущества наблюдаются и в образовательной сфере. Использование блокчейна для хранения цифровых дипломов и сертификатов, как это делает Университет Никосии [10; 11], упрощает проверку их подлинности и снижает риск подделки. Работодатели и учебные заведения могут быстро и надежно удостовериться в квалификации соискателей.

В каждой из рассмотренных областей блокчейн помогает повысить прозрачность, безопасность данных и оптимизировать процессы. Общими являются преимущества в автоматизации процессов и сокращении транзакционных издержек.

Однако, внедрение блокчейн-технологий в различные сферы сталкивается с несколькими реальными сложностями и ограничениями. Во-первых, технические и инфраструктурные проблемы могут стать значительным барьером, особенно для организаций в странах с ограниченными ресурсами. Внедрение блокчейна требует наличия развитой технической инфраструктуры, что включает разработку программного обеспечения и создание мощных серверных мощностей для хранения и обработки данных. Для масштабных систем, таких как управление государственными реестрами или отслеживание цепочек поставок в логистике, необходимы высокоскоростные сети и большие объемы данных, что может повлечь за собой высокие расходы.

Также существует проблема несовместимости различных блокчейн-систем. Разнообразие технологий и стандартов тормозит интеграцию блокчейна в уже существующие системы, что особенно важно в таких областях, как здравоохранение и государственные реестры, где необходимо интегрировать блокчейн с централизованными базами данных и процессами. Отсутствие единой стандартизации затрудняет обмен данными между различными участниками и создает проблемы на всех уровнях.

На международном уровне до сих пор нет четких юридических норм, регулирующих использование блокчейн-технологий. Это затрудняет использование технологий в таких сферах, как защита интеллектуальной собственности, финансовые услуги и управление государственными реестрами. Неопределенность в вопросах правового статуса смарт-контрактов, регулирования криптовалют и защиты данных в рамках блокчейн-систем является значительным препятствием.

Выводы

Исследование блокчейн-технологий за пределами их традиционной ассоциации с криптовалютами подтверждает значительный потенциал этой технологии для трансформации различных отраслей экономики и социальной жизни. Основываясь на анализе широкого спектра данных и примеров практического применения, в рамках исследования были изучены ключевые направления внедрения блокчейна, такие как здравоохранение, логистика, государственное управление, защита интеллектуальной собственности и образование.

Результаты исследования показывают, что внедрение блокчейна позволяет решать широкий спектр задач. В здравоохранении технология блокчейна способствует защите данных пациентов, минимизации ошибок в цепочке поставок лекарств и упрощению взаимодействия между участниками медицинской системы. В логистике использование блокчейна улучшает прозрачность операций, автоматизирует процессы и снижает издержки, что особенно важно для глобальных цепочек поставок. В сфере защиты интеллектуальной собственности блокчейн позволяет фиксировать права на произведения, упрощает сделки с использованием смарт-контрактов и минимизирует споры между правообладателями. В образовательной системе блокчейн используется для хранения цифровых дипломов, что исключает риск подделки и упрощает проверку их подлинности.

Однако, несмотря на множество преимуществ, внедрение блокчейна сопряжено с рядом вызовов. Высокая стоимость реализации, сложности масштабирования и недостаток правового регулирования ограничивают возможности применения технологии. Кроме того, требуется преодоление социальных и кадровых барьеров, таких как недостаток знаний о блокчейне у пользователей и нехватка квалифицированных специалистов.

В будущем исследования могут сосредоточиться на интеграции блокчейна с искусственным интеллектом и другими цифровыми технологиями, что усилит их возможности. Например, использование гибридных блокчейнов в медицине обещает не только более надежную защиту данных, но и возможность работы с большими объемами информации в реальном времени.

Для успешного внедрения необходимо разработать стандарты, которые обеспечат совместимость между системами, а также создать правовую базу, способствующую более широкому использованию технологии. В перспективе блокчейн может стать ключевым инструментом повышения эффективности, прозрачности и безопасности в различных сферах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Nakamoto, S. Bitcoin : A peer-to-peer electronic cash system [Текст] // Satoshi Nakamoto. – 2008.
- 2 Кузнецова, В. П., Вардомацкая Л. П., Тропинова Е. А. Блокчейн в здравоохранении [Текст] // Экономика и управление. – 2018. – №. 7 (153). – С. 16–20.
- 3 Лысенко, Ю. В., Лысенко, М. В., Гарипов, Р. И. Блокчейн в логистике [Текст] // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2019. – Т. 8. – №. 3 (28). – С. 240–242.
- 4 Косарев, К. В. Блокчейн технологии : понятие, практика применения [Текст] // ББК 72 М5. – 2022. – С. 19.
- 5 Sristy, A. Blockchain in the food supply chain – What does the future look like? [Электронный ресурс]. – https://tech.walmart.com/content/walmart-globaltech/en_us/news/articles/blockchain-in-the-food-supply-chain.html.
- 6 Ключиков, А. В., Пряников, М. М., Чугунов, А. В. Блокчейн-технологии и их использование в государственной сфере [Текст] // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12. – С. 123–129.
- 7 Сальникова, А. В. Технология блокчейн как инструмент защиты авторских прав [Текст] // Актуальные проблемы российского права. – 2020. – №. 4 (113). – С. 83–90.
- 8 Попов, И. Извилины на цепь : как использовать блокчейн в охране интеллектуальных прав [Электронный ресурс]. – <https://www.forbes.ru/tehnologii/355199-izviliny-na-cep-kak-ispolzovat-blokcheyn-v-ohrane-intellektualnyh-prav>.
- 9 Кирилова, Д. А., Маслов, Н. С., Астахова, Т. Н. Перспективы внедрения технологии блокчейн в современную систему образования [Текст] // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 8. – С. 31–37.
- 10 University of Nicosia is the first university in the world to publish diplomas of all graduating students on the blockchain [Электронный ресурс]. – <https://www.unic.ac.cy/iff/research/blockchain-crypto-assets/blockchain-based-certifications>.

11 Blockchain-based certifications [Электронный ресурс]. – <https://www.unic.ac.cy/iff/research/blockchain-crypto-assets/blockchain-based-certifications>.

REFERENCES

1 **Nakamoto, S.** Bitcoin : A peer-to-peer electronic cash system [Text] // Satoshi Nakamoto. – 2008.

2 **Kuzneczova, V. P., Vardomaczkaya, L. P., Tropinova, E. A.** Blokchejn v zdavooxranenii [Blockchain in Healthcare] [Text] // Economics and Management. – 2018. – № 7 (153). – P. 16–20.

3 **Lysenko, Yu. V., Lysenko, M. V., Garipov, R. I.** Blokchejn v logistike [Blockchain in Logistics] [Text] // Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie. – 2019. – Vol. 8. – № 3 (28). – P. 240–242.

4 **Kosarev, K. V.** Blokchejn tehnologii : ponyatie, praktika primeneniya [Blockchain Technologies : Concept and Application Practice] [Text] // BBK 72 M5. – 2022. – P. 19.

5 **Sristy, A.** Blockchain in the food supply chain – What does the future look like? [Electronic resource] // Walmart. – 2021. – Available at: [Electronic resource]. – https://tech.walmart.com/content/walmart-globaltech/en_us/news/articles/blockchain-in-the-food-supply-chain.html (accessed: 02.06.2023).

6 **Klechikov, A. V., Pryanikov, M. M., Chugunov, A. V.** Blokchejn-tehnologii i ikh ispolzovanie v gosudarstvennoy sfere [Blockchain Technologies and Their Use in the Public Sector] [Text] // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Vol. 5. – № 12. – P. 123–129.

7 **Sal'nikova, A. V.** Tekhnologiya blokchejn kak instrument zashchity avtorskikh prav [Blockchain Technology as an Instrument for Protecting Copyright] [Text] // Aktual'nye problemy rossiyskogo prava. – 2020. – № 4 (113). – P. 83–90.

8 **Popov, I.** Izviliny na cep: kak ispolzovat' blokchejn v okhrane intellektual'nykh prav [Locks on the Chain: How to Use Blockchain in the Protection of Intellectual Property] [Electronic resource]. – Available at: <https://www.forbes.ru/tehnologii/355199-izviliny-na-cep-kak-ispolzovat-blokcheyn-v-okhrane-intellektualnyh-prav>.

9 **Kirilova, D. A., Maslov, N. S., Astaxova, T. N.** Perspektivy vnedreniya tehnologii blokchejn v sovremennuyu sistemu obrazovaniya [Perspectives of Implementing Blockchain Technology in the Modern Education System] [Text] // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Vol. 6. – № 8. – p. 31–37.

10 University of Nicosia is the first university in the world to publish diplomas of all graduating students on the blockchain [Electronic resource]. – Available at:

<https://www.unic.ac.cy/iff/research/blockchain-crypto-assets/blockchain-based-certifications>.

11 Blockchain-based certifications [Electronic resource]. – Available at: <https://www.unic.ac.cy/iff/research/blockchain-crypto-assets/blockchain-based-certifications>.

Г. М. Ткач¹, *Р. Е. Габдушев², А. С. Чернов³

^{1,2,3}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

КРИПТОВАЛЮТАДАН ТЫС БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Ұсынылған жұмыс криптовалюта саласынан тыс блокчейн технологияларын кеңінен қолдануды зерттейді, олардың экономика мен әлеуметтік өмірдің әртүрлі салаларына әсеріне баса назар аударады. Денсаулық сақтау, логистика, мемлекеттік басқару, зияткерлік меншікті қорғау және білім беру сияқты негізгі салаларға ерекше назар аударылады. Блокчейннің артықшылықтары, соның ішінде ашықтықты арттыру, транзакциялық шығындарды азайту, деректерді қорғауды жақсарту, цифрлық ортада сенімді қамтамасыз ету және смарт келісімшарттарды пайдалану арқылы процестерді автоматтандыру қарастырылады. Жұмыста блокчейн-шешімдерді табысты іске асыру мысалдары келтірілген: денсаулық сақтауда электрондық медициналық карталарды енгізу, жеткізу тізбегін оңтайландыру, авторлық құқықты қорғау және білім беру құжаттарының түпнұсқалығын қамтамасыз ету. Сондай-ақ, іске асырудың қиындықтары зерттеледі: интеграцияның күрделілігі, іске асырудың жоғары құны, мамандардың жетіспеушілігі, құқықтық кедергілер және ауқымдылық. Мақалада жасанды интеллект, IoT және үлкен деректер сияқты басқа технологиялармен блокчейн синергиясының перспективалары қарастырылады, әрі қарай зерттеу және практикалық қолдану бағыттары ұсынылады. Жұмыс блокчейн технологияларының ағымдағы жай-күйін, мүмкіндіктері мен даму перспективаларын талдау болып табылады, сондай-ақ бар кедергілерді жоюға және технологияларды қолдануды кеңейтуге бағытталған әрі қарайғы зерттеулердің негізгі бағыттарын анықтайды.

Кілтті сөздер: блокчейн технологиясы, денсаулық сақтау, логистика, мемлекеттік басқару, зияткерлік меншік, білім.

BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES BEYOND CRYPTOCURRENCIES

This paper explores the broad application of blockchain technology beyond the cryptocurrency sphere, focusing on its impact on various sectors of economic and social life. Particular attention is paid to key areas such as healthcare, logistics, government, intellectual property protection, and education. The benefits of blockchain are discussed, including increased transparency, reduced transaction costs, improved data protection, trust in the digital environment, and automation of processes through the use of smart contracts. The work provides examples of successful blockchain solutions: implementing electronic medical records in healthcare, optimizing supply chains, protecting copyrights, and ensuring the authenticity of educational documents. It also explores the challenges of implementation: integration complexity, high cost of implementation, lack of specialists, legal barriers and scalability. The article touches on the prospects of blockchain synergies with other technologies such as artificial intelligence, IoT and big data, and suggests directions for further research and practical applications. The research analyzes the current state, opportunities and prospects of blockchain technologies, and identifies key areas for further research aimed at removing existing barriers and expanding the application of the technology.

Keywords: blockchain technology, healthcare, logistics, public administration, intellectual property, education.

*М. Д. Турғанбай¹, М. Е. Айтжанова², Н. Қ. Нәдіров³

^{1,2,3}Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1595-7894>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0749-1775>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6011-8109>

*e-mail: tmyzhgt@mail.ru

РАЗРАБОТКА E-HEALTH СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА.

Внедрение цифровых технологий в здравоохранение открывает новые возможности для повышения качества медицинских услуг, ускорения процессов диагностики и оптимизации использования ресурсов. В то время как развитые страны активно используют передовые цифровые медицинские решения, такие как телемедицина, электронные медицинские карты и системы удаленного мониторинга, Казахстан, особенно его отдаленные регионы, все еще сталкивается с рядом вызовов, связанных с доступностью и качеством медицинской помощи. В данной статье проводится анализ современных медицинских цифровых решений, применяемых в России и других странах мира, с целью выявления их потенциала для адаптации в условиях Казахстана. Исследование направлено на определение ключевых барьеров, препятствующих внедрению цифровых технологий в систему здравоохранения, и разработку практических рекомендаций для их преодоления. Особое внимание уделено анализу текущего состояния электронного здравоохранения в Казахстане, а также изучению успешных международных практик, которые могут быть применены для улучшения ситуации. В статье рассматриваются такие аспекты, как географическая удаленность, дефицит медицинских кадров и недостаточное развитие цифровой инфраструктуры, которые являются основными препятствиями для внедрения телемедицинских технологий. На основе анализа предлагаются стратегии по интеграции передовых технологий, включая телемедицину, электронные медицинские карты и системы дистанционного наблюдения за пациентами, что позволит повысить доступность и эффективность медицинской помощи в Казахстане.

Ключевые слова: e-health, телемедицина, искусственный интеллект, цифровизация, Казахстан.

Введение

В последние годы цифровизация здравоохранения стала одним из ключевых направлений развития медицинской системы Казахстана [1]. Государственные программы, такие как «Информационный Казахстан-2020» и «Денсаулық», сыграли важную роль в создании основ для внедрения цифровых решений, включая телемедицину, электронные медицинские карты и национальные медицинские регистры [1]. Однако, несмотря на достигнутый прогресс, остаются вызовы, связанные с инфраструктурой, интеграцией данных и доступностью цифровых технологий в удаленных регионах [6]. Цифровые технологии стремительно внедряются в сферу здравоохранения Казахстана, улучшая диагностику, лечение и доступ к медицинским услугам. Например, более 5,8 тысяч государственных объектов здравоохранения уже оснащены медицинскими информационными системами, что позволило сократить время получения результатов лабораторных исследований в 5 раз (80 %) и снизить время оформления вызовов на дом на 60 % [2].

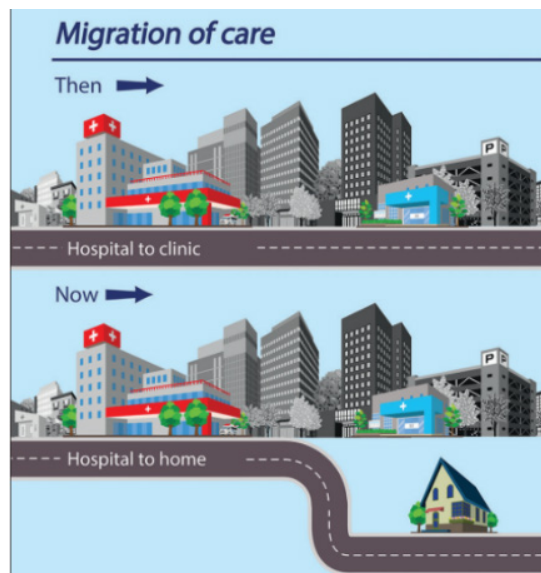


Рисунок 1 – Миграция ухода от «больницы в клинику» к «больнице на дом»

Благодаря внедрению современных IT-решений, таких как мобильные приложения для записи к врачу и получения результатов анализов, значительно сокращается время ожидания медицинской помощи. В частности, запись к участковому врачу теперь занимает в 4 раза меньше времени (80 %), а к узким специалистам – на 86,6 % быстрее по сравнению с традиционной системой, что особенно важно для пациентов с хроническими заболеваниями и жителей удаленных районов [2]. Пандемия COVID-19 значительно ускорила развитие телемедицины, сделав дистанционные консультации врачей востребованными среди пациентов. В России спрос на телемедицинские услуги вырос на 177 % в первом полугодии по сравнению с аналогичным периодом 2019 года, однако правовое регулирование все еще остается несовершенным, что создает барьеры для их дальнейшего развития [3]. Несмотря на наличие законодательной базы, закрепленной в Федеральном законе № 323-ФЗ и соответствующих приказах Минздрава, многие медицинские учреждения не торопятся внедрять телемедицинские технологии в практику из-за недостаточной правовой определенности, например, отсутствия четких норм о дистанционной постановке диагноза и лечении пациентов без очного визита [3].

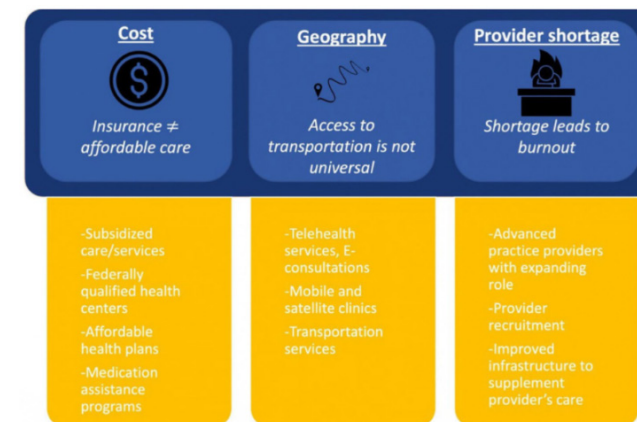


Рисунок 2 – Ключевые барьеры в сельском здравоохранении и предлагаемые решения

Как отмечается в работе IC-Bit (2025), обеспечение безопасности персональных данных пациентов является ключевым аспектом при выборе медицинских информационных систем, поскольку утечки данных зафиксированы у 66 % медицинских учреждений, а в 42 % случаев была потеряна личная информация клиентов [4].

Согласно исследованию [5] (2024), в 2023 году объем сегмента телемедицины в России достиг 3,76 млрд рублей, что на 50 % больше, чем годом ранее, и на 12% больше, чем во втором квартале, что подтверждает растущую популярность дистанционных медицинских услуг среди населения [5].

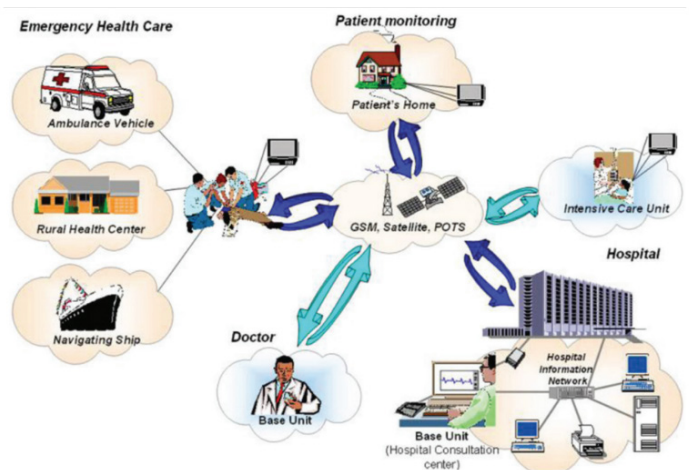


Рисунок 3 – Архитектура телемедицины

По данным агентства Smart Ranking, телемедицинские консультации «врач — пациент» в рамках ОМС превысили 9 миллионов случаев, увеличившись на 25% по сравнению с прошлым годом, что свидетельствует о значительном росте интереса к данному формату оказания медицинской помощи [5].

Развитие телемедицины и цифровых технологий в здравоохранении Казахстана

Казахстан активно развивает телемедицину, особенно в сельских регионах, где доступ к медицинским учреждениям ограничен, что позволило провести более 28 000 телеконсультаций в 2016 году, из которых 26 000 были организованы областными больницами (World Health Organization, 2019) [6]. Основное внимание в рамках телемедицины уделяется ведению хронических заболеваний, включая кардиологические, пульмонологические и неврологические случаи, что отражает глобальную тенденцию роста неинфекционных заболеваний и необходимость инновационных подходов к их лечению (World Health Organization, 2019) [6]. Несмотря на спад спроса на телемедицину после пандемии COVID-19, компания Teladoc Health продемонстрировала рост выручки на 3% в первом квартале

2024 года, достигнув \$646,1 млн, а продажи решений комплексного медицинского обслуживания увеличились на 8% (FFIN, 2024) [7]. Компания ожидает годовую выручку в диапазоне \$2,635–\$2,735 млрд, а также скорректированную EBITDA на уровне \$350–\$390 млн, что подтверждает устойчивость телемедицинского сектора и его долгосрочные перспективы (FFIN, 2024) [7]. Одной из ключевых проблем развития телемедицины является то, что многие онлайн-сервисы предоставляют исключительно информационные услуги, не имея лицензии на медицинскую деятельность, что ограничивает врачей в возможностях постановки диагноза и назначения лечения [8]. Кроме того, отсутствие обязательного очного приема пациента перед дистанционным наблюдением затрудняет полноценное ведение больных с хроническими и социально значимыми заболеваниями, что снижает эффективность телемедицинских услуг и доверие к ним со стороны пациентов [8]. Развитие цифровых технологий играет ключевую роль в трансформации государственных услуг, снижении издержек и повышении эффективности управления, что соответствует глобальным экономическим тенденциям, где цифровая экономика составляет от 4,5% до 15,5% мирового ВВП [9]. В Казахстане активное внедрение цифровых решений в государственное управление и здравоохранение направлено на повышение прозрачности, доступности услуг и преодоление барьеров, что является важной частью стратегии «Казахстан – 2050» [9].

Искусственный интеллект в медицине

Искусственный интеллект (ИИ) активно трансформирует медицину, улучшая диагностику, лечение и управление данными пациентов. Алгоритмы машинного обучения анализируют медицинские изображения и выявляют патологии с высокой точностью, что особенно важно в онкологии. ИИ также разрабатывает персонализированные схемы лечения, ускоряет создание новых лекарств и упрощает взаимодействие пациентов с врачами через виртуальных помощников. Основными технологиями являются машинное обучение, обработка естественного языка, компьютерное зрение и глубокое обучение. Применение ИИ в здравоохранении повышает точность диагностики, снижает нагрузку на врачей, персонализирует лечение и ускоряет медицинские исследования. В будущем ожидается автоматизация диагностики и лечения, развитие инновационных терапий и управление хроническими заболеваниями с помощью ИИ.

Ключевые моменты:

Диагностика: Анализ медицинских изображений, раннее выявление патологий.

Персонализированное лечение: ИИ адаптирует терапию под индивидуальные особенности пациента.

Разработка лекарств: Ускорение поиска новых препаратов и предсказание их взаимодействий.

Виртуальные помощники: Чат-боты и голосовые ассистенты помогают пациентам.

Основные технологии: Машинное обучение, NLP, компьютерное зрение, глубокое обучение.

Преимущества: Точность диагностики, экономия времени, автоматизация процессов.

Перспективы: Автоматизированные системы лечения, управление хроническими заболеваниями, новые методы терапии [10].

Принцип работы искусственного интеллекта в медицине основан на обработке и анализе больших объемов данных с помощью алгоритмов машинного обучения и нейросетей. ИИ обучается на медицинских изображениях, историях болезней, генетических данных и результатах исследований, выявляя закономерности и предсказывая возможные диагнозы или оптимальные схемы лечения. Компьютерное зрение анализирует снимки КТ, МРТ и рентгеновские изображения, а обработка естественного языка (NLP) помогает интерпретировать медицинские записи и научные публикации. Глубокое обучение позволяет моделировать сложные биологические процессы, что способствует точному прогнозированию эффективности терапии. Все эти технологии интегрируются в клиническую практику, облегчая врачам принятие решений и повышая качество медицинского обслуживания [10].

Материалы и методы

Для комплексного анализа эффективности и применимости цифровая медицина решений в Казахстане в данном исследовании используется смешанный метод (mixed-method approach), объединяющий как качественные, так и количественные методы исследования. Такой подход позволяет получить всестороннюю оценку текущего состояния цифрового здравоохранения, выявить существующие барьеры и предложить рекомендации по дальнейшему развитию данной сферы.

Сбор данных проводился по трем основным направлениям:

Анализ литературы

Был проведен детальный обзор научных статей, государственных отчетов, аналитических публикаций и международных исследований по теме электронного здравоохранения. Особое внимание уделялось:

успешным примерам внедрения цифровых медицинских платформ в России, Европе и других странах,

существующим государственным программам по цифровизации здравоохранения,

научным публикациям о влиянии телемедицины и цифровых медицинских решений на эффективность системы здравоохранения.

Опрос респондентов

Для получения актуальных данных о восприятии телемедицинских решений среди различных групп населения был проведен опрос, в котором приняли участие 242 человека. В выборку вошли:

медицинские работники (врачи, медсестры, администраторы клиник), ИТ-специалисты, работающие в сфере цифровой медицины, пациенты, активно использующие телемедицинские услуги.

Опрос был направлен на изучение уровня удовлетворенности цифровыми медицинскими сервисами, выявление проблемных зон и оценку перспектив их развития.

Анализ кейсов

Дополнительно были рассмотрены конкретные примеры внедрения электронных медицинских систем решений в разных странах, включая Россию, США, Великобританию и страны Европы. Анализ кейсов позволил выявить лучшие практики, а также потенциальные барьеры, с которыми сталкиваются системы здравоохранения при интеграции цифровых решений.

Дизайн и реализация опроса

Для сбора данных была разработана анкета, включающая следующие ключевые разделы:

Демографические данные: возраст, пол, регион проживания, уровень цифровой грамотности, опыт использования цифровые технологии в здравоохранении сервисов.

Использование цифровых медицинских услуг: частота использования, наиболее востребованные сервисы (телемедицина, электронные медицинские карты, мобильные приложения для здоровья).

Проблемы и барьеры: выявление трудностей, связанных с доступностью цифровых сервисов, качеством медицинских услуг, безопасностью данных.

Ожидания и перспективы: какие улучшения в медицинских цифровых решениях ожидают пользователи, какие технологии кажутся наиболее перспективными.

Опрос проводился онлайн и анонимно, что позволило респондентам свободно выражать свое мнение.

Анализ данных

Для обработки полученных данных использовались как количественные, так и качественные методы анализа.

Количественный анализ:

Оценка статистических данных с использованием методов корреляционного и частотного анализа.

Анализ тенденций в использовании информационных медицинских систем платформ на основе полученных ответов.

Качественный анализ:

Кодирование и категоризация открытых ответов для выявления повторяющихся тем и ключевых проблем, возникающих у пользователей.

Выявление наиболее значимых тенденций в отношении восприятия цифровых технологий в здравоохранении.

Сравнительный анализ e-health решений

Для объективного сравнения телемедицинских решений, применяемых в Казахстане, России и других странах, была разработана аналитическая модель, включающая три основных критерия:

Доступность и охват:

Доступность сервисов в городских и сельских районах.

Процент населения, имеющий доступ к телемедицине и электронным медицинским картам.

Технологические особенности:

Использование искусственного интеллекта и автоматизированных алгоритмов диагностики.

Интеграция с мобильными приложениями и электронными медицинскими картами.

Экономическая доступность и интеграция с системой здравоохранения:

Стоимость использования цифровых медицинских решений для пациентов.

Интеграция телемедицинских решений с государственными медицинскими учреждениями и программами медицинского страхования.

Этические аспекты исследования

Исследование было проведено с соблюдением всех этических норм, регулирующих сбор и обработку данных в сфере цифрового здравоохранения. Все участники опроса дали информированное согласие на участие в исследовании. Личностные данные и ответы анонимизированы для защиты конфиденциальности. Исследование соответствует международным стандартам защиты персональных данных и безопасности в сфере здравоохранения.

Используемая смешанная методология позволяет всесторонне изучить текущее состояние телемедицинских решений, выявить существующие проблемы и предложить стратегии их дальнейшего развития. В результате анализа получены важные данные, которые помогут адаптировать лучшие мировые практики к казахстанской системе здравоохранения и повысить доступность цифровых медицинских услуг для населения.

Результаты и обсуждение

Сектор телемедицины в России демонстрирует значительный рост. В 2019 году было проведено 650 000 консультаций, что почти вдвое больше, чем годом ранее. По прогнозам VEB Ventures, инвестиции в телемедицинские компании России увеличатся с 1,5 млрд рублей в 2019 году до 96 млрд рублей к 2025 году. Казахстан также развивает этот сектор, однако сталкивается с проблемами инфраструктуры, цифровой грамотности и регулирования.

Несмотря на барьеры, частные клиники в Казахстане внедряют видеоконсультации, а страховые компании начинают покрывать телемедицинские услуги. Однако, как и в России, очное посещение врача остается обязательным перед назначением лечения, что ограничивает развитие сектора. Казахстанские инвесторы изучают опыт международных платформ, таких как Teladoc Health, Amwell и MDLIVE, которые демонстрируют успешную интеграцию телемедицины с государственными системами здравоохранения.

Опыт международных e-health платформ

– Teladoc Health – глобальный лидер, предоставляющий 24/7 доступ к врачам и услуги по управлению хроническими заболеваниями.

– Amwell – сотрудничает с медицинскими учреждениями и страховщиками, предлагая гибкие решения.

– MDLIVE – фокусируется на доступности, фиксированных тарифах и консультациях с сертифицированными врачами.

– Doctor on Demand – делает упор на поддержку психического здоровья и профилактическую медицину.

– American TelePhysicians – интегрирует телемедицину и электронные медицинские записи для удобства врачей.

Использование этих моделей может ускорить цифровизацию медицины в Казахстане.

Для лучшего понимания различий и сходств между российскими и международными цифровыми медицинскими платформами был проведен сравнительный анализ. В таблице ниже представлено детальное сравнение по ключевым критериям, включая доступность, спектр услуг, стоимость и технологические инновации.

Критерий	Российские цифровые медицинские платформы	Международные цифровые медицинские платформы
Доступность	Доступны для граждан РФ с ОМС, ограничены в сельских районах.	Глобальная доступность, работают в 175+ странах.
Спектр услуг	Телемедицина, запись к врачу, электронные медкарты.	Дополнительно: психическое здоровье, управление хроническими болезнями, ИИ-диагностика.
Стоимость	Бесплатно или дешево для ОМС-пользователей, платные подписки в частных клиниках.	Гибкая модель: подписка, оплата за прием, страховое покрытие.
Технологии	Базовая телемедицина, ограниченное применение ИИ.	ИИ-диагностика, интеграция с носимыми устройствами, мониторинг пациентов.
Интеграция с мед системой	Связаны с Госуслугами и гос медучреждениями.	Частично интегрированы, но многие работают автономно.
Психическое здоровье	Ограниченные сервисы, доступны в спец центрах.	Расширенные услуги (Amwell, Doctor on Demand).
Удобство и экстренная помощь	Ориентированы на россиян, некоторые имеют мобильные приложения. Доступна на ограниченных платформах (Федеральная телемедицина).	Оптимизированные интерфейсы, кроссплатформенность. Работает на Teladoc Health и аналогах.

Согласно исследованию, опубликованному в Journal of General Internal Medicine (2024), в период с 2017 по 2021 год доля больниц в США, предоставляющих услуги телемедицины, выросла с 46 % до 72 %. Особенно резкий рост был зафиксирован в 2020–2021 гг. – количество телемедицинских сеансов увеличилось с 114 млн до 194,4 млн в ответ на пандемию COVID-19 [11].

Исследование, проведенное профессором Джоном Цзянем (John Jiang, Michigan State University), выявило значительные различия в доступности телемедицины в зависимости от типа учреждения. Так, небольшие коммерческие медицинские центры предлагали меньше телемедицинских услуг по сравнению с крупными некоммерческими и академическими учреждениями. В числе ключевых барьеров были названы проблемы с совместимостью медицинских информационных систем: 85% больниц

сообщили о трудностях при обмене медицинскими данными из-за различных платформ [11].

Также, несмотря на то что 90 % учреждений разрешают пациентам просматривать и скачивать свои медицинские записи, только 41% позволяют пользователям загружать данные онлайн [11]. Авторы исследования подчеркивают необходимость государственного стимулирования и устранения технических барьеров для дальнейшего устойчивого развития телемедицины.

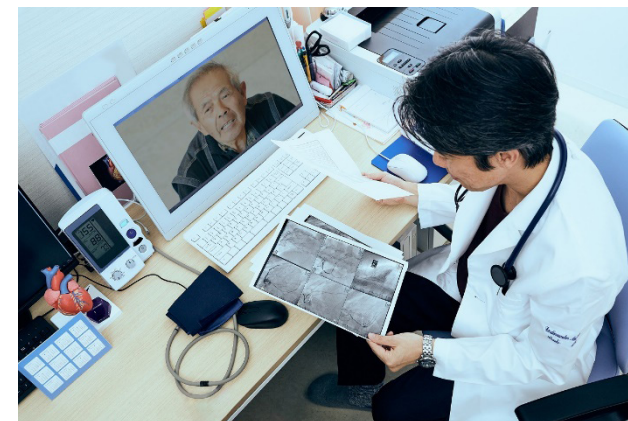


Рисунок 4 – Телемедицина в Японии

Опыт Японии показывает, что развитие телемедицины сопровождается серьёзными регуляторными ограничениями, особенно для негосударственных и немедицинских поставщиков цифровых медицинских услуг. Согласно обзору, подготовленному Aiko Yamada и Nobuki Wada (2022), в Японии только лицензированные врачи имеют право осуществлять медицинскую практику в соответствии со статьёй 17 Закона о медицинской практике. При этом «общие консультационные телездоровоохранительные сервисы», не содержащие постановки диагноза или интерпретации симптомов, могут предоставляться не врачами [12].

Дополнительные сложности возникают при использовании программного обеспечения как медицинского изделия (SaMD). Такое ПО должно быть сертифицировано в соответствии с законом о безопасности медицинских изделий (PMD Act). Степень риска, связанная с программой, и её предполагаемое применение (например, диагностика или лечение) определяют необходимость получения разрешения. Неправильное

позиционирование продукта может повлечь уголовную ответственность и штрафы [12].

Также телемедицинские платформы в Японии обязаны соответствовать строгим требованиям по информационной безопасности и защите персональных данных в соответствии с законом APPI. В случае утечки «чувствительных персональных данных» (например, медицинских записей) компания обязана уведомить пострадавших и государственные органы [12] Японская практика подчёркивает важность юридической экспертизы и точного соответствия нормативным требованиям на всех этапах внедрения телемедицины.

Канада по праву считается одним из лидеров в области телемедицины. Рост отрасли в среднем составляет около 35% в год, что связано с необходимостью обеспечивать медицинскими услугами удалённые территории и высоким уровнем развития телекоммуникационных технологий. Ярким примером служит канадская компания Tech4Life, базирующаяся в провинции Онтарио [13].

Компания разработала переносной телемедицинский комплект Sojro, включающий в себя диагностические инструменты, модуль передачи данных и специализированное программное обеспечение MDConsults. Эта система позволяет врачам дистанционно обследовать пациентов, находящихся в труднодоступных районах. В условиях пандемии COVID-19 Tech4Life быстро адаптировала свою разработку под нужды борьбы с вирусом, внедрив инструменты для мониторинга уровня кислорода в крови и другие функции [13].



Рисунок 5 – Набор телемедицины для комплексного ухода на дому от Tech4Life



Рисунок 6 – Телемедицинский комплект скорой помощи во время поездок в больницы от Tech4Life

Генеральный директор компании, доктор Шарих Ходжа, отметил, что одна из главных целей — решение реальных проблем доступности медицины для развивающихся стран. Благодаря поддержке Канадской службы торговых комиссаров, компания успешно вышла на рынки таких стран, как Кения, Индия, Пакистан, Нигерия и Оман. Продукт Sojro также применяется в сфере охраны материнского здоровья — одна из его версий позволяет проводить УЗИ плода в полевых условиях [13].

Кроме того, Tech4Life работает над решением проблем безопасной передачи данных в условиях отсутствия стабильного интернета, а также над созданием неинвазивного устройства для мониторинга уровня гемоглобина, что может спасти миллионы жизней в регионах без доступа к лабораторной диагностике [13].

Выводы

Развитие цифрового здравоохранения в Казахстане требует устранения законодательных и инфраструктурных барьеров. Применение успешных международных практик, таких как интеграция ИИ, улучшение доступа в сельской местности и повышение квалификации врачей, ускорит цифровую трансформацию медицины. Эффективное сотрудничество государства, частного сектора и медицинских учреждений позволит Казахстану создать современную систему медицинских информационных системах, обеспечивая качество, доступность и эффективность медицинских услуг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Правительство Республики Казахстан. Инновационные технологии, электронная документация и сокращение расходов: Как развивается цифровизация в сфере здравоохранения. Prime Minister of Kazakhstan. 2020. [Электронный ресурс]. – <https://primeminis-ter.kz/ru/news/reviews/innovacionnye-tehnologii-elektronnaya-doku-mentaciya-i-sokrashchenie-rashodov-kak-razvivaetsya-cifrovizaciya-v-sfere-zdravoohraneniya-20103932>

2 Мурсалимова, З. Цифровая медицина: помощь населению страны. Вести Семей. 2022. [Электронный ресурс]. – <https://vestisemey.kz/13686/tsifrovaya-medsina-v-pomosch-naseleniyu-strany.html>.

3 Сазонова, М. Доктор онлайн: правовые аспекты телемедицины в России. Гарант 2020. [Электронный ресурс]. – <https://www.garant.ru/article/1405237>.

4 1С-Бит. Какая электронная медицинская карта подходит вашей клинике? 1С-Бит Блог. 2025. – [Электронный ресурс]. – <https://semej.1cbit.kz/blog/kakaya-elektronnaya-medsinskaya-karta-podkhodit-vashey-klinike>.

5 Егоров, А. Рынок телемедицины вырос в полтора раза. Коммерсантъ. 2024. – [Электронный ресурс]. – <https://www.kommersant.ru/doc/6532531>.

6 Всемирная организация здравоохранения. Телемедицина в Казахстане: умные медицинские сервисы. WHO Europe, 2019. – [Электронный ресурс]. – <https://www.who.int/europe/ru/news/item/01-02-2019-telemedicine-in-kazakhstan-smart-health-services-delivery>.

7 FFIN. Телемедицина Teladoc: стабильная рентабельность и улучшенный прогноз. FFIN Kazakhstan. 2024. – [Электронный ресурс]. – <https://ffin.kz/news/35623-telemeditsina-teladoc-stabilnaya-rentabelnost-i-uluchshennyy-prognoz>.

8 Evercare. Услуги телемедицины в России. Evercare. 2020. – [Электронный ресурс]. – https://evercare.ru/sites/default/files/2020-09/2_5445055784343832629.pdf.

9 Казиева, А. Цифровая трансформация как процесс социального и экономического развития, 2022. [Текст] // Государственный аудит, № 2, С. 33–45.

10 Astana Hub. Искусственный интеллект в медицине: текущие достижения и перспективы. Astana Hub Blog, 2024. – [Электронный ресурс]. – <https://astanahub.com/ru/blog/iskusstvennyi-intellekt-v-medsine-tekushchie-dostizheniya-i-perspektivy>.

11 Jiang, J., Kvedar, J. C., Forster, V. Study finds rapid rise of telehealth use in U.S. hospitals. Journal of General Internal Medicine. 2024. [Электронный ресурс]. – <https://www.forbes.com/sites/victoriaforster/2024/07/12/rapid-rise-of-telehealth-use-in-us-hospitals>.

12 Yamada, A., Wada, N. A quick regulatory guide to tele-health services in Japan. K&L Gates. 2022. – [Электронный ресурс]. – <https://www.healthcareitnews.com/news/asia/quick-regulatory-guide-tele-health-services-japan>.

13 Trade Commissioner Service. Telemedicine company succeeds through helpful connections to global contacts. Government of Canada. 2021. – [Электронный ресурс]. – <https://www.tradecommissioner.gc.ca/canadexport/0005273.aspx?lang=eng>.

REFERENCES

- 1 Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. Innovatsionnye tekhnologii, elektronnyaya dokumentatsiya i sokrashchenie rashodov: Kak razvivaetsya tsifrovizatsiya v sfere zdravookhraneniya [Innovative Technologies, Electronic Documentation, and Cost Reduction: How Digitalization is Developing in Healthcare]. Prime Minister of Kazakhstan. 2020. – [Electronic resource]. – <https://primeministern.kz/ru/news/reviews/innovacionnye-tehnologii-elektronnyaya-dokumentatsiya-i-sokrashchenie-rashodov-kak-razvivaetsya-tsifrovizatsiya-vsphere-zdravookhraneniya-20103932>.
- 2 Mursalimova, Z. Tsifrovaya meditsina: pomoshch' naseleniyu strany [Digital Medicine: Helping the Country's Population]. Vesti Semey. 2022. [Electronic resource]. – <https://vestisemey.kz/13686/tsifrovaya-meditsina-v-pomosch-naseleniyu-strany.html>.
- 3 Sazonova, M. Doktor onlayn : pravovye aspekty telemeditsiny v Rossii [Doctor Online : Legal Aspects of Telemedicine in Russia]. Garant. 2020. [Electronic resource]. – <https://www.garant.ru/article/1405237/>.
- 4 1C-Bit. Kakaya elektronnyaya meditsinskaya karta podkhodit vashey klinike? [Which Electronic Medical Record is Right for Your Clinic?] 1C-Bit Blog. 2025. [Electronic resource]. – <https://semej.1cbit.kz/blog/kakaya-elektronnyaya-meditsinskaya-karta-podkhodit-vashey-klinike>.
- 5 Egorova, A. Rynok telemeditsiny vyros v poltora raza [Telemedicine Market Grew by One and a Half Times]. Kommersant. 2024. [Electronic resource]. – <https://www.kommersant.ru/doc/6532531>.
- 6 Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya. Telemeditsina v Kazakhstane: umnye meditsinskiye servisy [Telemedicine in Kazakhstan: Smart Health Services]. WHO Europe. 2019. – [Electronic resource]. – <https://www.who.int/europe/ru/news/item/01-02-2019-telemedicine-in-kazakhstan-smart-health-services-delivery>.
- 7 FFIN. Telemeditsina Teladoc: stabil'naya rentabel'nost' i uluchshennyy prognoz [Telemedicine Teladoc: Stable Profitability and Improved Forecast]. FFIN Kazakhstan. – 2024. – [Electronic resource]. – <https://ffin.kz/news/35623-telemeditsina-teladoc-stabilnaya-rentabelnost-i-uluchshennyy-prognoz>.
- 8 Evercare. Uslugi telemeditsiny v Rossii [Telemedicine Services in Russia]. Evercare. 2020. – [Electronic resource]. – https://evercare.ru/sites/default/files/2020-09/2_5445055784343832629.pdf.
- 9 Kazieva, A. Tsifrovaya transformatsiya kak protsess sotsial'nogo i ekonomicheskogo razvitiya [Digital Transformation as a Process of Social and Economic Development]. 2022. – [Text] // Gosudarstvennyy audit, № 2, p. 33–45.

- 10 Astana Hub. Iskusstvennyy intellekt v meditsine: tekushchie dostizheniya i perspektivy [Artificial Intelligence in Medicine: Current Achievements and Prospects]. Astana Hub Blog. 2024. [Electronic resource]. – <https://astanahub.com/ru/blog/iskusstvennyi-intellekt-v-meditsine-tekushchie-dostizheniya-i-perspektivy>.
- 11 Jiang, J., Kvedar, J. C., Forster, V. (2024). Study finds rapid rise of telehealth use in U.S. hospitals. Journal of General Internal Medicine. 2024. [Electronic resource]. – <https://www.forbes.com/sites/victoriaforster/2024/07/12/rapid-rise-of-telehealth-use-in-us-hospitals/>.
- 12 Yamada, A., Wada, N. A quick regulatory guide to telehealth services in Japan. K&L Gates. 2022. [Electronic resource]. – <https://www.healthcareitnews.com/news/asia/quick-regulatory-guide-telehealth-services-japan>.
- 13 Trade Commissioner Service. Telemedicine company succeeds through helpful connections to global contacts. Government of Canada. 2021. [Electronic resource]. – <https://www.tradecommissioner.gc.ca/canadexport/0005273.aspx?lang=eng>.

***М. Д. Турганбай¹, М. Е. Айтжанова², Н. Қ. Нәдіров³**

^{1,2,3}Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ШАЛҒАЙ АЙМАҚТАРЫ ҮШІН Е-HEALTH ЖҮЙЕСІН ДАМУ

Денсаулық сақтау саласына цифрлық технологияларды енгізу медициналық қызметтердің сапасын арттыруға, диагностика процестерін жеделдетуге және ресурстарды тиімді пайдалануға жаңа мүмкіндіктер ашады. Дамыған елдер телемедицина, электрондық медициналық карталар және қашықтан бақылау жүйелері сияқты озық e-health шешімдерін белсенді түрде қолдануда. Алайда, Қазақстан, әсіресе оның шалғай аймақтары, медициналық көмектің қолжетімділігі мен сапасына қатысты бірқатар мәселелерге тап болуда. Бұл мақалада Ресей мен басқа да елдерде қолданылатын заманауи e-health шешімдері талданып, оларды Қазақстан жағдайына бейімдеу мүмкіндігі қарастырылады. Зерттеу отандық денсаулық сақтау жүйесіне цифрлық технологияларды енгізуге кедергі келтіретін негізгі тосқауылдарды анықтауға және оларды еңсеру бойынша практикалық ұсыныстар әзірлеуге бағытталған. Мақалада электрондық денсаулық сақтаудың қазіргі жағдайына талдау жасалып, Қазақстанда жағдайды жақсарту үшін қолдануға болатын табысты халықаралық тәжірибелер зерттеледі. Географиялық оқшаулану, медицина

мамандарының тапшылығы және цифрлық инфрақұрылымның жеткіліксіз дамуы сияқты негізгі мәселелер қарастырылады. Талдау негізінде телемедицина, электрондық медициналық карталар және пациенттерді қашықтан бақылау жүйелері сияқты заманауи технологияларды енгізу стратегиялары ұсынылады. Бұл Қазақстандағы медициналық көмектің қолжетімділігі мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: e-health, телемедицина, жасанды интеллект, цифрландыру, Қазақстан.

*M. D. Turganbay¹, M. E. Aitghanova², N. K. Nadirov³

^{1,2,3}Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana.

DEVELOPMENT OF AN E-HEALTH SYSTEM FOR REMOTE REGIONS OF KAZAKHSTAN

The integration of digital technologies into healthcare opens new opportunities for improving medical service quality, accelerating diagnostic processes, and optimizing resource utilization. While developed countries actively implement advanced e-health solutions such as telemedicine, electronic medical records, and remote monitoring systems, Kazakhstan—especially its remote regions—still faces several challenges related to the accessibility and quality of medical care. This paper analyzes modern e-health solutions applied in Russia and other countries to identify their potential for adaptation in Kazakhstan. The research aims to determine key barriers hindering the implementation of digital technologies in the national healthcare system and to develop practical recommendations for overcoming these challenges. Special attention is given to analyzing the current state of digital healthcare in Kazakhstan and exploring successful international practices that can be applied to improve the situation. The study examines factors such as geographical remoteness, a shortage of medical personnel, and insufficient digital infrastructure development, which serve as major obstacles to the implementation of e-health solutions. Based on the analysis, strategies for integrating advanced technologies, including telemedicine, electronic medical records, and remote patient monitoring systems, are proposed to enhance the accessibility and efficiency of healthcare services in Kazakhstan.

Keywords: e-health, telemedicine, artificial intelligence, digitalization, Kazakhstan.

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»

SRSTI 62.254.1

DOI

*A. A. Baratova¹, K. Zh. Bekmyrza²,
A. M. Kabyshev³, N. K. Aidarbekov⁴, K. A. Kuterbekov⁵

^{1,2,3,4,5}L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7015-3657>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5421-271X>

*e-mail: aa.baratova@yandex.kz

NON-DESTRUCTIVE SPATIAL CONTROL OF HYDROGEN ENERGY MATERIALS

Modern research in the field of hydrogen energy requires not only the development of new materials for hydrogen storage and transportation but also the implementation of innovative methodological approaches for their analysis. This study proposes a conceptually new approach for assessing the uniformity and stability of hydrogen materials, based on an analogy with dosimetric verification methods traditionally used in radiation therapy. Specifically, the Delta4 Phantom+ phantom model and GafChromic EBT3 radiochromic film, widely applied in tomotherapy, were adapted for the spatial and temporal visualization of hydrogen distribution both within the material volume and across cross-sections.

The concept of «hydrogen gamma-analysis» has been introduced, which includes the quantitative evaluation of discrepancies between theoretically calculated and experimentally measured parameters (hydrogen capacity, ionic conductivity, and defect density). Model experimental data are provided to demonstrate the applicability of this methodology to a range of oxide and intermetallic systems.

The use of approaches analogous to those employed with EBT3 additionally enabled the evaluation of hydrogen distribution in planar sections, the localization of degradation zones, and the analysis of changes in material properties over time. The proposed methodological framework can be utilized for modeling material degradation during

cyclic loading, assessing local inhomogeneities, and optimizing the composition of hydrogen storage materials.

Keywords: hydrogen materials, Delta⁴ phantom, GafChromic EBT3 film, gamma analysis, hydrogen diffusion.

Introduction

The relevance of hydrogen energy development is driven by global priorities aimed at achieving a carbon-neutral economy, expanding the use of autonomous power systems, and seeking sustainable and environmentally friendly energy sources. In this context, solid oxide fuel cells (SOFCs) play a key role, providing direct and highly efficient conversion of hydrogen's chemical energy into electricity with minimal losses and harmful emissions [1, p. 4569-4573; 2, p. 2300454-2300462].

SOFCs, as next-generation devices, impose stringent requirements on the materials comprising their functional layers. Critical among these are the anode and electrolyte components, which must ensure stable ionic conductivity, resistance to high-temperature conditions, and mechanical durability over prolonged operational periods. However, practical experience shows that one of the major factors limiting the longevity and efficiency of these systems is the non-uniform distribution of hydrogen, the formation of localized degradation zones, the loss of structural integrity, and the decline in transport properties during thermal cycling and extended service life [3, p. 1238-1240; 4, p. 112347-112355].

Particular attention in modern developments is given to the structural-functional diagnostics of hydrogen materials, enabling the monitoring not only of macroscopic parameters but also of their internal spatial inhomogeneity. These materials include dense and porous ion-conducting oxides, intermetallic composites, and layered structures with supporting anodes. The main challenge lies in the lack of universal and reproducible tools for assessing the spatial distribution of ionic conductivity, hydrogen concentration, and associated defects within the material volume. Current methods—such as electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and thermal desorption spectroscopy (TDS)—do not provide the required resolution or are not applicable under real-world operational conditions [5, p. 126-130].

In this regard, the aim of the present study is to develop and validate an interdisciplinary methodology based on dosimetric approaches traditionally used in radiation medicine, particularly in the verification of tomotherapy treatment plans. The proposed approach involves the transfer of spatial dose assessment principles to the diagnostics of hydrogen-functional materials, utilizing the following tools: Delta4 Phantom+ for modeling the 3D distribution of parameters within the material volume, and GafChromic EBT3 for visualizing local

deviations and defects in planar cross-sections. The analytical system includes the evaluation of the uniformity of ionic conductivity distribution; the identification of degradation zones and phase boundaries; and the use of planar visualization to enable non-destructive control of ionic conductivity, hydrogen permeability, and morphological characteristics within the functional layers of solid oxide fuel cells (SOFCs) [6, p. 7128-7134; 7, p. 5018-5028].

The proposed approach is non-destructive, modular, and can be integrated into both experimental diagnostics and the modeling and engineering design of SOFCs.

Thus, the interdisciplinary methodology—combining principles of medical physics, materials science, and hydrogen engineering—serves as a potentially effective tool for innovative diagnostics, stability assessment, and optimization of hydrogen energy system architectures.

Materials and methods

The proposed methodology is designed for spatial-structural analysis of critical parameters in hydrogen materials used in storage systems and SOFCs. This approach is based on the methodological transfer of dosimetric systems, traditionally employed for radiotherapy plan verification, to the field of materials science and diagnostics of functional properties in solid-state hydrogen carriers. This interdisciplinary method integrates principles from medical physics, materials science, and hydrogen engineering, offering a potentially effective tool for innovative diagnostics, stability assessment, and optimization of hydrogen energy system designs [8, p. 2-7; 9, p. 3-8].

To conduct the spatial analysis, functional materials used in the structure of SOFCs were synthesized and investigated. The electrolytes were fabricated using the laser evaporation method, which enabled the production of high-purity oxide compositions with controlled particle sizes and uniform crystalline structures. Samples of ScSZ ($\text{Zr}_{0.81}\text{Sc}_{0.19}\text{O}_{2-\delta}$) and YSZ ($\text{Zr}_{0.84}\text{Y}_{0.16}\text{O}_{2-\delta}$) were obtained with particle sizes of approximately 11.0 μm and 15.5 μm , respectively, while GDC ($\text{Ce}_{0.73}\text{Gd}_{0.27}\text{O}_{2-\delta}$) exhibited an ultrafine structure ($\sim 0.02 \mu\text{m}$), which is particularly beneficial for lowering the sintering temperature threshold and enhancing layer density. All electrolytes were sintered at a temperature of 1300 °C.

The cathode materials were synthesized using low-temperature chemical methods for nanostructure formation. LSM ($\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$) was obtained via the polymer-salt pyrolysis method, while LSCF ($\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$) was synthesized using the solution combustion technique. These approaches provided homogeneous cation distribution, an active catalytic phase, and the required porosity for efficient oxygen reduction reactions. The sintering temperature for both cathode materials ranged from 1100 to 1150 °C.

The anode material NiO was synthesized using the wire explosion method, resulting in the formation of spherical particles with a high specific surface area.

This morphology facilitates uniform distribution within the anode layer and ensures stable reduction under hydrogen-rich conditions. The sintering of the anode was also carried out at 1100–1150 °C.

The synthesis methods were selected to ensure layer compatibility, optimal microstructure, and maximum conductivity while maintaining mechanical stability under cyclic operation of solid oxide fuel cells (SOFCs). The resulting samples were subsequently utilized for spatial analysis using dosimetric systems Delta4 Phantom+ and GafChromic EBT3, enabling non-destructive assessment of the quality, uniformity, and stability of the fabricated structures [10, p. 835-843; 11, p. 356-360].

Figure 1 illustrates a conceptual framework for cross-sectoral transfer of technologies from medical physics to the field of hydrogen energy.

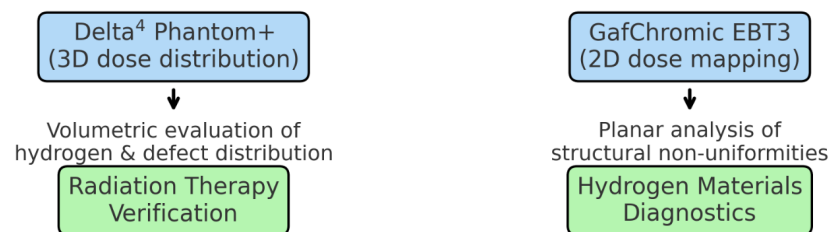


Figure 1 – Methodological transfer of dosimetry approaches to hydrogen energy

Figure 1 illustrates how these technologies are adapted for hydrogen energy applications: Delta4 Phantom+ is interpreted as a three-dimensional diagnostic matrix for parameter distribution within the multilayer structure of SOFCs. This approach enables the replacement of static control with active volumetric analysis. GafChromic EBT3 is perceived as a tool for cross-sectional analysis of functional layers, applicable for identifying micropores, phase boundaries, initial cracks, and degradation in the anode-electrolyte and cathode layers [12, p. 754-755; 13, p. 449-456; 14, p. 152-158].

Figure 2 presents the multilayer profile of a SOFC, comprising the cathode (LSCF, LSM), electrolyte (ScSZ, YSZ, GDC), and anode (NiO).

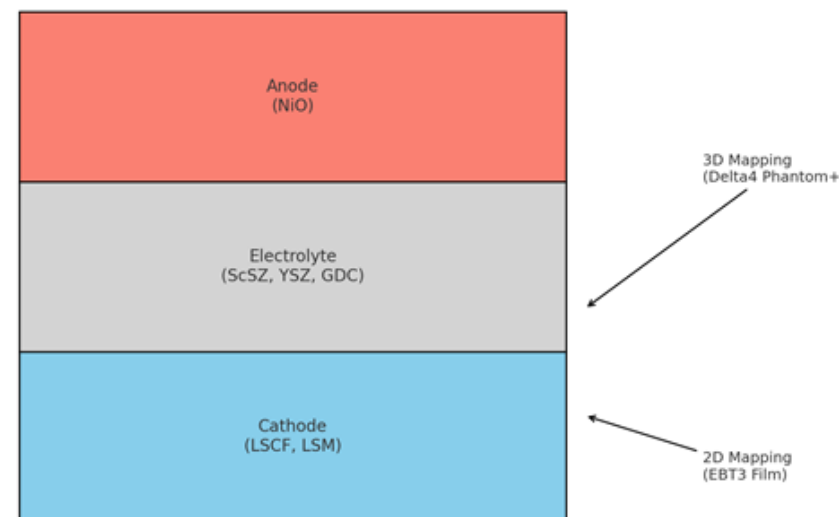


Figure 2 – Structure of SOFC with diagnostic zones

Each of these layers differs in density, structure, and function, thus requiring an individualized diagnostic approach. This visual format facilitates the interpretation of engineering defects and aids in the design and optimization of SOFC architecture. The depicted multilayer structure reveals potential risk zones associated with thermal stresses, mismatches in thermal expansion coefficients, and phase transitions—factors that are critical for improving the reliability of hydrogen energy systems.

Spatial-structural modeling not only enhances the effectiveness of quality control but also establishes a foundation for predictive engineering design of high-performance hydrogen cells. Furthermore, material distribution analysis allows for targeted adjustments to sintering and reduction parameters, minimizing degradation processes under operational conditions. In this way, long-term durability, structural stability, and high performance of next-generation hydrogen power units are ensured [15, p. 789-803; 16, p. 9250-9262; 17, p. 6599-6605].

The table 1 below summarizes the specific properties of the main electrolyte materials used in the study.

These include ScSZ, YSZ, and GDC, each offering distinct advantages in terms of ionic conductivity, sintering behavior, and thermal stability. These materials were used in the fabrication and evaluation of the SOFC structures analyzed in this study.

These data highlight the trade-offs between conductivity and operational resilience. While ScSZ offers the highest conductivity, YSZ is more stable under prolonged thermal cycling, and GDC shows promise for lower-temperature applications but is less stable in hydrogen-rich environments.

Table 1 – Comparative Properties of Electrolyte Materials for SOFC Applications

Material	Composition	Ionic conductivity (S/cm)	Sintering temperature (°C)	Thermal stability
ScSZ	$Zr_{0.81}Sc_{0.19}O_{2-\delta}$	0.20–0.25	1350–1500	High, sensitive to reduction
YSZ	$Zr_{0.84}Y_{0.16}O_{2-\delta}$	0.10–0.12	1450–1550	Very high, reliable in cycling
GDC	$Ce_{0.73}Gd_{0.27}O_{2-\delta}$	0.12–0.14	1200–1300	High in air, reduced in H_2
LSM	$La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$	Cathode	~100–150 at 800 °C	Stable in air
LSCF	$La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$	Cathode	~200–300 at 600–800 °C	Moderate, less stable in H_2
NiO	NiO	Anode	Metallic (after reduction)	Redox-sensitive

The proposed spatial-structural analysis methodology demonstrates high efficiency in the comprehensive evaluation of hydrogen materials used in SOFCs. The adaptation of Delta⁴ Phantom+ and GafChromic EBT3 dosimetric systems from the field of radiation medicine enabled the implementation of non-destructive control methods with high sensitivity for both volumetric (3D) and planar (2D) assessment of multilayer structures. The synthesized samples of ScSZ, YSZ, and GDC, along with the cathode and anode materials (LSM, LSCF, NiO), characterized by morphology, conductivity, and stability, confirmed their compatibility and functionality at standard sintering temperatures.

Spatial modeling and experimental mapping revealed key aspects of thermal behavior and interfacial interactions that are critical for the reliable operation of SOFCs under cyclic loading conditions. The results demonstrate that properly selected materials—accounting for their microstructural and thermochemical properties—combined with the visualization of deviations using γ -analysis and radiochromic diagnostics, form the foundation for predictive and adaptive design of hydrogen energy systems. Thus, the developed methodology serves as an effective tool for both fundamental research and engineering optimization in the field of hydrogen energy.

Results and discussion

The spatial distribution map of the γ -index, reflecting the level of deviation between calculated and experimentally measured characteristics of SOFC functional layers, is presented in Figure 3.

This map is constructed based on measurements obtained using the Delta4 Phantom+ system and represents a spatial γ -index distribution. It enables the localization of areas with $\gamma > 1$, which potentially indicate defects in the anode-electrolyte structure. The foundation of γ -analysis lies in the comprehensive evaluation of both magnitude and spatial alignment of parameters, making it an effective tool for non-destructive quality control.

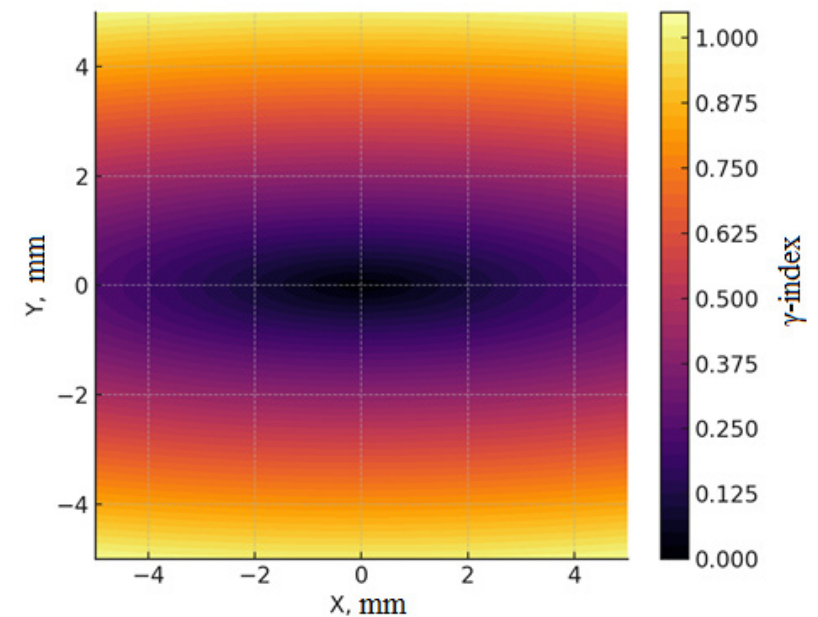


Figure 3 – Spatial γ -index map reflecting deviations of SOFC parameters from the model distribution

On the γ -index map in Figure 3, zones with $\gamma < 1$ are clearly distinguished, corresponding to stable regions where the structure and material parameters align with the calculated expectations. These zones are typically localized in the central areas of the well-sintered electrolyte layer made of ScSZ or YSZ. Both materials exhibit high ionic conductivity and are intended for oxygen ion transport at elevated temperatures. ScSZ, in particular, provides maximum conductivity but

requires strict control of the redox environment, as it is prone to phase transitions under fluctuations in oxygen partial pressure [18, p.40-44; 19, p. 238-244; 20, p. 1127–1131].

Regions with $\gamma > 1$ indicate local discrepancies—potential zones of degradation, instability, or structural defects. Such deviations often occur in the transition zone between the electrolyte and the anode, where NiO is used as the active component of the anode layer. Upon reduction in a hydrogen atmosphere, NiO transforms into porous metallic nickel, forming an active region through which hydrogen is transported. However, these zones are subject to elevated thermal and mechanical stresses, especially in cases of non-uniform sintering or mismatched thermal expansion coefficients between nickel and the electrolyte.

In some design configurations, buffer or barrier layers made of GDC are also used to mitigate chemical interactions between the electrodes and the electrolyte. However, despite its high ionic conductivity at lower temperatures, GDC is susceptible to reduction in a hydrogen atmosphere, leading to oxygen loss from the crystal lattice, volume changes, and the emergence of local mechanical stresses. These processes are also visualized as regions with $\gamma > 1$.

Thus, the γ -index map enables correlation of specific regions within the functional material to their physicochemical state. The use of ScSZ, YSZ, GDC, and NiO requires precise optimization of processing parameters—including sintering temperature, atmospheric composition, and cooling rate—to minimize deviations and enhance the durability of hydrogen energy systems. γ -analysis becomes a key tool for identifying such risk zones already at the stages of development and testing of SOFC components.

Figure 4 illustrates the morphological characteristics of the investigated samples used in the SOFC structure, obtained by scanning electron microscopy (SEM).

The investigated powders include electrolyte materials ScSZ, YSZ, GDC, cathodes LSM and LSCF, and the anode material NiO. The images in Figure 4 provide both quantitative and visually significant information on particle size, aggregation, shape, porosity, and homogeneity—factors that determine microstructural compatibility within the multilayer architecture of fuel cells.

ScSZ (Figure 4) exhibits the most favorable morphology, characterized by spherical and isometric particles with a low degree of aggregation. This shape promotes uniform layer packing, predictable sintering behavior, and minimal intergranular voids. These features are particularly important during cell operation under high-temperature cycling, where structural stability directly affects ionic conductivity and durability. In comparison, the YSZ sample (Figure 4) shows a broader particle size distribution, the presence of agglomerated particles, and irregular grain shapes. Such characteristics can complicate sintering, reduce layer

density, and lead to inhomogeneities in oxygen ion distribution, especially at the peripheral regions of the cell.

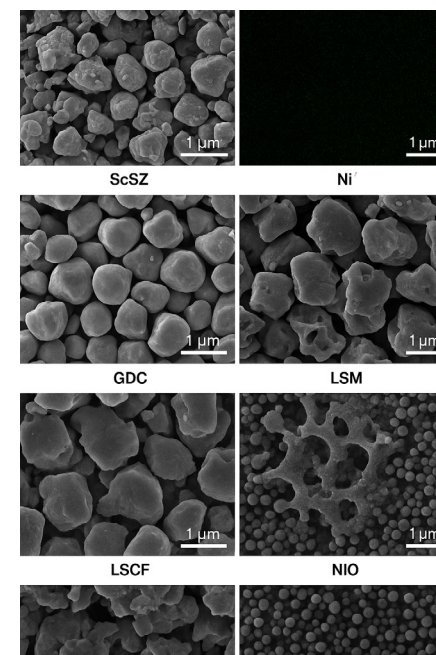


Figure 4 – SEM morphology of ScSZ, YSZ, GDC, LSM, LSCF, NiO powders

ScSZ (Figure 4) exhibits the most favorable morphology, characterized by spherical and isometric particles with a low degree of aggregation. This shape promotes uniform layer packing, predictable sintering behavior, and minimal intergranular voids. These features are particularly important during cell operation under high-temperature cycling, where structural stability directly affects ionic conductivity and durability. In comparison, the YSZ sample (Figure 4) shows a broader particle size distribution, the presence of agglomerated particles, and irregular grain shapes. Such characteristics can complicate sintering, reduce layer density, and lead to inhomogeneities in oxygen ion distribution, especially at the peripheral regions of the cell.

LSCF exhibits finer porosity and smaller grain sizes, which positively affect the reactive surface area and the implementation of mixed ionic-electronic conductivity, especially in thin cathode layers. The NiO sample (Figure 4) displays a spherical morphology formed as a result of explosive evaporation. This particle

shape promotes uniform distribution within the layer and, after reduction in a hydrogen atmosphere, forms a structurally stable and porous anode zone. However, it is important to consider that improper reduction conditions may lead to the formation of dense, non-conductive phases or microcracks, particularly in cases of non-uniform layer deposition.

Thus, the morphological analysis of all investigated powder samples confirms the necessity of individually selecting thermal and processing parameters when forming the functional layers of SOFCs. SEM analysis serves as a critical preliminary stage that enables prediction of material behavior during operation and ensures engineering compatibility of components within the multilayer fuel cell architecture.

Figure 5 presents the energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) spectra of the investigated materials.

Each spectrum allows for the visual differentiation of characteristic X-ray emission peaks corresponding to specific elements, thereby enhancing the clarity and accuracy of data interpretation.

The EDS spectrum of ScSZ (Figure 5) exhibits well-defined peaks of zirconium (Zr) and scandium (Sc), accompanied by oxygen (O). These peaks confirm the declared composition of the material, $Zr_{0.81}Sc_{0.19}O_{2.8}$ and correspond to the expected emission energy values. Similarly, the spectrum of YSZ (Figure 5) is dominated by Zr and yttrium (Y) peaks, indicating a stable and predictable structure with high purity. Both spectra are characterized by a low level of peak overlap, which facilitates quantitative analysis.

For GDC (Figure 5), two key peaks—Ce and Gd—are observed, with well-separated energy maxima.

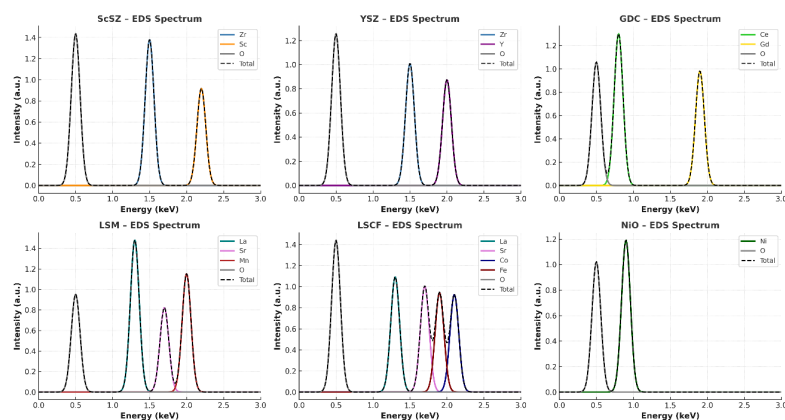


Figure 5 – EDS spectra for ScSZ, YSZ, GDC, LSM, LSCF, NiO

This is critically important for reliable quantitative analysis, as it helps avoid cross-interference commonly encountered in complex oxide systems. The spectrum also shows a significant contribution from oxygen, typical for the fluorite-like structure of CeO_2 . The cathode materials (LSM and LSCF) exhibit more complex spectra. In LSM, distinct peaks of La, Sr, Mn, and O are present, corresponding to the perovskite structure of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$. In LSCF, in addition to La and Sr, characteristic peaks of cobalt (Co) and iron (Fe) appear, reflecting the material's mixed ionic-electronic conductivity and enhanced activity in oxygen-related reactions. The complexity and peak overlap in the 1.8–2.2 keV region require careful attention to spectrometer resolution and background approximation during actual measurements. The anode material NiO shows a classical spectrum of a binary compound with two dominant peaks—nickel and oxygen. The proportional height of the peaks aligns with the expected stoichiometric ratio. The simplicity of the spectrum makes NiO a convenient candidate for rapid evaluation of reduction extent after sintering and operation in a hydrogen environment.

Thus, the presented set of EDS spectra enables not only the identification of the elemental composition of each material but also the assessment of its homogeneity, potential impurities, and suitability for integration into multilayer fuel cell structures. The obtained elemental profiles serve as a foundation for subsequent spatial analysis using the Delta⁴ Phantom+ and GafChromic EBT3 systems. Specifically, knowledge of the precise elemental composition and distribution facilitates the interpretation of spatial anomalies revealed through γ -analysis (Figure 3) and SEM morphology (Figure 4), linking deviations in parameter distribution to the chemical nature and phase homogeneity of the material.

In the context of Delta⁴ Phantom+, local variations in density and composition identified through EDS can directly influence the distribution of ionic conductivity and the formation of instability zones within the fuel cell volume. On the other hand, planar analysis using GafChromic EBT3 enables the verification of defects at phase boundaries, which appear as chemically heterogeneous regions in the EDS spectra. Thus, EDS analysis not only complements but also reinforces the interpretation of spatial deviations detected by dosimetric methods, serving as a critical link between the chemical composition and the functional characteristics of multilayer energy structures.

Figure 6 presents the dilatometric curves of linear shrinkage for two key electrolyte materials—ScSZ and GDC. These curves characterize the thermo-compaction behavior of the powders during sintering, which is critically important for the design of multilayer architectures in SOFCs.

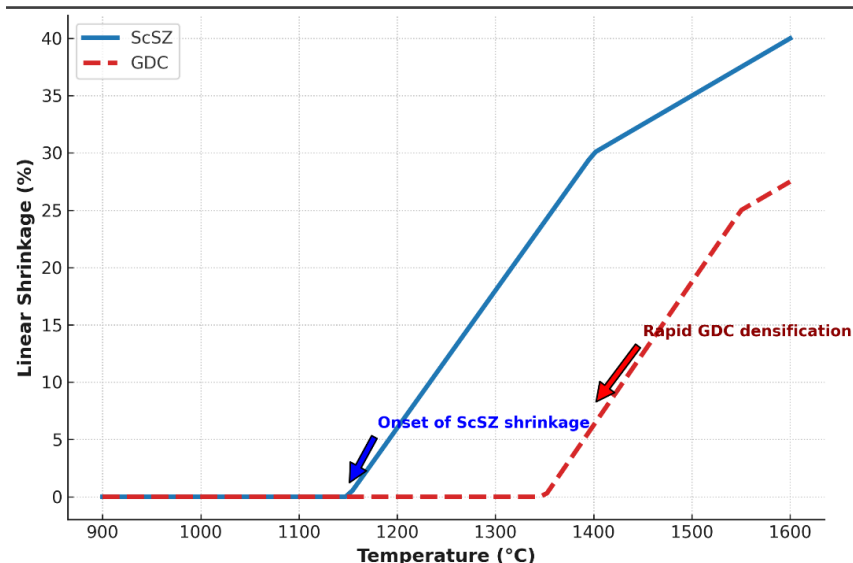


Figure 6 – Comparative shrinkage behavior of ScSZ and GDC

The ScSZ material (Figure 6) begins active densification at approximately 1150 °C, exhibiting smooth and well-controlled shrinkage kinetics. Such behavior indicates a high degree of particle agglomeration and dense packing at the early stages of sintering. This is particularly important under co-sintering conditions with the anode and cathode, as it enables the minimization of thermomechanical deformation and the formation of a dense electrolyte layer with high ionic conductivity.

In contrast, GDC (Figure 6) maintains structural stability up to 1350 °C, after which it undergoes a sharp shrinkage onset. This kinetic behavior is typical for ultrafine, agglomerated powders and may indicate weak interparticle bonding prior to reaching the critical temperature. The abrupt densification following a prolonged plateau increases the risk of density gradients, internal stresses, and crack formation, especially when combined with layers that sinter more uniformly and stably.

The highlighted temperature zones on the graph (Figure 6) allow for assessing the degree of thermal behavior compatibility between the materials during heat treatment. The mismatch in the onset temperatures of active shrinkage between ScSZ and GDC reaches approximately 200 °C, necessitating highly cautious selection of the sintering regime when these materials are used together. This is particularly critical when combined with NiO-based anodes, which are prone

to cracking under conditions of non-uniform electrolyte density, and cathodes (LSM/LSCF), which are sensitive to thermally induced deformations at interface boundaries.

Thus, the presented curves (Figure 6) not only reflect the fundamental physicochemical differences between the two electrolytes but also serve as a foundation for selecting optimal sintering parameters, including temperature, heating/cooling rates, and pressure, during the fabrication of multilayer structures. These data are particularly important in the development of solid-state cells operating under repeated thermal cycling and variable redox environments, which are typical for hydrogen energy systems.

The information on the shrinkage kinetics presented in Figure 6 is directly integrated into the spatial control approach using Delta4 Phantom+ and GafChromic EBT3 systems. Specifically, knowing the critical temperatures for the onset and completion of shrinkage allows potential inhomogeneity zones—visualized via gamma analysis (Figure 3)—to be correlated with phase transitions and stress-prone regions caused by mismatched sintering regimes. Similarly, local density gradients resulting from the abrupt densification of GDC can be detected in planar cross-sections using radiochromic diagnostics, enabling early identification of cracks or phase boundaries.

Thus, dilatometric analysis becomes an integral part of a broader diagnostic framework that links thermochemical characteristics with instrumental methods of spatial control. This approach not only enables early prediction of potential defects but also allows for the adaptation of processing parameters to the specific behavior of each material—an essential factor for hydrogen energy systems that demand high reliability, structural stability, and multilayer compatibility.

Figure 7 illustrates a map of the relative hydrogen permeability of various materials obtained from planar analysis using GafChromic EBT3.

Figure 4 – Simulated Hydrogen Permeability Map by Material Region

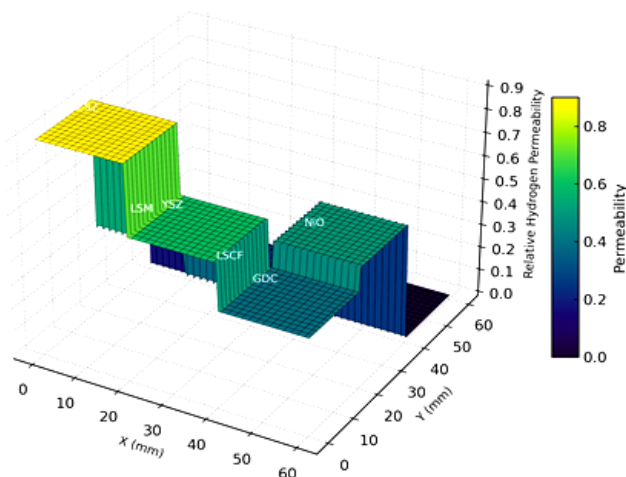


Figure 7 – 3D Model of Hydrogen Permeability Across Different Materials

The constructed model displays a structured distribution of permeability across the materials in the form of a three-dimensional histogram, where each column corresponds to a specific zone based on an electrode or electrolyte material: LSM, YSZ, LSCF, GDC, and NiO.

Analysis of Figure 7 revealed that the high permeability observed on the left side of the graph corresponds to layers composed of LSM — a cathode material with high electronic conductivity and moderate permeability to oxygen ions. Positioned lower on the scale is the YSZ electrolyte, which, despite its relatively high ionic conductivity, exhibits low gas permeability — a critical requirement for isolating the hydrogen anode from the oxygen cathode. This confirms its essential role as a gas-tight conductor of oxygen ions. The decrease in hydrogen permeability in the regions corresponding to LSCF and GDC is attributed to their mixed ionic-electronic conductivity and the presence of elements such as cobalt, iron, and gadolinium, which affect structural defects and oxygen vacancies. Although GDC demonstrates high ionic conductivity at lower temperatures, it remains less permeable to hydrogen compared to anode materials. This makes it effective as a buffer layer between the anode and the electrolyte, preventing chemical interactions and degradation during operation in a reducing atmosphere.

The highest level of hydrogen permeability (Figure 7) is observed in the region corresponding to NiO (nickel oxide). Upon reduction in a hydrogen

atmosphere, NiO transforms into porous metallic nickel, enabling active diffusion of hydrogen molecules and the formation of triple-phase boundaries, which are critically important for anode activity. This high permeability makes NiO a key component of the anode layer; however, it also imposes strict requirements on the densification quality of the electrolyte to prevent gas leakage and degradation.

From a scientific perspective, Figure 7 models not only the structural role of materials but also the spatial coherence of permeability—similar to dose distribution analysis in radiation therapy. The visualization approach employed here is based on a concept borrowed from medical physics, where predictive verification of distributions plays a key role.

Thus, the transfer of this concept to the engineering challenges of material diagnostics enables non-destructive identification of potential risk zones - such as sharp permeability gradients—that may lead to stress accumulation and a reduction in cell lifetime.

Financing information

This research was funded by the grant with reference number AP19680484, provided by the Ministry of Science and Higher Education of Kazakhstan.

Conclusion

This study presents an innovative interdisciplinary approach to the diagnostics of hydrogen energy materials, based on the adaptation of dosimetric methodologies from radiation medicine to the needs of hydrogen energy systems. The combination of spatial analysis using Delta⁴ Phantom+ (volumetric 3D reconstruction) and GafChromic EBT3 (two-dimensional slice visualization) enabled non-destructive evaluation of ionic conductivity distribution, hydrogen permeability, and morphological characteristics within the functional layers of solid oxide fuel cells (SOFCs).

A comprehensive analysis incorporating SEM, EDS, and dilatometric techniques confirmed that the synthesized materials (ScSZ, YSZ, GDC, LSM, LSCF, NiO) possess the necessary properties for integration into multilayer structures. Visualization of parameter deviations through gamma-index mapping and 3D permeability models enabled the identification of critical zones—phase boundaries, defective regions, and inconsistent densification areas—that may compromise the longevity and performance of fuel cell units.

The developed approach successfully correlates chemical composition, morphology, and thermal behavior with the functional stability of materials, providing a robust foundation for predictive engineering and design optimization. The proposed methodologies can be adapted for both laboratory-scale research and industrial quality control, thus supporting the transition toward more reliable and predictable hydrogen energy technologies.

In conclusion, the proposed spatial-structural analysis system serves as an effective tool for scientific modeling, process diagnostics, and enhancement of the operational reliability of next-generation hydrogen energy systems.

REFERENCES

- 1 Zhang, Y., Li, H., Wang, X., Chen, Z. Carbon neutrality and hydrogen energy systems // *Int. J. Hydrogen Energy*. – 2024. – Vol. 49. – P. 4567–4580. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.01.248>.
- 2 Kumar, S., Dincer, I. Advances and perspectives on solid oxide fuel cells: From nanotechnology to power electronics devices // *Energy Technol.* – 2023. – Vol. 11. – P. 2300452–2300465. – <https://doi.org/10.1002/ente.202300452>.
- 3 Chang J., Zhang P., Sun Y., Zeng H. Temperature-driven degradation in solid oxide fuel cells: Insights into anode microstructure evolution and Ni agglomeration // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2025. – Vol. 50. – №4. – P. 1234–1245. – <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.072>.
- 4 Zheng H., Jiang W., Luo Y., Tu S.-T. Coupled degradation mechanism of electrochemical and mechanical performance of solid oxide fuel cells under thermal cycling // *Applied Energy*. – 2025. – Vol. 310. – P. 112348–112352. – <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.112345>.
- 5 Shi, Y., Wang, L., Zhang, H., Li, X. Experimental study on the long-term stability and thermal cycling of micro-tubular solid oxide fuel cells // *Journal of Advanced Energy*. – 2025. – Vol. 14. – №4. – P. 121–135. – <https://doi.org/10.1016/j.jae.2025.04.008>
- 6 Chi, S., Guo, J., Hua, Z., Shang, J., Xing, B. Analysis of hydrogen distribution and diffusion in pre-strained SUS316L through scanning Kelvin probe force microscopy and thermal desorption spectroscopy // *Energies*. – 2023. – Vol. 16. – P. 7126–7139. – <https://doi.org/10.3390/en16207126>.
- 7 Andersen, D., Kim, S., Patel, R., Chen, L. Bridging materials and analytics: A comprehensive review of hydrogen storage materials and characterization techniques // *Molecules*. – 2024. – Vol. 29. – P. 5014–5032. – <https://doi.org/10.3390/molecules29215014>.
- 8 Jeangros, Q., Crisci, A., Laurencin, J., Morcrette, M., Maillard F. Operando analysis of a solid oxide fuel cell by environmental transmission electron microscopy // *Nat. Commun.* – 2023. – Vol. 14. – P. 1–9. – <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36268-9>.
- 9 Xie, Y., Liu, X., Han, J., Tan, H., Chen, L. Characterization of solid oxide fuel cell Ni-8YSZ substrate by synchrotron X-ray nano-tomography: From 3D reconstruction to microstructure quantification // *J. Power Sources*. – 2023. – Vol. 556. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.231456>.

- 10 Netzelmann, U., Mross, A., Waschkies, T., Weber, D., Toma E., Neurohr, H. Nondestructive testing of the integrity of solid oxide fuel cell stack elements by ultrasound and thermographic techniques // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – P. 831–845. – <https://doi.org/10.3390/en15030831>.
- 11 Abedi Firouzjah, M., Nickfarjam, A., Aghamiri, S.M.R., Ghorbani, M. Dosimetric verification of Eclipse™ treatment planning system in a heterogeneous chest phantom using EBT3 film and Delta4 // *Int. J. Radiat. Res.* – 2019. – Vol. 17. – P. 355–361. – <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijrr.17.2.355>.
- 12 Gotanda T., Katsuda T., Gotanda R., Kuwano T., Akagawa T., Tanki N., Tabuchi A., Shimono T., Kawaji Y., Ideguchi T. Energy response of the GAFCHROMIC EBT3 in diagnosis range // *IFMBE Proceedings*. – 2015. – Vol. 51. – P. 752–755. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-19387-8_185.
- 13 Hammer, C. G., Rosen, B. S., Fagerstrom, J. M., Culberson, W. S., DeWerd, L. A. Experimental investigation of GafChromic® EBT3 intrinsic energy dependence with kilovoltage x rays, 137Cs, and 60Co // *Med. Phys.* – 2018. – Vol. 45. – P. 448–459. – <https://doi.org/10.1002/mp.12682>
- 14 Kumagai, M., Nishimura, Y., Takahashi, K., Ohira, S., Shibata, T., Takahashi S., Takahashi, M., Kato, S., Yamashita, H. Density scaling of phantom materials for a 3D dose verification system // *J. Appl. Clin. Med. Phys.* – 2018. – Vol. 19. – P. 150–160. – <https://doi.org/10.1002/acm2.12337>.
- 15 Peng, J., Zhao, D., Xu, Y., Wu, X., Li, X. Comprehensive Analysis of Solid Oxide Fuel Cell Performance Degradation Mechanism, Prediction, and Optimization Studies // *Energies*. – 2023. – Vol. 16. – P. 788–805. – <https://doi.org/10.3390/en16020788>.
- 16 Nakajo, A., Mueller, F., Brouwer, J., van Herle, J., Favrat, D. Mechanical reliability and durability of SOFC stacks. Part I: Modelling of the effect of operating conditions and design alternatives on the reliability // *Int. J. Hydrogen Energy*. – 2012. – Vol. 37. – P. 9249–9268. – <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.03.156>.
- 17 Chen, D., Bi, W., Kong, W., Lin, Z. Combined micro-scale and macro-scale modeling of the composite electrode of a solid oxide fuel cell // *J. Power Sources*. – 2010. – Vol. 195. – P. 6598–6610. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.10.084>
- 18 Badwal, S.P.S., Drennan, J., Foger, K. Phase transition and electrical conductivity of scandia-stabilized zirconia // *Solid State Ionics*. – 2004. – Vol. 168. – P. 39–46. – <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2004.01.028>.
- 19 Singh, P., Kaur R., Sharma, A., Chawla, V. Recent advances on electrolyte materials for SOFC: A review // *Journal of Power Sources*. – 2023. – Vol. 556. – P. 230–245.

20 Wang, Y., Huang, M., Liu J., Zhang, Y. Enhancing the phase stability and ionic conductivity of scandia-stabilized zirconia by rare earth co-doping // J. Eur. Ceram. Soc. – 2023. – Vol. 43. – P. 1123–1132. – <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.01.045>.

***А. А. Баратова¹, К. Ж. Бекмырза², А. М. Кабышев³,
Н. К. Айдарбеков⁴, К. А. Кутербек⁵**
^{1,2,3,4,5}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

СУТЕГІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРЫН БҰЗБАЙТЫН КЕҢІСТІКТІК БАҚЫЛАУ

Сутекті энергетика саласындағы заманауи зерттеулер сутекті сақтау мен тасымалдауға арналған жаңа материалдарды жасаумен қатар, оларды талдаудың инновациялық әдістемелік тәсілдерін енгізуді де талап етеді. Осы жұмыста радиациялық терапияда қолданылатын дозиметриялық верификация әдістерімен аналогия негізінде сутекті материалдардың біртектілігі мен тұрақтылығын бағалауға арналған тұжырымдамалық жаңа тәсіл ұсынылады. Атап айтқанда, томотерапияда кеңінен қолданылатын Delta⁴ Phantom+ фантомы мен GafChromic EBT3 радиохромды пленкасының модельдері бейімделіп, сутектің материал көлеміндегі және қималарындағы таралуын кеңістіктік-уақыттық визуализациялау үшін пайдаланылды.

«Сутектік гамма-талдау» ұғымы енгізілді, ол теориялық есептелген және тәжірибелік өлшенген параметрлердің (сутек сиымдылығы, иондық өткізгіштік, ақаулар тығыздығы) арасындағы ауытқуларды сандық бағалауды қамтиды. Оксидті және интерметалдық жүйелердің бірқатарына осы әдістеменің қолданбалы мүмкіндігін көрсететін шартты эксперименттік деректер ұсынылды.

EBT3-ке ұқсас тәсілдерді қолдану сутектің жазықтық бойынша таралуын қосымша бағалауға, деградация аймақтарын локализациялауға және уақыт өте келе сипаттамалардың өзгеруін талдауға мүмкіндік берді. Ұсынылған әдістемелік тәсіл материалдардың циклдік жүктемелер кезіндегі деградациясын модельдеуде, жергілікті біртектілік бұзылуларын бағалауға және сутекті тасымалдаушылар құрамын оңтайландыруда қолдануға болады.

Кілтті сөздер: сутекті материалдар, Delta⁴ фантомы, GafChromic EBT3 пленкасы, гамма-талдау, сутектің диффузиясы.

***А. А. Баратова¹, К. Ж. Бекмырза², А. М. Кабышев³,
Н. К. Айдарбеков⁴, К. А. Кутербек⁵**
^{1,2,3,4,5}Евразийский национальный университет
имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ВОДОРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Современные исследования в области водородной энергетики требуют не только разработки новых материалов для хранения и транспортировки водорода, но и внедрения инновационных методологических подходов к их анализу. В данной работе предложен концептуально новый подход к оценке однородности и стабильности водородных материалов, основанный на аналогии с методами дозиметрической верификации в лучевой терапии. В частности, применены модели фантома Delta⁴ Phantom+ и радиохромной плёнки GafChromic EBT3, широко используемых в томотерапии, адаптированные для пространственно-временной визуализации распределения водорода в объёме и на срезах материала.

Введено понятие «водородного гамма-анализа», включающего количественную оценку расхождений между теоретически рассчитанными и экспериментально измеренными параметрами (водородоёмкость, ионная проводимость, плотность дефектов). Приведены условные экспериментальные данные, демонстрирующие применимость данной методики к ряду оксидных и интерметаллических систем.

Использование подходов, аналогичных EBT3, позволило дополнительно оценить распределение водорода в плоскости, локализовать зоны деградации и анализировать изменение характеристик с течением времени. Предложенный методологический подход может быть использован для моделирования деградации материалов при циклировании, оценки локальных неоднородностей и оптимизации состава водородных носителей.

Ключевые слова: водородные материалы, фантом Delta⁴, плёнка GafChromic EBT3, гамма-анализ, диффузия водорода.

Dr. Deedar Ali Jamro¹, *Abdul Qadir Rahimoon², Ghulam Qadir Samtio³, Zubeda Bhatti⁴, Ghulam Ali Jamro⁵

^{1,3,4,5}Shah Abdul Latif University, Pakistan, Khairpur

²Department of Electrical Engineering Sukkur IBA University, Pakistan, Sukkur

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3479-1498>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1789-8659>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3765-7458>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4540-1026>

e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk

DESIGNING OF ANTENNAS FOR 5G NETWORK APPLICATIONS

Microstrip patch antennas have been designed and demonstrated for 5G network applications. Patch antennas with square, circular and hexagonal geometries are simulated for V-band frequencies using Computer Simulation technology (CST). The radiating patch and ground plane are made of copper. The dielectric substrates for patch of antennas are RT 6002, RT 5880 and FR-4 having relative permittivity values of 2.94, 2.4, and 4.3, respectively. Square, circular, and hexagon patch antennas return loss, VSWR, bandwidth, and efficiency are - 50.43 dB, 1.006, 11.347 GHz, and 95.9%; for circular patch antennas, they are - 14.5 dB, 1.464, 5.67 GHz, and 93.7%; and for hexagon patch antennas, they are -15.9 dB, 1.38, 4.57 GHz, and 87.26%. The outcomes of research suggest that the square-shaped patch antenna is a successful prototype for fifth-generation wireless communication systems. Two methods are used to calculate the bandwidth of a patch antenna: the percentage approach and the frequency difference method. The main focus is on the frequency difference; the antenna bandwidth is calculated by subtracting the higher frequency signal from the lower frequency signal. The required bandwidth provided by a square patch antenna would be a more efficient prototype for wireless communication systems.

Keywords: Antenna, Bandwidth, CST, VSWR, time series.

Introduction

Communication has significant role in recent years due to social and economic growth. Thus, 5G technology has emerged as the foundation of the upcoming generation's inevitable requirement [1]. The need for quick communication-based applications has been driven by the interest in 5th generation technology, which is good insight of a technological revolution [2]. The latest worldwide wireless standard is known as the fifth generation (5G) network system. Microstrip patch antennas offer the exciting properties including being inexpensive, lightweight and having a low profile planar design that is easily conformal to the host surface. These features enable the creation of a new sort of network that connects nearly anything, including people, machines, and gadgets [3, 4, and 5]. Microstrip patch antennas are becoming more and more prevalent because of their interesting qualities, which include their.

low cost, light weight, and low profile planar shape that is easily conformal to the host surface. The use of antennas is growing more and more common [6]. Patch antenna disadvantages, such low gain, low efficiency, restricted bandwidth, and limited directivity can be alleviated by increasing the patch height, decreasing the substrate's permittivity, and thickening the substrate [7]. The FR4 (Flame Retardant-4) circuit board was used in the creation of this patch antenna [8]. This work presents a two-layered electromagnetically connected rectangular patch antenna with minimized return loss and Microstrip-line inset-fed for wire-free devices [9].

Engineers, usually concentrate on multiple approaches to increase the bandwidth in 5G Microstrip patch antenna designs. A multitude of design parameters, including substrate thickness, relative permittivity, operating frequency, feeding technique, substrate type and patch size has positive impact on a bandwidth of antenna [10]. The Micro strip Patch Antenna (MPA) operates more effectively in the frequency range of (40–90) GHz without degrading performance.

The antenna bandwidth increases with substrate height, this is due to the fact that the antenna's bandwidth is directly correlated with the permittivity of the dielectric substrate and inversely proportional to the substrate's height [11]. Therefore, RT-6002 (lossy) is chosen in this research as a dielectric substrate for the proposed antennas in order to deliver a high bandwidth with a compact size of antenna contrast to the previously mentioned benchmarks. The objective of this paper is to examine antenna's performance. Additionally, an advanced design with a large bandwidth, small size and high gain is proposed for 5G applications that operate in the V-band frequencies. To accomplish these objectives, various antenna shapes are examined and parametric analysis is performed to ascertain factors having a greater impact on an antenna's bandwidth, reflection coefficient,

VSWR and efficiency. A square shaped antenna is found to be good prospective for 5th generation network applications.

Materials and methods

The antenna's geometry ,size and the selection of materials has major role in determining their performance characteristics [12]. The square shaped patch antenna is analyzed in this research due to its greater bandwidth than other variants. Figure 1 depicts the physical layout of the MSPA under examination.

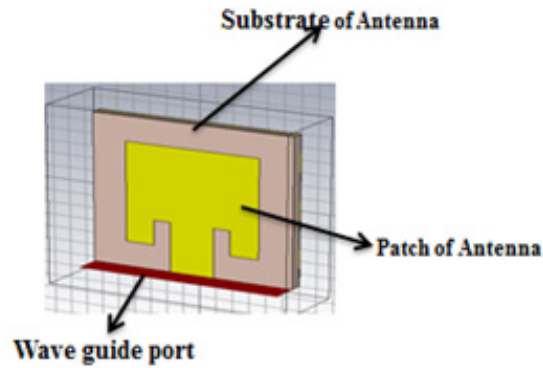


Figure 1 – Proposed model of Square shaped patch

The second suggested model is a circular patch antenna that is a Microstrip patch antenna copper using a ground plane, above the ground plane using a dielectric substrate, and last one using the radiating patch which radiate the radiations. The terms «Lg» and «Wg» indicate the ground plane's length and width, «Ls» and «Ws» indicate the dielectric substrate's respectively, and «Lp» is a patch length while «Wp» is a patch's width. As stated by Figure 2.

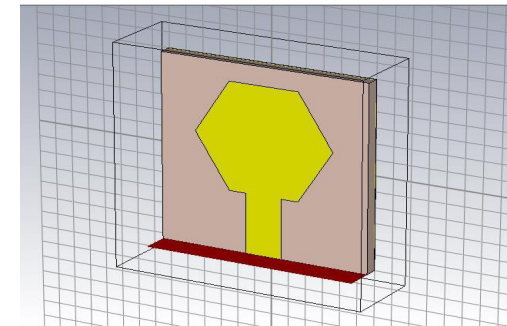


Figure 2 – Model of Circular shaped patch

It was recommended to use RT – 6002 (Lossy), a substrate material whose thickness and relative permittivity are 0.5 mm and 2.94, over the top side of the ground antenna. A circular patch is converted into Hexagonal patch for mechanism of radiation. A Microstrip feed line having an impedance match of 50Ω is used to feed the hexagonal patch. The best conductor copper is utilized for the antenna patch and ground level. The patch antenna's ground plane is located beneath the dielectric substrate material, while the hexagonal form is at the top.

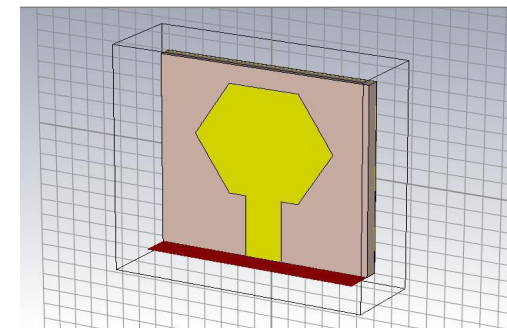


Figure 3 – Proposed model of Hexagonal shaped patch

Parametric equation of Patch Antenna:
The formula for width of the patch antenna

$$W = \frac{C_o}{2fr \sqrt{\frac{Er+1}{2}}} \quad (1)$$

The formula for effective dielectric constant

$$E_{\text{REFF}} = \frac{E_r + 1}{2} + \frac{E_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right) - 0.5 \quad (2)$$

The formula for effective length

$$L_{\text{EFF}} = \frac{C}{2f_o \sqrt{E_{\text{EFF}}}} \quad (3)$$

The formula for length of the Patch antenna

$$L = L_{\text{EFF}} - 2\Delta L \quad (4)$$

The formulas for the length and width of the substrate

$$W_s = 6h + W_p \quad (5)$$

$$L_s = 6h + W_p \quad (5)$$

Results and Discussion

The square, circular and hexagonal shaped Micro strip antenna's simulations were carried out using CST software. Antenna characteristics are accessed through parametric simulation analysis. The most useable parameters are bandwidth, VSWR, directivity, gain and return loss. The radiating patch and Micro strip feed line matching quality is analyzed by the magnitude of the return loss curves. The normalized impedance matching of feed-line and radiating patch is 50Ω . This antenna has a bandwidth of 11.347 GHz and a return loss of -50.43 dB at the frequency of 53.55GHz.

Table 1 – Design parameters of the Square shaped antenna

Parameter	Notation	Calculated value (mm)
Patch length	Lp	4
Patch width	Wp	4
Substrate width	Ws	6
Substrate length	Ls	6
Insert Feed line	Fi	1.8
Width of Feed line	Wf	2.056
Gap b/w patch & feed line	Gpf	1

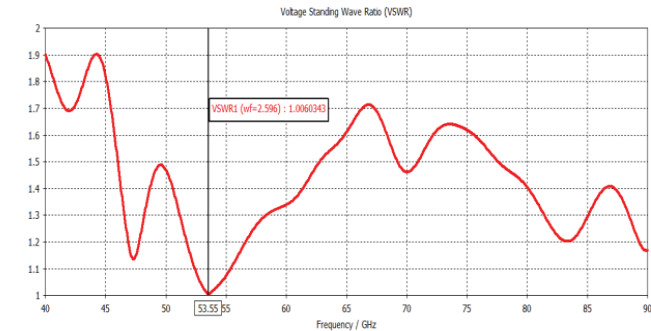


Figure 4 – Return loss versus frequency plot of the antenna

The VSWR strength serves for the power that is reflected back to the source from the antenna. The magnitude of the VSWR for a transmission line should be one in an ideal situation and in real-world situations; a magnitude less than two is acceptable as long as the S11 is less than -10 dB. Figure 3 displays the intended MSPA's simulated VSWR plot. Consequently, the VSWR magnitude is less than -1.006 at 53.55 GHz, which is within an acceptable range.

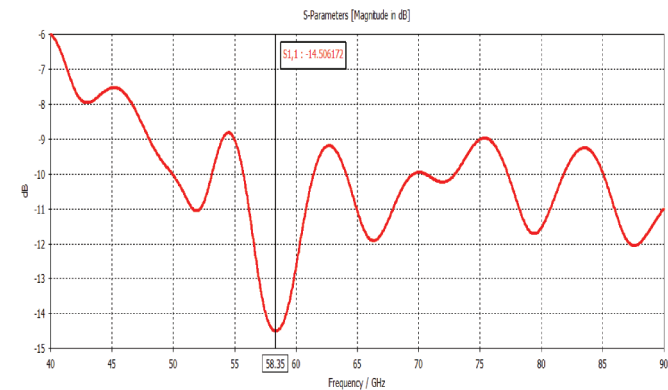


Figure 5 – VSWR versus frequency plot of the antenna

The simulated result of the Microstrip patches antenna design. As illustrated in Figure 6, the computed antenna was able to reach the S11 value of -14.5 dB at frequency of 58.4 GHz, even though the foremost curve was in a sophisticated band and outlying from the intended frequency. The S11 curve needed to be optimized to yield the best results at the intended frequency because it must be below -10 dB at precisely $f = 58.2$ GHz. A parametric analysis was used to examine the

properties of the proposed design, including the antenna's resonant frequency, S11, and bandwidth.

The s-parameter (S11), which describes the amount of power reflected, is the first antenna parameter used to compute radiation efficiency. As seen in figure 4.13, the return loss value for the optimal antenna matching must be less than -10 dB. At the resonant frequency of 56.4 GHz, the suggested antenna's return loss, or s-parameter, is -15.9 dB.

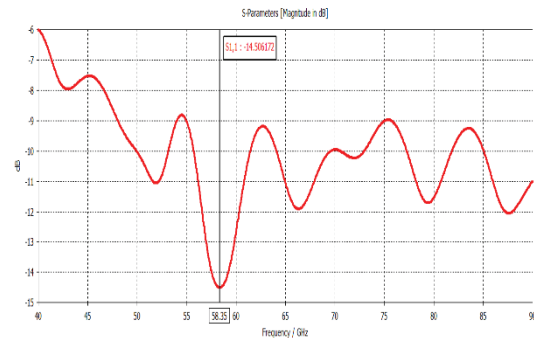


Figure 6 – Return loss versus frequency plot of the antenna

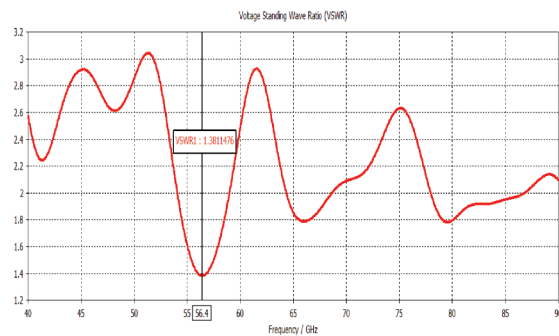


Figure 7 – VSWR versus frequency plot of the antenna

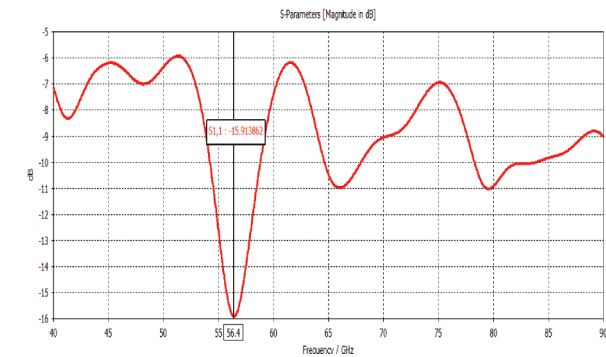


Figure 8 –Return loss versus frequency plot of the antenna

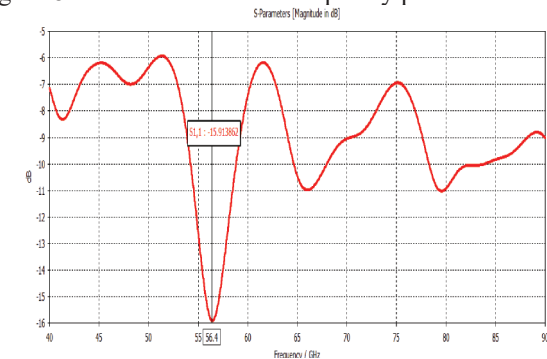


Figure 9 –VSWR versus frequency plot of the antenna

The radiation pattern of the MSPA shows the angular intensity of power emitted from the antenna in the far-field pattern. It is used to display the antenna's directivity and gain at the required location in space. Directivity, gain, and radiation efficiency are 9.8 dBi, 9.4 dB and 95.9% respectively, as shown in Figure 10.

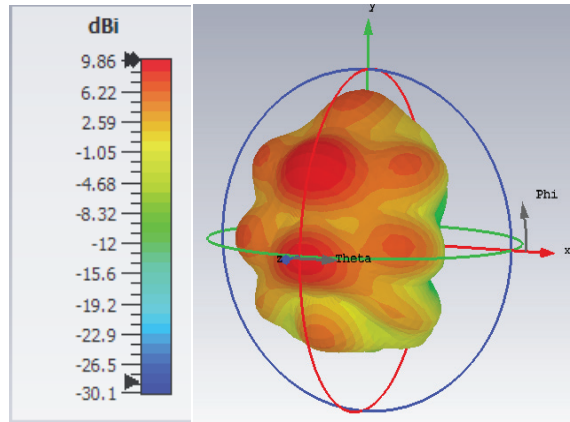


Figure 10 – 3D radiation pattern of the proposed antenna

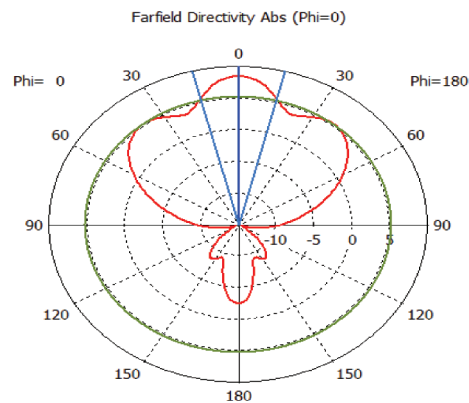


Figure 11 – 2D radiation pattern of the proposed antenna

Comparative results of return losses of different proposed models. The high-frequency antennas with improved performance characteristics are becoming more and more in demand as a result of the 5G communication systems' quick development. For 5G communications, the V-band ranges b/w (40 GHz - 90 GHz), is one of the most promising frequency bands. Because of its great data-carrying capability and low interference, the 55 GHz to 65 GHz range within this band is crucial for 5G applications. Because of its low profile, lightweight, ease of manufacture, and compatibility with integrated circuits, Microstrip patch antennas are frequently used in 5G applications. However, obtaining enough bandwidth

to enable fast data transfer and dependable communication is one of the major obstacles in the design of Microstrip patch antennas for the V-band.

The worldwide guideline for return loss is less than -10 dB. All three of the suggested models' findings in this graph are less than -10 dB. When comparing the reflection coefficient (return loss) of the three suggested models, the square patch antenna's performance is superior to that of the circular and hexagonal patch antennas, and it is more satisfying than the current findings.

The bandwidth of a Micro strip patch antenna is the frequency range throughout which it can operate well without degrading performance. Shorter download times and a faster communication system are the results of the increased data transfer and downloading process made possible by the bandwidth. Two methods are used to compute the patch antenna's bandwidth: the percentage approach and the difference of frequency method. Here, the major emphasis is on frequency differences; the antenna's bandwidth is calculated by subtracting the higher frequency signal from the lower frequency signal. The required bandwidth occurred from the square patch antenna as depicted in figure 13; hence it would be more effective prototype for wireless communication systems.

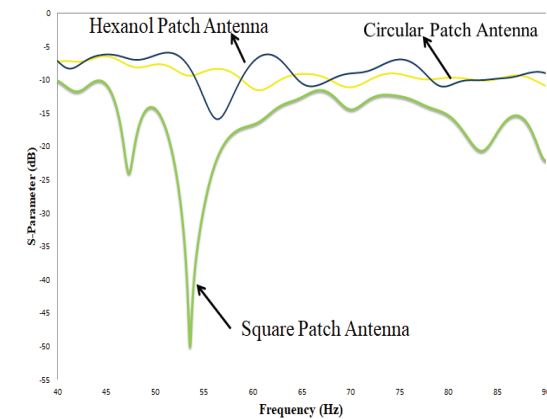


Figure 12 – Results of three different return loss

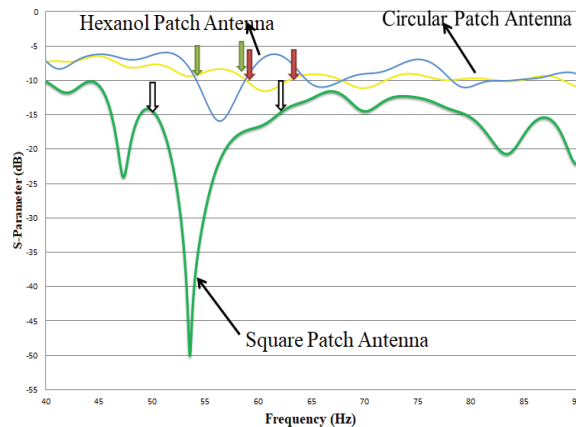


Figure 13 – Results of three different Bandwidth

Table 2 – Performance Comparison of Single MSPA

Antennas ref.	Return loss	Gain (dB)	Bandwidth (GHz)	Efficiency
15	-42dB	5.8	1.76	65%
16	-30 dB	5.9	0.15	98%
17	-41 dB	5.48	1.1	-----
18	-15 dB	6.9	1.94	83%
19	-45 dB	6.61	0.47	99%
20	42 dB	9.82	1.26	99%
21	-48dB	7.43	1.20	91%
Proposed Model	-50 dB	9.4	11.35	96%

Conclusion

In order to achieve a high bandwidth at 53.3 GHz, research is being done on a small-sized Microstrip patch antenna for 5G networks. The investigations discovered that the bandwidth, VSWR, return loss, and radiation efficiency were, in order, 11.35 GHz, 1.006, -50 dB and 95.9%. These results demonstrate that the designed antenna is an effective emitter for 5G network technology applications.

Acknowledgment

This work was supported by Government of Sindh, Sindh Higher Education Commission for National Post-Doctoral Fellowship Program (Phase-I) of Sindh the HEC.

REFERENCES

- 1 S. PalanivelRajan and C. Vivek. «Analysis and design of microstrip patch antenna for radar communication», J. Electr. Eng. Technol., Vol. 14. – № 2, P. 923–929. – 2019. – <https://doi.org/10.1007/s42835-018-00072-y>.
- 2 E. H. Mujammami and A. B. Sebak. «Wideband High Gain Printed Quasi-Yagi Diffraction Gratings-Based Antenna for 5G Applications», IEEE Access, Vol. 7. – № c, P. 18089–18100. – 2019. – <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2897092>.
- 3 S. K. Ezzulddin, S. O. Hasan, and M. M. Ameen. «Design and Simulation of Microstrip Patch Antenna for 5G Application using CST Studio», Vol. 29, №. 04, P. 7193–7205. – 2020.
- 4 F. Mahbub, R. Islam, S. A. Kadir Al-Nahyun, S. B. Akash, R. R. Hasan, and M. A. Rahman. «A Single-Band 28.5GHz Rectangular Microstrip Patch Antenna for 5G Communications Technology», 2021 IEEE 11th
- 5 Annu.Comput.Commun.Work.Conf. CCWC 2021, № January, P. 1151–1156. – 2021. – <https://doi.org/10.1109/CCWC51732.2021.9376047>.
- 6 T. Balamani. «Micro strip Patch Antenna for Satellite Communication», Int. J. Adv. Res. Basic Eng. Sci. Technol., Vol. 3. – № 24. – P. 346–351, 2017.
- 7 M. Nikam, S. Kulkarni, and N. Kumar. «Design of elliptical antenna for UWB applications with high isolation» 2016 IEEE Int. Conf.Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol. RTEICT, 2016. – Proc., P. 1030–1033. – 2017, <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7807986>.
- 8 M. Meena and P. Kannan. «Analysis of Microstrip Patch Antenna for Four Different Shapes and Substrates», Vol. 1680, № April, P. 519–530. – 2018. – <https://doi.org/10.21917/ijme.2018.0092>.
- 9 S. Kumar, A. S. Dixit, R. R. Malekar, H. D. Raut, and L. K. Shevada. «Fifth Generation Antennas : A Comprehensive Review of Design and Performance Enhancement Techniques», Vol. 8,2020, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020952>.
- 10 Z. Siddiqui, S. Member, and M. E. Leinonen. «Broadband Cross-Slotted Patch Antenna for 5G Millimeter-Wave Applications Based on Characteristic Mode Analysis», P. 1–16. – 2022. – <https://doi.org/10.1109/TAP.2022.3209217>.
- 11 S. Id. «Design and comparative analysis of Microstrip patch antenna at 40 GHz for 5G network and its application», 2022.
- 12 A. K. Jassim and R. H. Thaher. «Design and Analysis of Broadband Elliptical Microstrip Patch Antenna for Wireless Communication», Vol. 16, № 6, P. 2492–2499. – 2018. – <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v16i6.9246>.

13 **G. Ioannis and S. Katherine.** «Design of Ultra Wide Band Slot Antennas for Future 5G Mobile Communication Applications», 2018 7th Int. Conf. Mod. Circuits Syst. Technol., P. 1–4, 2018.

14 **K. W. S. Al Kharusi, N. Ramli, S. Khan, M. T. Ali, and M. H. A. Halim.** «Gain Enhancement of Rectangular Microstrip Patch Antenna using Air Gap at 2.4 GHz», Vol. 13, № May, P. 211–224. – 2020.

15 **D. Imran et al.** «Millimetre wave microstrip patch antenna for 5G mobile communication», 2018 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), Lahore, 2018, P. 1–6.

16 **J. Saini and S. K. Agarwal.** «Design a single band microstrip patch antenna at 60 GHz millimetre wave for 5G application». – International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix), Jaipur, 2017, P. 227–230.

17 **Luo, N., He, Y., Zhang, L., Wong, S.W., Li, C. and Huang, Y.** 2019, October. A Differential Broadband Dual-Polarized Base Station Antenna Element for 4G And 5G Applications. In 2019 Computing, Communications and IoT Applications (ComComAp) (P. 337–340). IEEE.

18 **Murugan, S.** February. Compact Square patch antenna for 5G Communication. In 2nd International Conference on Data, Engineering and Applications (IDEA). – 2020. – P. 1–3. IEEE

19 **Petrov, V., Komarov, M., Moltchanov, D., Jornet, J.M. and Koucheryavy, Y.** Interference and SINR in millimeter wave and terahertz communication systems with blocking and directional antennas. IEEE Transactions on Wireless Communications, 16(3), 2017. – P. 1791–1808.

20 **H. Jaafar, M. T. Ali, S. Subahri, A. L. Yusof and M. K. M. Salleh.** «Improving gain performance by using air substrate at 5.8GHz», International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), Kuala Lumpur, 2012. – P. 95–98.

**Доктор Дидар Али Джамро¹, *Абдул Кадир Рахимун²,
Гулам Кадир Самтио³, Зубеда Бхатти⁴, Гулам Али Джамро⁵**

^{1,3,4,5}Шах Абдул Латиф Университеті, Пәкістан, Хайрпур

²Суккур ХБА Университеті, Пәкістан, Суккур

5G ЖЕЛІЛІК ҚОСЫМШАЛАРЫНА АРНАЛҒАН АНТЕННАЛАРДЫ ЖОБАЛАУ

Микрожолалық патч антенналары 5G желілік қолданбалары үшін әзірленген және көрсетілген. Квадрат, дөңгелек және алтыбұрышты геометриялары бар патч-антенналар Компьютерлік Модельдеу технологиясын (CST) қолдана отырып, V диапазонындағы жиіліктер үшін модельденеді. Радиациялық патч пен жер жазықтығы мыстан жасалған. Патч антенналарына арналған диэлектрлік субстраттар ϵ_r 6002, ϵ_r 5880 және FR-4 болып табылады, олардың салыстырмалы өткізгіштік мәндері сәйкесінше 2,94, 2,4 және 4,3 құрайды. Шаршы, дөңгелек және алтыбұрышты патч антенналарының жоғалуы, V_{SWR} , өткізу қабілеттілігі және тиімділігі - 50,43 дБ, 1,006, 11,347 Гц және 95,9%; дөңгелек патч антенналары үшін олар - 14,5 дБ, 1,464, 5,67 Гц және 93,7% құрайды; ал алтыбұрышты патч антенналары үшін олар -15,9 дБ, 1,38, 4,57 Гц және 87,26% құрайды. Зерттеу нәтижелері төртбұрышты патч антеннасы бесінші буынсыз байланыс жүйелерінің сәтті прототипі екенін көрсетеді. Патч антеннасының өткізу қабілеттілігін есептеу үшін екі әдіс қолданылады: пайыздық тәсіл және жиілік айырмашылығы әдісі. Негізгі назар жиілік айырмашылығына аударылады; антеннаның өткізу қабілеттілігі төменгі жиіліктегі сигналдан жоғары жиілікті сигналды алып тастау арқылы есептеледі. Квадрат патч антеннасымен қамтамасыз етілген қажетті өткізу қабілеттілігі сымсыз байланыс жүйелері үшін тиімдірек прототип болады.

Кілтті сөздер: Антенна, өткізу қабілеттілігі, CST, V_{SWR} , уақыт қатары.

Доктор Дидар Али Джамро¹, *Абдул Кадир Рахимун²,
Гулам Кадир Самти³, Зубеда Бхатти⁴, Гулам Али Джамро⁵

^{1,3,4,5} Университет Шаха Абдула Латифа, Пакистан, Хайрпур

² Сукурский университет ИВА, Пакистан, Шуккур

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕНН ДЛЯ СЕТЕВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ 5G

Микрополосковые накладные антенны были разработаны и продемонстрированы для применения в сетях 5G. Накладные антенны квадратной, круглой и шестиугольной формы моделируются для частот V-диапазона с использованием технологии компьютерного моделирования (CST). Излучающая накладка и плоскость заземления изготовлены из меди. Диэлектрическими подложками для накладных антенн являются RT 6002, RT 5880 и FR-4, имеющие значения относительной диэлектрической проницаемости 2,94, 2,4 и 4,3 соответственно. Квадратные, круглые и шестиугольные патч-антенны с обратными потерями, КСВН, полосой пропускания и эффективностью составляют -50,43 дБ, 1,006, 11,347 ГГц и 95,9%; для круглых патч-антенн они составляют -14,5 дБ, 1,464, 5,67 ГГц и 93,7%; а для шестиугольных патч-антенн они составляют -15,9 дБ, 1,38, 4,57 ГГц и 87,26%. Результаты исследований позволяют предположить, что квадратная накладная антенна является успешным прототипом для систем беспроводной связи пятого поколения. Для расчета полосы пропускания накладной антенны используются два метода: процентный подход и метод разности частот. Основное внимание уделяется разнице частот; полоса пропускания антенны рассчитывается путем вычитания сигнала более высокой частоты из сигнала более низкой частоты. Требуемая полоса пропускания, обеспечиваемая квадратной патч-антенной, была бы более эффективным прототипом для систем беспроводной связи.

Ключевые слова: Антенна, полоса пропускания, CST, КСВН, временной ряд.

SRSTI 29.19.31

DOI

D. A. Temirbayeva¹, *A. Zh. Zhumabekov²,
A. Zh. Kassanova³, S. S. Zharasov⁴, T. S. Dossanov⁵

^{1,2,3,5} Torayghyrov university, Kazakhstan Republic, Pavlodar

⁴ Pavlodar Oil and Chemical Plant, Kazakhstan Republic, Pavlodar

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0201-2692>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9563-5521>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8139-3284>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

*e-mail: almar89-89@mail.ru

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF PHOTOCURRENT OF TITANIUM DIOXIDE NANORODS

In this work, titanium dioxide (TiO₂) nanorods obtained by hydrothermal synthesis are studied. Nanowires have proven to be a highly efficient photocatalyst compared to nanoparticles and have an attractive option for their replacement. The use of TiO₂ in the modification of nanorods is important for increasing its photocatalytic activity, as well as improving its mechanical, electrical and optoelectronic characteristics. In the course of the study, TiO₂ nanorods were obtained, which were subjected to structural analysis using scanning electron microscopy. The absorption spectra and photoinduced current of TiO₂ nanorods were also studied. Absorption spectra show that HC tio₂ absorbs in the near ultraviolet region in the range from 300 to 400 nm. Photovoltaic characteristics show that TiO₂ nanorods have a photoinduced current value of about 600 mA. The results obtained open up prospects for the development of highly efficient materials based on TiO₂ nanorods with improved functional properties used in the field of detection, water purification, solar energy and sensors.

Keywords: TiO₂ nanorods, titanium dioxide, photocatalysis, photodetector, photoinduced current.

Introduction

Many studies show that modified TiO₂ with different morphologies are used in the form of nanotubes and nanorods, as well as mesoporous structures of titanium dioxide [1]. The following methods are already used for the production

and synthesis of TiO_2 nanoparticles: hydrothermal [2], solvothermal [3], sol-gel [4], chemical gas content (CVD) [5], sonochemical method [6], microwave [7], electrochemical oxidation of titanium [8], direct oxidation methods. Scientists are also using new synthesis methods, such as the supercritical fluid method [9], to synthesize nanoparticles with a high degree of homogeneity. Using the described methods, it is possible to obtain not only TiO_2 nanoparticles, but also nanostructures with different morphologies and modifications, for example, nanorods, nanotubes, etc. [10; 11; 12] The physico-chemical properties of such films depend on the production method and are determined by the particle size and shape, defect, phase composition, structure, and pore size of the film.

In this work, an ultraviolet detector of a nanocomposite material based TiO_2 nanorod. It is assumed that TiO_2 nanorod in the complex will improve the optoelectronic and photovoltaic characteristics of the photodetector and photocatalysis.

Materials and methods

The preparation of nanocomposite materials was carried out using hydrothermal synthesis according to the works [13]. Titanium butoxide (Sigma Aldrich), deionized water (Drawel water purification system), hydrochloric acid (hc), ethanol (anhydrous). All reagents were analytically pure and used without additional purification.

The surface morphology of the obtained TiO_2 nanorods was studied using a scanning electron microscope (SEM) (Tescan Mira3). TiO_2 NR films were prepared already on the surface of the FTO. After application, the film was annealed in an atmosphere for 2 hours at a temperature of 450 °C (T_{max}). The absorption spectra were measured using a Solar CM2203 spectrophotometer on the surface of a conductive FTO layer.

The transient characteristics of the photocurrent of the obtained materials were studied by recording the photoinduced current in a standard photoelectrochemical three-electrode cell with a quartz window on a CS150M potentiostat (CorrTest). Ag/AgCl was used as the reference electrode. The radiation source was a xenon lamp with a power of 300 W/cm^2 . The studied samples were deposited by centrifugation on the surface of substrates with FTO, which were connected to a working electrode. A platinum electrode was connected to the negative potential. The measurements were carried out in an electrolyte of 0.1 M NaOH.

Results and discussion

Figure 1 shows TiO_2 NR. It can be seen from the figure that the nanorod is distributed on the surface of the substrate. In these samples, TiO_2 NR has a layered structure and is distributed over the entire volume of the substrate.

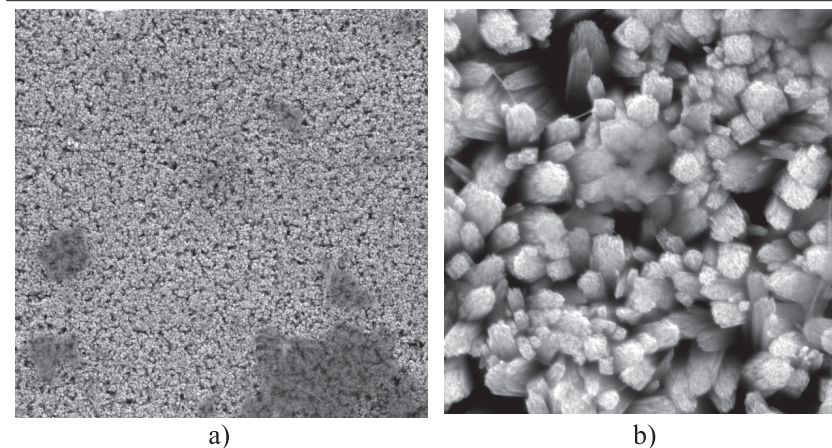


Figure 1 – SEM images samples: a, b – TiO_2 NR

Next, Figure 2 shows the absorption spectrum of TiO_2 NR, where it can be seen that nanorods absorb only in the near ultraviolet region of light.

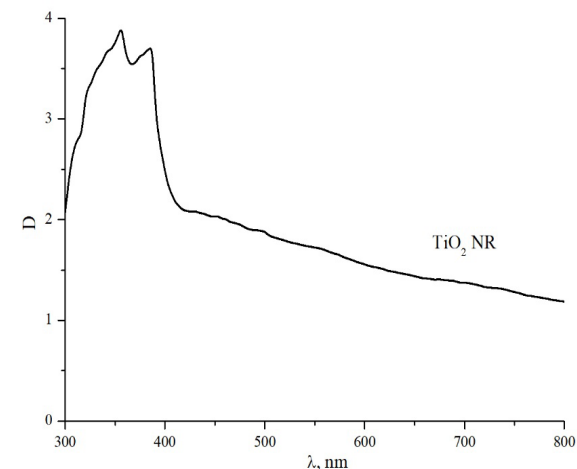


Figure 2 – Absorbance spectrum TiO_2 NR

The measurements were carried out on the FTO surface, so the absorption spectrum starts at 300 nm. Two active peaks in the UV region confirm the production of TiO₂ nanorods [14; 15].

The transient characteristics of the photoinduced current were studied when the lamp was switched on and off for 10 seconds, thereby observing the system's response to light.

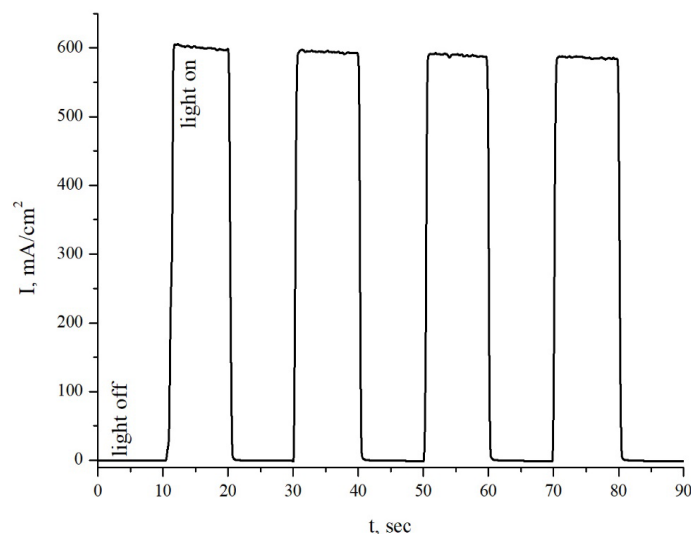


Figure 3 – Transient response of the photocurrent TiO₂ NR

When the sample is irradiated, it is seen that the maximum photoinduced current is about 600 mA/cm². These values are very high for TiO₂ nanorods, since the low-frequency photocurrent is in the microampere range. The average value of all responses is 580 mA/cm². A constant value of the photocurrent will be established when the rates of charge carrier generation and recombination are balanced.

Apparently, in the case of TiO₂, where all charge carriers have the same lifetime and migrate under the same conditions, the rates of these processes have similar values, so the photocurrent curves have a shape close to rectangular.

Conclusions

A study of the photovoltaic properties of TiO₂ has shown that nanorods have a significant photocurrent compared to nanoparticles. This approach has great potential in creating highly efficient materials for environmental, energy, and sensor applications.

Acknowledgment

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No.AP19576361).

REFERENCES

- 1 **Chen X., Mao S.** Titanium Dioxide Nanomaterials : Synthesis, Properties, Modifications, and Applications // Chemical Reviews. – 2007. – Vol.107, №7. – P. 2891–2959.
- 2 **Yadav P. V. K., Reddy Y. A. K., Ajitha B., Minnam Reddy V. R.** Oxygen partial pressure dependent UV photodetector performance of WO₃ sputtered thin films // J. Alloys Compd. – 2019. – 816. – P. 152565.
- 3 **Yan X. M., Kang J., Gao L., Xiong L., Mei P.** Solvothermal synthesis of carbon coated N-doped TiO₂ nanostructures with enhanced visible light catalytic activity // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 265. – P. 778–783.
- 4 **Ren L., Tian T., Li Y., Huang J., Zhao X.** High-performance UV photodetection of unique ZnO nanowires from zinc carbonate hydroxide nanobelts // ACS Appl. Mater. Interfaces – 2013. – 5. – P. 5861–5867.
- 5 **Bessergenev V. G., Khmelinskii I. V., Pereira R. J. F. et al.** Preparation of TiO₂ films by CVD method and its electrical, structural and optical properties // Vacuum. – 2002. – Vol. 64. – P. 275–279.
- 6 **Zhu Y., Li H., Koltypin Y., Hachon Y. R., Gedanken A.** Sonochemical synthesis of titania whiskers and nanotubes // Chemical Communications. – 2001. – № 24. – P. 2616–2617.
- 7 **Corradi A.B., Bondioli F., Focher B.** Conventional and microwave-hydrothermal synthesis of TiO₂ nanopowders // Journal of the American Ceramic Society. – 2005. – Vol. 88, № 9. – P. 2639–2641.
- 8 **Gong D., Grimes C.A., Varghese O. K.** Titanium oxide nanotube arrays prepared by anodic oxidation // Materials Research Society. – 2001. – Vol. 16, № 12. – P. 3331–3334.
- 9 **Hald P., Becker J., Bremholm M. et.al.** Supercritical Propanol-Water Synthesis and Comprehensive Size Characterisation of Highly Crystalline anatase TiO₂ Nanoparticles// Journal of Solid State Chemistry, – 2006. – Vol. 179. – P. 2674–2680.

10 Ahmad H. Infrared photodetectors based on reduced graphene oxide nanoparticles and graphene oxide / H. Ahmad, M. Tajdidzadeh, K. Thambiratnam // Laser Phys. – 2018. – Vol. 28. – P. 066204-1–066204-8.

11 Kuterbekov K. A., Bekmyrza K. Zh., Kabyshev A. M., Baratova A. A., Aidarbekov N. K. Screen printing technological approaches of materials for solid oxide fuel cells // Bulletin of the University of Toraigrov Series: Physics, mathematics and computer Sciences. – 2025 – № 1 – P. 174–194. – <https://doi.org/10.48081/mlmt2293>

12 Zhumabekov A. Zh., Ispulov N. A., Isimova B. Sh., Kisabekova A. A., Zhuspekova N. Zh. Investigation of the effect of reduced graphene oxide on the structural properties of titanium dioxide // Bulletin of the University of Toraigrov Series: Physics, mathematics and computer Sciences. – 2024. – № 4 – P. 118–126. – <https://doi.org/10.48081/uyv19716>

13 Serikov T. M. Photocatalytic Activity of Nanocomposites Based on Titania Nanorods and Nanotubes Doped with Ag and Reduced Graphene Oxide Nanoparticles / T. M. Serikov, A. S. Kayumova, A. S. Baltabekov, L. F. Ilyina, P. A. Zhanbirbayeva // Nanobiotechnology Reports. – 2022. – Vol. 18, № – P. 207–215.

14 Ozer L. Y., Garlisi C., Oladipo H., Pagliaro M., Sharief S. A., Yusuf A., Almheiri S., Palmisano G. Inorganic Semiconductors-Graphene Composites in Photo(electro)catalysis: Synthetic Strategies, Interaction Mechanisms and Applications // J. Photochem. and Photobiol. C: Photochem. Rev. – 2007. – 33. – P.132–164.

15 Ibrayev N., Zhumabekov A., Ghyngazov S., Lysenko E. Synthesis and study of the properties of nanocomposite materials TiO_2 -GO and TiO_2 -rGO. Materials Research Express, 2019, 6(12), P. 125036(1-11).

Д. А. Темирбаева¹, *А. Ж. Жумабеков²,
А. Ж. Касанова³, С. С. Жарасов⁴, Т. С. Досанов⁵

^{1,2,3,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

⁴Павлодарский нефтехимический завод, Республика Казахстан, г. Павлодар

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОТОКА НАНОСТЕРЖНЕЙ ДИОКСИДА ТИТАНА

В данной работе исследованы наностержни диоксида титана (TiO_2), полученные методом гидротермального синтеза. Наностержни показали себя высокоэффективный фотокатализатор по сравнению с наночастицами и имеют привлекательный вариант для их замены. Использование TiO_2 в

модификации наностержней имеет важное значение для повышения его фотокаталитической активности, а также улучшения механических, электрических и оптоэлектронных характеристик. В ходе исследования были получены наностержни TiO_2 , которые подвергались структурному анализу с использованием сканирующей электронной микроскопии. А также были исследованы спектры поглощения и фотоиндуцированный ток наностержней TiO_2 . Спектры поглощения показывают, что НС TiO_2 поглощают в ближней ультрафиолетовой области в районе от 300 до 400 нм. Фотозлектрические характеристики показывают, что наностержни TiO_2 имеют значение фотоиндуцированного тока около 600 мА. Полученные результаты открывают перспективы для разработки высокоэффективных материалов на основе наностержней TiO_2 с улучшенными функциональными свойствами, применяемых в области детектирования, очистки воды, солнечной энергетики и сенсоров.

Ключевые слова: наностержни TiO_2 , диоксид титана, фотокатализ, фотодетектор, фотоиндуцированный ток.

Д. А. Темирбаева¹, *А. Ж. Жумабеков²,

А. Ж. Касанова³, С. С. Жарасов⁴, Т. С. Досанов⁵

^{1,2,3,5}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁴Павлодар Мұнай-Химия Зауыты, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

ТИТАН ДИОКСИДІ НАНОӨЗЕКШЕЛЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ФОТОТОҒЫН ЗЕРТТЕУ

Аталмыш жұмыста гидротермиялық синтез әдісімен алынған титан диоксидінің (TiO_2) наноөзекшелері зерттелінді. Нанобөшектер өздерін көрсетті жоғары тиімді фотокатализатор нанобөшектермен салыстырғанда және оларды ауыстырудың тартымды нұсқасы бар. Наноөзекшелері модификациялауда TiO_2 қолдану оның фотокаталитикалық белсенділігін арттыру, сондай-ақ механикалық, электрлік және оптоэлектрондық өнімділігін жақсарту үшін өте маңызды. Зерттеу барысында сканерлеуші электронды микроскопияны қолдана отырып құрылымдық талдаудан өткен TiO_2 наноөзекшелері алынды. Сондай-ақ, жұту спектрлері және TiO_2 нанородтарының фотоиндукцияланған тогы зерттелді. Жұту спектрлері TiO_2 наноөзекшелері 300-ден 400 нм-

ге дейінгі ультрақұлгін сәулә аймағында жұтылатынын көрсетеді. Фотоэлектрлік сипаттамалар TiO_2 наноөзекшелері шамамен 600 мА фотоиндукцияланған ток мәніне ие екенін көрсетеді. Нәтижелер анықтау, суды тазарту, күн энергиясы және сенсорлар саласында қолданылатын жақсартылған функционалдық қасиеттері бар жоғары тиімді TiO_2 наноқұрылыстарына негізделген материалдарды өзірлеуге перспективалар ашады.

Кілтті сөздер: TiO_2 наношектері, титан диоксиді, фотокатализ, фотодетектор, фотоиндукцияланған ток.

MPHTI 29.37.03

DOI

*** Н. А. Испулов¹, Р. М. Каримова², Г. С. Омарова³
Ж. К. Даниярова⁴, М. М. Капенова⁵**

^{1,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Павлодарский педагогический университет имени Ө. Марғұлан, Республика Казахстан, г. Павлодар

³Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2455-1305>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9102-0359>

*e-mail: nurlybek_79@mail.ru

О НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В данной работе рассматриваются некоторые задачи распространения упругих волн в анизотропных средах с использованием дифференциальных уравнений 1-го порядка. Исследуется математическая модель, описывающая динамику механики сплошной среды, и приводится ее представление в матричной форме. Особое внимание уделяется применению метода матрицанта для аналитического решения систем линейных уравнений, что позволяет подробно изучить поведение волн в средах с различными механическими свойствами. Для численного моделирования выбраны анизотропные материалы — карбон, сапфир и углепластиковый композит, обладающие различными плотностями и модулями упругости. Построены зависимости скорости частиц и напряжений от времени, что позволило выявить влияние физических параметров на распространение волн. Анализ графиков показывает значительные различия в динамике волновых процессов, обусловленные анизотропией материалов. Исследование экстремальных точек графиков позволило определить влияние упругих модулей и плотности на амплитуду и скорость колебаний частиц. Проведенные расчеты подтверждают эффективность метода матрицанта в решении задач механики сплошной

среды и демонстрируют его применимость для моделирования динамических процессов в сложных материалах, включая композиты и кристаллические структуры.

Ключевые слова: упругие волны, анизотропная среда, метод матрицанта, дифференциальные уравнения, численное моделирование.

Введение

Распространение упругих волн в анизотропных средах является важной задачей механики сплошной среды, имеющей как фундаментальное, так и прикладное значение. Вопросы, связанные с описанием волновых процессов в твердых телах, особенно в средах с выраженной анизотропией, актуальны в связи с широким спектром инженерных и научных приложений, таких как диагностика материалов, разработка новых композитных структур, сейсмология и акустика [1]. Для математического описания таких процессов применяются различные подходы, среди которых особое место занимают дифференциальные уравнения первого порядка. Их использование позволяет сформулировать задачи в удобной матричной форме, обеспечивая аналитические и численные методы решения.

Одним из эффективных методов решения систем линейных дифференциальных уравнений первого порядка является метод матрицанта. Данный метод основан на построении матричной функции фундаментального решения, что позволяет получить аналитические зависимости для волновых процессов в анизотропных средах. Применение этого метода особенно ценно в задачах, связанных с термо- и упругими волнами, так как позволяет учитывать сложные взаимодействия упругих и тепловых эффектов в среде с различными механическими свойствами [2].

В данной работе основное внимание уделяется исследованию распространения упругих волн в анизотропных материалах, таких как карбон, сапфир и углепластиковый композит. Эти материалы характеризуются выраженной анизотропией упругих свойств, что оказывает значительное влияние на динамику волнового процесса. Для анализа волновых характеристик проводится численное моделирование в среде «Mathematica 11» [3], где рассчитываются зависимости скорости частиц и напряжений от времени. Построенные графики позволяют выявить особенности распространения волн в различных средах, а анализ их экстремальных точек дает представление о влиянии упругих параметров и плотности на характеристики волнового процесса.

Целью данной работы является исследование возможности и эффективности применения метода матрицанта для моделирования распространения упругих волн в анизотропных средах.

Научная новизна исследования заключается в применении метода матрицанта к задачам распространения упругих волн в анизотропных средах, что позволяет повысить точность описания волновых процессов и учесть сложные физические взаимодействия. Полученные результаты способствуют развитию методов математического моделирования в механике сплошной среды, а также могут быть использованы в практических приложениях, включая прогнозирование поведения сложных конструкционных материалов, разработку новых инженерных решений и оптимизацию технологических процессов [4].

Материалы и методы

Дифференциальное уравнение 1-го порядка – это уравнение, содержащее искомую функцию $y(x)$ и её первую производную $y'(x)$ (или производные по нескольким переменным в частных производных уравнениях) [5].

Общий вид:

$$F(x, y, y') = 0 \quad (1)$$

Если уравнение разрешено относительно производной, оно принимает вид:

$$y' = f(x, y) \quad (2)$$

В случае уравнений с частными производными 1-го порядка:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n, u, u_{x_1}, u_{x_2}, \dots, u_{x_n}) = 0, \quad (3)$$

где u_{x_i} – частные производные функции $u(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Методы решения дифференциальных уравнений 1-го порядка

Уравнения с разделяющимися переменными

Если уравнение представимо в виде:

$$dx/dy = g(x)h(y), \quad (5)$$

то его общее решение находится интегрированием:

$$\int h(y) dy = \int g(x) dx \quad (6)$$

Линейное дифференциальное уравнение 1-го порядка

Общий вид:

$$dx dy + p(x)y = q(x) \quad (7)$$

Решение методом интегрирующего множителя:

$$y(x) = \exp(-\int p(x) dx) * (\int q(x) * \exp(\int p(x) dx) dx + C) \quad (8)$$

с) Метод матрицанта для систем линейных уравнений [6].

Система линейных дифференциальных уравнений 1-го порядка:

$$dX/dx = B(x)X + F(x), \quad (9)$$

где X – вектор неизвестных функций, $B(x)$ – матрица коэффициентов.

Фундаментальное решение записывается через матрицант $T(x)$:

$$X(x) = T(x)C + T(x) \int T^{-1}(x) F(x) dx. \quad (10)$$

Здесь матрицант $T(x)$ удовлетворяет уравнению

$$\frac{dT}{dx} = B(x)T. \quad (10)$$

Результаты и обсуждение

Приведем пример решения задачи из механики сплошной среды методом матрицанта:

Задача: рассмотрим одномерную волну напряжений в упругой анизотропной среде. Пусть система уравнений движения в линейной теории записана в матричной форме:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} v \\ \sigma \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} v \\ \sigma \end{pmatrix}$$

где:

v – скорость частицы, σ – напряжение, B – матрица коэффициентов системы.

Для одномерного случая уравнения можно записать как:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma}{\partial x},$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = C \frac{\partial v}{\partial x}$$

где C – модуль упругости, ρ – плотность среды.

Запишем систему в матричной форме:

Обозначим

$$X = \begin{pmatrix} v \\ \sigma \end{pmatrix},$$

тогда система уравнений примет вид:

$$\frac{dX}{dt} = BX$$

где матрица B имеет вид:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1/\rho \\ C & 0 \end{pmatrix}$$

Решение системы через матрицант можно записать в виде:

$$X(t) = T(t)X(0),$$

где $T(t)$ — матрицант (фундаментальная матрица решения), удовлетворяющий уравнению:

$$\frac{dT}{dt} = BT, \quad T(0) = E$$

где E – единичная матрица, $E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$.

Для вычисления матрицанта найдём собственные значения матрицы В.
Решая характеристическое уравнение:

$$\det|B - \lambda E| = \begin{vmatrix} -\lambda & 1/\rho \\ C & -\lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 - \frac{C}{\rho} = 0$$

получаем собственные значения:

$$\lambda = \pm \sqrt{\frac{C}{\rho}}$$

Соответствующие собственные векторы:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} v \\ \sigma \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X}_{\pm} = \begin{pmatrix} 1 \\ \pm \sqrt{C/\rho} \end{pmatrix}$$

Таким образом, общее решение имеет вид:

$$\mathbf{X}(t) = c_1 \exp(\lambda_+ t) \mathbf{X}_+ + c_2 \exp(\lambda_- t) \mathbf{X}_-.$$

Используя начальные условия $\mathbf{X}(0) = [v_0, \sigma_0]^T$, находим коэффициенты c_1, c_2 и получаем окончательное решение.

Коэффициенты c_1 и c_2 находятся из начального условия:

$$\mathbf{X}(0) = \begin{pmatrix} v_0 \\ \sigma_0 \end{pmatrix}$$

Подставляя $t=0$, получаем систему уравнений:

$$\begin{pmatrix} v_0 \\ \sigma_0 \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} 1 \\ \rho c \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 1 \\ -\rho c \end{pmatrix}$$

Разделим её на две скалярные формы:

$$c_1 + c_2 = v_0, \\ \rho c c_1 - \rho c c_2 = \sigma_0.$$

Решая систему:

Из первого уравнения: $c_2 = v_0 - c_1$.

Подставляем во второе: $\rho c c_1 - \rho c (v_0 - c_1) = \sigma_0$

Получим,

$$c_1 = \frac{\sigma_0 + \rho c v_0}{2\rho c}$$

Теперь найдём c_2 :

$$c_2 = v_0 - c_1 = v_0 - \frac{\sigma_0 + \rho c v_0}{2\rho c}; \quad c_2 = \frac{\rho c v_0 - \sigma_0}{2\rho c}.$$

В итоге, получим:

$$c_1 = \frac{\sigma_0 + \rho c v_0}{2\rho c}; \quad c_2 = \frac{\rho c v_0 - \sigma_0}{2\rho c}.$$

Таким образом, метод матрицанта позволяет эффективно решать системы линейных уравнений в механике сплошной среды, описывающие распространение волн напряжений в упругих анизотропных средах.

Проведем численный расчет для распространения упругих волн в анизотропных средах, используя реальные параметры материалов. Построим графики зависимости скорости частиц $v(x, t)$ и напряжения $\sigma(x, t)$ от времени при заданных параметрах среды.

Рассмотрим два материала [7]:

Сталь

Плотность: $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$

Модуль упругости: $C_{11} = 200 \times 10^9 \text{ Па}$.

Кварц (анизотропный материал)

Плотность: $\rho = 2650 \text{ кг/м}^3$

Модуль упругости: $C_{11} = 86,7 \times 10^9 \text{ Па}$

Скорость распространения волн вычисляется как:

$$c = \sqrt{\frac{C_{11}}{\rho}}$$

Решим систему уравнений методом матрицанта и построим графики для начальных условий: $v_0 = 1 \text{ м/с}$, $\sigma_0 = 10^6 \text{ Па}$.

Проведем расчет и построим графики, на которых показана зависимость скорости частиц $v(t)$ и напряжения $\sigma(t)$ от времени для стали и кварца.

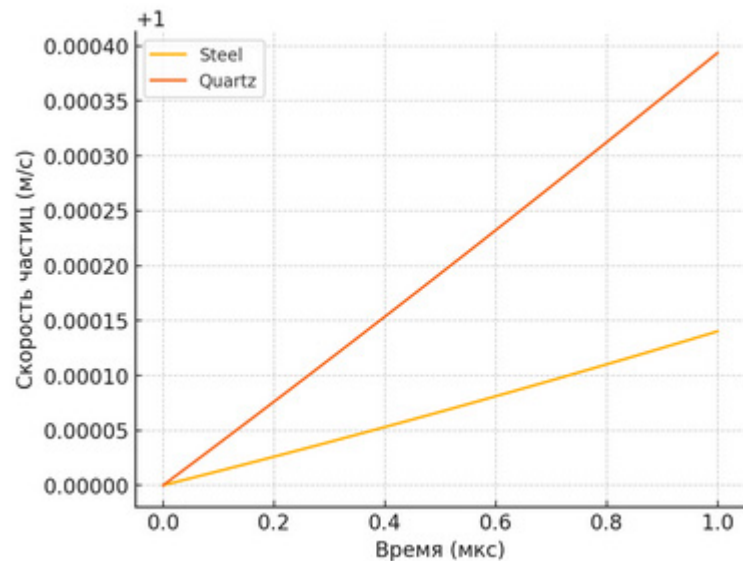


Рисунок 1 – Зависимость скорости частиц $v(t)$ от времени для стали и кварца

Из представленного графика зависимости скорости частиц от времени можно отметить, что характер изменения скорости частиц существенно различается для стали и кварца. В частности, скорость частиц в стали возрастает значительно быстрее, чем в кварце, что объясняется более высоким модулем упругости данного материала. Сталь обладает большей жесткостью по сравнению с кварцем, что приводит к более интенсивному распространению упругих волн и быстрому увеличению скорости частиц. В то же время, кварц, имея меньший модуль упругости, демонстрирует более плавный рост скорости, что указывает на сравнительно медленное распространение упругих волн. Эти различия обусловлены не только различиями в механических свойствах материалов, но и их структурными особенностями, влияющими на процесс передачи энергии упругих колебаний. Таким образом, график подтверждает, что модуль упругости играет ключевую роль в динамике распространения волн, определяя характер изменения скорости частиц во времени.

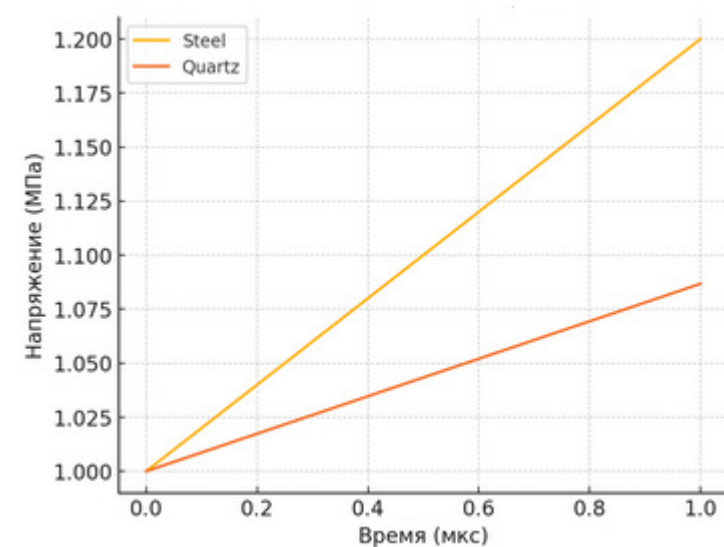


Рисунок 2 – Зависимость напряжения $\sigma(t)$ от времени для стали и кварца

Данный график демонстрирует, что амплитуда колебаний напряжения значительно выше у стали по сравнению с кварцем, что связано с ее более высоким модулем упругости. Чем выше модуль упругости материала, тем большее напряжение развивается при деформации, что и приводит к увеличению амплитуды колебаний. В случае стали высокая жесткость способствует более интенсивному накоплению и передаче энергии упругих волн, что отражается в большей амплитуде изменений напряжения. Напротив, у кварца, обладающего меньшим модулем упругости, материал менее подвержен значительным изменениям напряжений при воздействии механических колебаний, что приводит к снижению амплитуды волнового процесса. Эти различия подтверждают фундаментальную зависимость между механическими характеристиками материала и динамикой распространения упругих волн, а также показывают важность учета упругих свойств при анализе волновых процессов в различных средах.

Проведем также численный расчет и построим графики распространения упругих волн в карбоне, сапфире и композите, используя метод матрицанта. Для этого приведем их основные механические характеристики [7]:

Карбон (углеродное волокно):

Плотность: $\rho \approx 1600 \text{ кг/м}^3$

Модуль упругости: $E_x \approx 230 \text{ ГПа}$, $E_y \approx 15 \text{ ГПа}$ (анизотропный)

Коэффициент Пуассона: $\nu_{xy} \approx 0,3$

Сапфир (монокристалл Al_2O_3)

Плотность: $\rho \approx 3980 \text{ кг/м}^3$

Модуль упругости: $C_{11}=496 \times 10^9 \text{ Па}$, $C_{12}=164 \times 10^9 \text{ Па}$, $C_{44}=147 \times 10^9 \text{ Па}$

Анизотропный тензор жесткости.

Композит (углепластик на основе эпоксидной смолы):

Плотность: $\rho \approx 1800 \text{ кг/м}^3$

Модуль упругости: $E_x=140 \text{ ГПа}$, $E_y=10 \text{ ГПа}$, $E_z=10 \text{ ГПа}$

Коэффициент Пуассона: $\nu_{xy}=0,25$, $\nu_{xz}=0,3$.

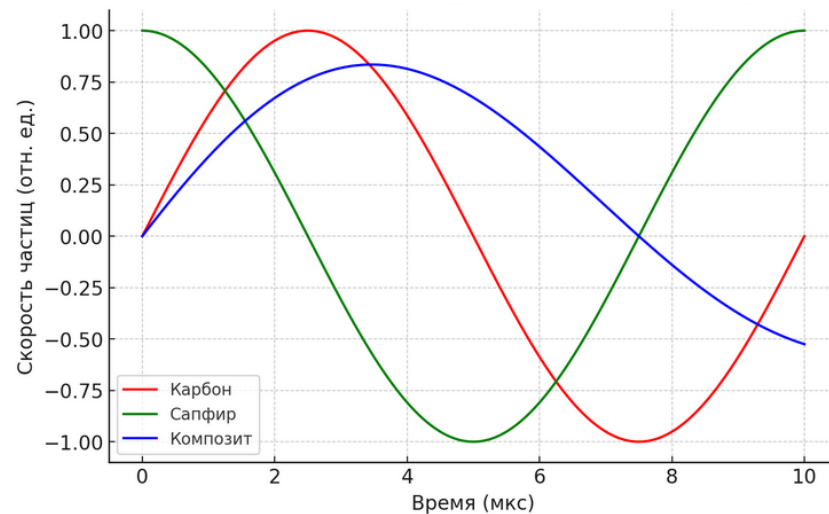


Рисунок 3 – Зависимость скорости частиц $v(t)$ от времени для различных анизотропных сред

График зависимости скорости частиц от времени для карбона, сапфира и композита показывает существенные различия в динамике распространения упругих волн в анизотропных средах. Красная кривая (карбон) демонстрирует резкие колебания с высокой частотой, что обусловлено высокой жесткостью материала и малым затуханием упругих волн. Зеленая кривая (сапфир) изменяется по косинусоидальному закону, что связано с его кристаллической структурой и высокой анизотропией, приводящей к упорядоченному характеру волнового процесса. Синяя

кривая (композит) характеризуется более сглаженными и затухающими колебаниями, что объясняется сложной внутренней структурой материала и наличием полимерной матрицы, способствующей рассеянию энергии волны. Временной масштаб в микросекундах позволяет лучше рассмотреть фазовые сдвиги и различия в скоростях распространения волн в материалах. Общий анализ подтверждает, что механические свойства и анизотропия среды оказывают ключевое влияние на характеристики упругих волн, определяя их амплитуду, частоту и степень затухания. Этот анализ важен для предсказания динамического поведения материалов в вибрациях, ударах и конструкционных нагрузках, что находит применение в машиностроении, аэрокосмической отрасли, сейсмологии и неразрушающем контроле [8;9].

Графики зависимости скорости частиц от времени для карбона, сапфира и композита имеют периодический характер, так как описываются функцией:

$$v(t) = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sin(2\pi f t)$$

где:

E — модуль упругости (Па),

ρ — плотность материала (кг/м^3),

f — частота колебаний (Гц),

t — время (с).

Экстремумы (максимумы и минимумы) функции $V(t)$ достигаются в точках, где производная обращается в ноль:

$$\frac{dv}{dt} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} 2\pi f \cos(2\pi f t) = 0$$

Решая уравнение $\cos(2\pi f t) = 0$ получаем:

$$t_k = \frac{(2k+1)}{4f}, \quad k \in \mathbb{Z}$$

Максимумы достигаются при $t=1/4f, 5/4f, 9/4f, \dots$

Минимумы достигаются при $t=3/4f, 7/4f, 11/4f, \dots$

При построении графиков использовалась СКМ «Mathematica 11.» [3]. Расчеты подтверждают, что метод матрицанта позволяет эффективно моделировать распространение упругих волн в анизотропных средах.

Выводы

В данной работе проведено исследование распространения упругих волн в анизотропных средах с применением метода матрицанта. Были получены аналитические решения системы дифференциальных уравнений первого порядка и выполнено численное моделирование для конкретных материалов. Анализ графиков показал, что анизотропные свойства среды существенно влияют на характеристики волнового процесса, такие как скорость частиц и напряжение. Ранее в работах [10;11;12] были рассмотрены задачи распространения упругих волн в анизотропных средах с применением метода матрицанта. Метод матрицанта доказал свою эффективность в расчетах динамики сплошной среды и может быть использован для дальнейших исследований упругих волн в сложных средах, включая композиты и кристаллические материалы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Royer, D., Dieulesaint, E.** «Elastic Waves in Solids I: Free and Guided Propagation». – Berlin: Springer-Verlag. – 2000. – 358 p.
- 2 **Тлеукунов, С. К.** Метод матрицанта. – Павлодар : НИЦ ПГУ имени С. Торайгырова. – 2004. – 148 с.
- 3 **Трифонов, А. В., Фролов, Е. В.** Практическое руководство по Mathematica 11. – М. : ДМК Пресс. – 2017 – 320 с.
- 4 **Ильин, В. А.** Математические модели в механике сплошной среды. – М. : Физматлит. – 2001 – 320 с.
- 5 **Ting, T. C. T.** «Anisotropic Elasticity: Theory and Applications». – New York : Oxford University Press. – 2002 – 578 p.
- 6 **Гантмахер, Ф. Р.** Теория матриц. М. : Наука. – 1988 – 552 с.
- 7 **Nye, J. F.** «Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices». – Oxford : Clarendon Press. – 1985 – 329 p.
- 8 **Norris, A. N.** «Elastic Wave Propagation in Anisotropic Materials». – In : «Wave Propagation in Structures». – Springer. – 2000 – P. 129–162.
- 9 **Musgrave, M. J. P.** «Crystal Acoustics: Introduction to the Study of Elastic Waves and Vibrations in Crystals». – New York : Dover Publications. – 2003 – 344 p.
- 10 **Abdul Qadir, N. A. Ispulov, A. A. Kissabekova, R. M. Karimova, A. Zh. Zhumabekov.** About the three-dimensional elasticity tensor in anisotropic

media, Bulletin of Toraighyrov University Physics, Mathematics & Computer Science series – 2024. – № 3 – P. 81–95.

11 **Nurlybek A. Ispulov, Almar Zh. Zhumabekov, Abdul Qadir, Almas A. Kurmanov, Sholpan N. Sarymova, Kairat R. Dossumbekov, and Erkin Arinov.** The Propagation of Thermoelastic Waves in Different Anisotropic Media Using Matricant Method. Advances in Mathematical Physics Volume. – 2022.

12 **Испулов, Н. А., Ахметсафин, М. Р.** Тетрагоналды сингонияның анизотропты ортада термосерпімді толқындардың таралуы кезіндегі классикалық емес қатан емес түйісудің шекаралық шарттары туралы. doi.org/10.48081/LFCO6330, Вестник Торайғыров университета. Серия физика, математика и компьютерные науки. – 2023. – № 3. – С. 68–81.

REFERENCES

- 1 **Royer, D., Dieulesaint, E.** «Elastic Waves in Solids I: Free and Guided Propagation». – Berlin : Springer-Verlag. – 2000. – 358 p.
- 2 **Tleukenov, S. K.** Metod matriczanta. – Pavlodar : NICz PGU im. S. Torajgy`rova. – 2004. – 148 p.
- 3 **Trifonov, A. V., Frolov, E. V.** Prakticheskoe rukovodstvo po Mathematica 11. – M.: DMK Press. – 2017. – 320 p.
- 4 **Ильин, В. А.** Matematicheskie modeli v mexanike sploshnoj sredy`. – M. : Fizmatlit. – 2001 – 320 p.
- 5 **Ting, T. C. T.** «Anisotropic Elasticity: Theory and Applications». – New York : Oxford University Press. – 2000 – 578 p.
- 6 **Gantmaxer, F. R.** Teoriya matricz. M. : Nauka. – 1988. – 552 p.
- 7 **Nye, J. F.** «Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices». – Oxford : Clarendon Press. – 1985 – 329 p.
- 8 **Norris, A. N.** «Elastic Wave Propagation in Anisotropic Materials» – In: «Wave Propagation in Structures». – Springer. – 2000 – P. 129–162.
- 9 **Musgrave, M. J. P.** «Crystal Acoustics: Introduction to the Study of Elastic Waves and Vibrations in Crystals» – New York: Dover Publications. – 2003 – 344 p.
- 10 **Abdul Qadir, N. A. Ispulov, A. A. Kissabekova, R. M. Karimova, A. Zh. Zhumabekov.** About the three-dimensional elasticity tensor in anisotropic media, Bulletin of Toraighyrov University Physics, Mathematics & Computer Science series. – № 3. – 2024. – P. 81–95.
- 11 **Nurlybek A. Ispulov, Almar Zh. Zhumabekov, Abdul Qadir, Almas A. Kurmanov, Sholpan N. Sarymova, Kairat R. Dossumbekov, and Erkin Arinov.** The Propagation of Thermoelastic Waves in Different Anisotropic Media Using Matricant Method. Advances in Mathematical Physics Volume. – 2022.

12 **Ispulov, N. A., Axmetsafin, M. R.** Tetragonal $\bar{d}$ singoniyany $\bar{n}$ anizotropy $\bar{t}$ ortada termoserpimdi tolqu $\bar{n}$ ndardy $\bar{n}$ taralu $\bar{y}$ kezindegі klassikal $\bar{y}$ k emes қатан emes tyjisy $\bar{d}$ in shekaral $\bar{y}$ k sharttary $\bar{t}$ turaly $\bar{t}$. doi.org/10.48081/LFCO6330, Vestnik Torajgy $\bar{r}$ ov universiteta. Seriya fizika, matematika i komp $\bar{y}$ uterny $\bar{e}$ nauki. – 2023 – № 3 – P. 68–81.

***Н. А. Испулов¹, Р. М. Каримова², Г. С. Омарова³**

Ж. К. Даниярова⁴, М. М. Капенова⁵

^{1,4,5}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Ә.Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³Академик Е. А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

АНИЗОТРОПТЫ МАТЕРИАЛДАРДА СЕРПІМДІ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫНЫҢ КЕЙБІР ЕСЕПТЕРІН ШЕШУ ҮШІН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ

Бұл жұмыста 1-ші ретті дифференциалдық теңдеулерді қолдана отырып, анизотропты ортада серпімді толқындардың таралуының кейбір мәселелерін қарастырылады. Қатты орта механикасының динамикасын сипаттайтын математикалық модель зерттеліп, оның матрицалық түрінде ұсынылуы келтірілген. Сызықтық теңдеулер жүйесін аналитикалық шешу үшін матрицант әдісін қолдануға ерекше назар аударылады, бұл әртүрлі механикалық қасиеттері бар ортадағы толқындардың әрекетін егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік береді. Сандық модельдеу үшін анизотропты материалдар таңдалады-әртүрлі тығыздықтар мен серпімділік модульдері бар көміртегі, сапфир және көміртекті пластикалық композит. Бөліктердің жылдамдығы мен кернеуінің уақытқа тәуелділігі құрылды, бұл физикалық параметрлердің толқындардың таралуына әсерін анықтауға мүмкіндік берді. Графиктерді талдау материалдардың анизотропиясына байланысты толқындық процестердің динамикасында айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетеді. Графиктердің экстремалды нүктелерін зерттеу серпімді модульдер мен тығыздықтың бөліктердің тербеліс амплитудасы мен жылдамдығына әсерін анықтауға мүмкіндік берді. Жүргізілген есептеулер матрицант әдісінің үздіксіз механика есептерін шешудегі тиімділігін растайды және оның композиттер мен

кристалдық құрылымдарды қоса алғанда, күрделі материалдардағы динамикалық процестерді модельдеу үшін қолданылуын көрсетеді.

Кілтті сөздер: серпімді толқындар, анизотропты орта, матрицант әдісі, дифференциалдық теңдеулер, сандық модельдеу.

***N. A. Ispulov¹, R. M. Karimova², G. S. Omarova³,**

Zh. K. Daniyarova⁴, M. M. Kapenova⁵

^{1,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Margulan University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Karaganda University of the name of academician E. A. Buketov, Republic of Kazakhstan, Karaganda

ON SOME PROBLEMS OF ELASTIC WAVE PROPAGATION IN ANISOTROPIC MATERIALS

In this paper, we consider some problems of elastic wave propagation in anisotropic media using first-order differential equations. We study a mathematical model that describes the dynamics of continuum mechanics and present it in matrix form. Particular attention is paid to the application of the matricant method for analytical solution of systems of linear equations, which allows us to study in detail the behavior of waves in media with different mechanical properties. Anisotropic materials – carbon, sapphire, and carbon-fiber composite with different densities and elastic moduli – were selected for numerical modeling. The dependences of particle velocity and stress on time were constructed, which made it possible to identify the influence of physical parameters on wave propagation. Analysis of the graphs shows significant differences in the dynamics of wave processes due to the anisotropy of materials. The study of the extreme points of the graphs made it possible to determine the influence of elastic moduli and density on the amplitude and velocity of particle oscillations. The calculations confirm the effectiveness of the matricant method in solving continuum mechanics problems and demonstrate its applicability for modeling dynamic processes in complex materials, including composites and crystalline structures.

Keywords: elastic waves, anisotropic medium, matricant method, differential equations, numerical modeling.

***С. Ш. Егембердиева¹, Б. Ж. Кушкимбаева²,
Р. Ж. Наметкулова³, М. Т. Кейкиманова⁴**

^{1,2,3,4}М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2418-2544>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0572-0800>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1658-152X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3683-5574>

*e-mail: s.egemberdieva@bk.ru

БІР ЖАҚТЫ ДЕФОРМАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІНЕН ГАЛЛИЙ АНТИМОНИДИНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СПЕКТРІНІҢ ҚАЙТА ҚҰРЫЛУЫ

Жұмыста 77°K температурадағы тасымалдаушылардың концентрациясы $1 \cdot 10^{17}$ - $9 \cdot 10^{17}$ см⁻³ селен Se ендірілген p-типті галлий антимонидінің кристалдарының фотолюминесценция спектрлері зерттелді. Зерттелетін концентрациялар диапазоны электрондардың азғындау облысына сәйкес келеді. (111) бағытында түсірілген қысыммен өткізгіштік аумақтың Г және L минимумдарының ығысу жылдамдықтарын анықтай отырып, қоспасыз және компенсацияланған p-типті және n-типті селенмен легирленген галлий антимониді кристалдарының фотолюминесценция спектрлеріне бір осьті деформацияның әсерін тәжірибелік зерттеу нәтижелері қарастырылды. Галлий антимонидінің фотолюминесценция спектрлері құрылымдық сипаты қарастырылып, қоспа ендірілу дәрежесін ұлғайтқан сайын сәулелену сызығының максимумы төменгі энергиялар жағына қарай ығысатыны, спектр сызығының кеңейетіні анықталды.

Сәулелену сызығының максимумының энергиясы әрқашан тыйым салынған зонаның оптикалық енінен едәуір (80-100 МэВ) кіші болуы сәулелену сызығы электрондардың өткізгіштік зонасынан терең акцепторлық деңгейге ауысуы нәтижесінде пайда болуымен, яғни галлий антимонидінде әрқашан да болатын акцептордың екінші ретті иондалған күйіне ауысумен түсіндірілді. Егер n-типті галлий антимонидіне азғындауға дейін қоспа ендірілген болса, онда акцепторлар екі рет теріс зарядталған

болып, яғни (Δn , $\Delta p < n$) тепе-теңсіз кемтіктер бір рет теріс зарядталатын акцепторлармен жылдам қамтылады. Демек, тасымалдаушылардың рекомбинациясы кулондық тосқауылдан өткеннен кейін болатындығы сәулелену сызығының пішіні және сәулеленудің максимумының өзгергендігінен көрінеді.

Кілтті сөздер: фотолюминесценция, өткізгіштік аумақ, галлий антимониді, бір осьті деформация, деформациялық потенциалдың тұрақтылары.

Кіріспе

Галлий антимониді дәстүрлі оптикалық электроникада қолданылатын анағұрлым қызығушылық тудыратын материалдардың бірі. Аталмыш материал шығаратын сәулеленің шектік толқын ұзындығының талшықты байланыс желісінде қолданылатын спектрлік облыста болуы оны қолданудың болашағын анықтайды [1, 345-6.].

Галлий антимониді әдеттегі жартылай өткізгішті оптоэлектроникада пайдаланылатын ең қызықты материалдардың бірі болып табылады. Оның қолдану мүмкіндіктері, бұл материалдың шеткі сәулелену (жұтылу) толқын ұзындығы қазіргі кезде қолданылатын талшықты байланыстың сызығының минималь шығынына сәйкес келетін спектральды облыста жататындығымен байланысқан.

Галлий антимонидіне қызығушылықтың себебі мынада: оның өткізгіштік аумақтың негізгі минимумдарына жақын орналасқан қосымша (~ 80 мэВ) энергия минимумдары бар, сондай ақ спиндік орбиталық ыдырауы E_g рұқсат етілмеген аумақтың енімен шамалас және т.б. Галлий антимонидінің осы ерекшеліктері оны A^3B^5 қосылыстар қатарынан бөліп тұрады [2; 3]. Осылайша, мысалы, бір осьті деформацияның нәтижесінде өткізгіштік аумақтың экстремумдарының инверсиясын туғызуға болады және сонымен бірге кристалдың оптикалық қасиеттеріне жоғары орналасқан L- жазықтықтардың әсерін зерттеуге болады.

Материалдар мен әдістері

Галлий антимонидінің фотолюминесценциясын сұйық азоттың температурасында зерттеу үшін кәдімгі криостат пайдаланылды. Криостаттың шыны қабырғалары галлий антимонидінің сәуле шығару спектріндегі облысқа сәулелерді жақсы өткізеді. Бұл жағдайда сәулеленуді жинау үшін және оны санылауға бағыттау үшін вертикаль орналастырылған сфералық айна қолданылады.

GaSb кристалындағы тепе-теңсіз тасымалдаушылардың қозуы сәулелену қуаты 10 МВт толқын ұзындыты 1,15 мкм үздіксіз лазермен ЛТ-

126 жүргізілді. Лазердің сәулесі жиілігі 650 Гц механикалық модулятормен бөлінеді.

Рекомбинациялық сәулелену толқын ұзындықтары 0,4 мкм-12 мкм дейінгі кең интервалдығы сәулеленуді жіктеуге мүмкіндік беретін 600, 300 және 120 штр/мм алмастырғыш репликасы бар ст-50 (Жапония) торлық монохроматормен анализ жасалынды. Галий антимониді кристалдарының сәулеленуін тіркеу үшін PbS фотоқабылдағыш пайдаланылды. Сигнал күшейтіліп, синхронды детектрленгеннен кейін өздігінен жазатын құралда тіркелді.

Тасымалдаушылардың концентрациясы Холл коэффициентінің берілген шамалары бойынша анықталған [4, 103-6.]. Ол үшін Чохроль әдісі бойынша қорытпадан өсірілген монокристалдардың бойынан оське көлденең қалыңдығы d=1мм шайбалар қолданылған.

Қолданылған үлгілер алдын ала біртектілікке тексерілді. Кесу және өңдеу арқылы өлшемі 12*2*1 мм³ параллелепипед пішіні үлгілер дайындалды. Үлгілердің беті M14 және M17 порошоктарымен біртіндеп өңделеді. Содан соң үлгілер ағын сумен, спиртпен жуылады және кептірілгеннен кейін СД-4А ерітіндісінде тазартылады. Дистилляцияланған сумен жуылғаннан және кептірілгеннен кейін үлгілерге электрлік өлшеулер үшін контактілер жасалады. Контактілер микропояльниктің көмегімен таза индиймен дәнекерленген. Оптикалық, зерттеулер үшін ең біртекті үлгілер таңдалды. Таңдау Холл концентрациясын және тасымалдаушылардың үлгінің ұзындығы бойымен қозғалғыштығын бірнеше рет өлшеулердің нәтижесі бойынша жүргізілді. Осындай тәсілмен таңдалған үлгілердің контактілері алынып тасталды және үлгілер 200 мкм қалыңдыққа дейін өңделеді. Осылайша, дайындалған үлгілерде галлий антимонидінің фотолюминесценциясы зерттелді.

Нәтижелер және талқылау

Бір осьті деформация кристалдық тордың кубтық симметриясын төмендетеді де көп жазықтықты ауытқудан сақтайды. Бір осьті деформация кезіндегі Бриллюэн аумағының нақты симметрия нүктелеріндегі аумақтардың энергетикалық ығысуы [5; 6] жұмыстарда теориялық түрде қарастырылған.

Кристаллографиялық (111) бағытта деформация түсірілгенде өткізгіштік аумақтың Г-минимумы келесі түрде ығысады

$$\frac{dE_r}{dP} = \Xi_d^L \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} \quad (1)$$

Ал өткізгіштік аумақтың L-минимумдары

$$\frac{dE_L}{dP} = (\Xi_d^L + \frac{1}{3}\Xi_U^L) \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} + \frac{1}{9}\Xi_U^L \frac{1}{C_{44}} \quad (2)$$

жылдамдықпен қозғалатын триплетке және

$$\frac{dE_L}{dP} = (\Xi_d^L + \frac{1}{3}\Xi_U^L) \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} - \frac{1}{3}\Xi_U^L \frac{1}{C_{44}} \quad (3)$$

жылдамдықпен қозғалатын синглетке жіктеледі, мұндағы Р-бір осьтік қысым, C_{ij} – серпімді деформацияның тұрақтылары, $\Xi_{d,U}^{r,L}$ – өткізгіштік зонаның деформациялық потенциалының тұрақтылары.

Көрсетілген шарттарда валенттік аумақ келесі түрде ығысады:

$$\frac{dE_v}{dP} = a \frac{1}{2C_{12} + C_{11}}$$

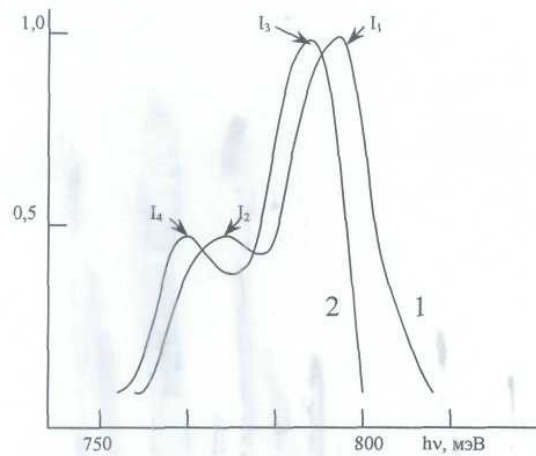
және

$$\Delta E = \frac{d'}{\sqrt{3}C_{44}}$$

шамасына жіктеледі, мұндағы а, d' - валенттік аумақтың деформациялық потенциалының тұрақтылары.

Бір осьті деформация жағдайында концентрацияның (холлдық концентрация) 1,8*10¹⁷ – 2*10⁻³ аралығындағы мәндері үшін қоспасыз және селенмен компенсацияланған р-типті галлий антимонидінің кристалдары зерттелген. Қысым кристаллографиялық (111) бағыт бойымен түсірілген. Қысымның шамасы 9000 кг/см² дейінгі аралықта алынған. Өлшеулер төменгі сорғы жағдайында 77 К температурада жүргізілді.

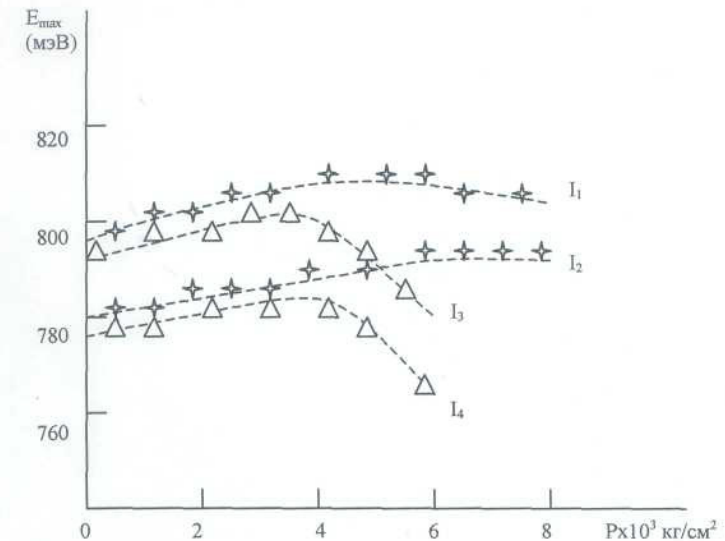
Қоспасыз галлий антимонидінің фотолюминесценциясының спектрі (1-сурет) екі сызықтан тұрады. Жоғары энергиялық сызық (I₁) өткізгіштік – валенттік аумақтар арасындағы өтулер есебінен пайда болады, ал екінші сызық (I₂) өткізгіштік – акцепторлық аумақтардағы ауысуларға сәйкес келеді.



1-сурет – Қоспасыз (1) және селенмен әлсіз легирленген (2) р-типті галлий антимионидінің люминесценциясының спектрлері, температура $T=77^\circ\text{K}$

Бұл суретте галлий антимиониді үшін донорлық қоспа болып табылатын селенмен теңгерілген GaSb кристалының фотолюминесценциясының спектрі көрсетілген. GaSb (Se) спектрлерінің қос (I_3 және I_4) сызықтары қоспасыз үлгілердің спектрімен салыстырғанда кіші энергиялар аумағына біршама ығысқан, бұл шағын донорлық деңгейлердің қатысымен түсіндіріледі.

Қысым артқан сайын барлық сызықтар жоғары энергия бағытында жылжитыны графиктен көрініп тұр (2-сурет). Сонымен бірге, селенмен легирленген кристалдар шығаратын сәуленің спектрлік сызықтарының ығысуы шамамен $4,5 \cdot 10^3 \text{ кГ/см}^2$ қысымға дейінгі жағдайдағы қоспасыз кристалдың спектрінің сипатына ұқсас [7; 8]. Қысымның артуымен сәулелену спектрінің сызықтарының ығысуы тыйым салынған аумақтың енінің өсуімен байланысты екенін және барлық сызықтар бірдей жылдамдықпен ығысатынын айта кету керек. Бұл акцепторлық деңгейдің иондалу энергиясын қысымға байланысты өзгермейтінін білдіреді. Қысым $4,5 \cdot 10^3 \text{ кГ/см}^2$ шамасынан үлкен болғанда өткізгіштік аумақтың L-минимумымен байланысқан селеннің деңгейі өзінің энергетикалық жағдайы бойынша өткізгіштік аумақтың негізгі Г-минимумынан төмен орналасады және селенмен легирлендірілген кристалдардағы сәуле шығарылатын өтулермен анықталады.



2-сурет – р-типті галлий антимиониді шығаратын сәуленің спектрлік сызықтарының максимумының [111] бағытындағы бір осьтік деформацияның шамасына тәуелділігі, $T=77^\circ\text{K}$

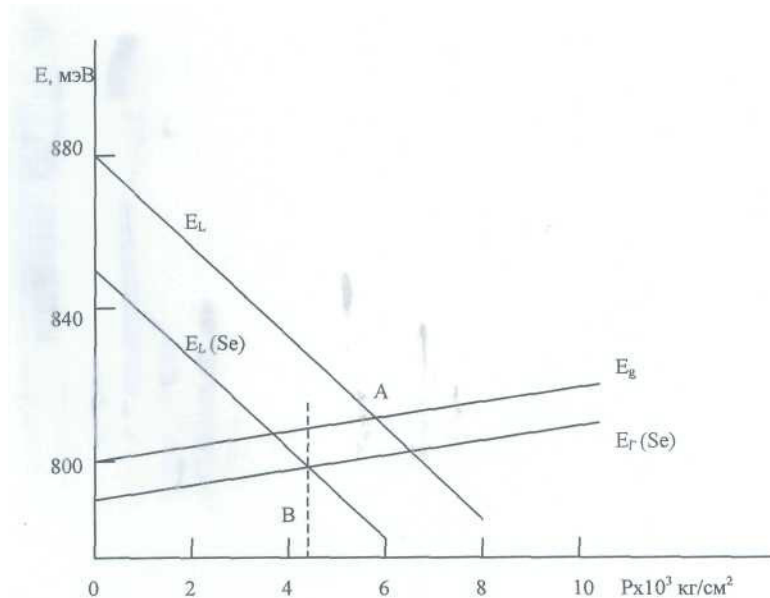
Спектрлік сызықтардың энергетикалық орналасуының түсірілген қысымға тәуелділігін зерттей отырып, (111) бағытындағы бір осьті деформация кезіндегі L-минимумдарының біреуінің ығысуын және тыйым салынған аумақтың енінің өзгеру жылдамдығын алуға болады.

$$\frac{dE_r}{dP} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ мЭВ/кГ} \cdot \text{см}^{-2}$$

$$\frac{dE_L}{dP} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ мЭВ/кГ} \cdot \text{см}^{-2}$$

Г – және L – минимумдардың ығысу жылдамдықтарын біле отырып, L- минимумдармен байланысқан селен деңгейлерінің энергетикалық жағдайларын түсіндіруге болады. 3-суретте өткізгіштік аумақтың және солармен байланысқан селеннің қоспалық деңгейлерінің минимумдарының энергетикалық орналасуының (111) бағытындағы қысымның шамасына тәуелділігі көрсетілген. Ығысу жылдамдықтары тәжірибеде анықталған. Диаграмма, донорлардың иондалу энергиясы қысымға тәуелді емес, - деген

болжаммен тұрғызылған. Диаграмма бойынша, аумақтардың инверсиясы $6,5 \cdot 10^3$ кг/см² қысымда өтеді (А нүктесі). $E_{\max}$ шамасының кіші энергиялар жағына ығысуы (2-суреттегі I_3 және I_4 қисықтары) E_{Se}^L шамасымен сәйкес келген мезеттен басталады, деп есептейміз. Сонда $E_L(P)$ түзуіне параллель жүргізілген сызық E_{Se}^G (В нүктесі) энергетикалық жағдайына сәйкес келетін нүкте арқылы өтеді және қысымның $P=4,5 \cdot 10^3$ кг/см² мәнінде энергия осінде $E_{Se}^L=33$ Мэв мәнін аламыз.



3-сурет – Өткізгіштік аумақтың минимумдарының энергетикалық орналасуының және солармен байланысқан селеннің қоспалық деңгейлерінің (111) бағытындағы қысымның шамасына тәуелділігі

3-суретте көрсетілген диаграмма бойынша, өткізгіштік аумақтың Г – және L – минимумдары аймақтарының инверсиясы шамамен $6,5 \cdot 10^3$ кг/см² қысымда өтуі керек, I_1 және I_2 сәулелік сызықтар ығысу таңбасын өзгертуі керек, себебі сәулелік рекомбинация уақыты 10^{-9} - 10^{-10} с. [4, 103-б.], ал аралық шашырау уақыты 10^{-13} с [5, 1040-б.]. Дегенмен, тәжірибеде алынған сәуле шығару спектрінің максимумдарының орнының деформацияға тәуелділігі олардың ығысу таңбасының өзгермейтінін көрсетеді (2-сурет, I_1 және I_2 қисықтары). (1) және (3) формулалармен

сипатталатын өткізгіштік зонаның Г – және L – минимумдарының ығысу жылдамдықтарын біле отырып, осы теңдеулерді

$$\frac{d\Delta E_{L,G}}{dP} = 3(\Xi_d^G + \Xi_d^L - \frac{1}{3}\Xi_U^L) \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} \quad (4)$$

формуласымен сипатталатын, гидростатикалық өлшеулерден алынған $\Delta E_{L,G}$ энергетикалық саңлаудың өзгеру жылдамдығының өрнегімен толықтырамыз. (1), (3) және (4) теңдеулерінен тұратын жүйені Ξ_d^G, Ξ_d^L және Ξ_U^L шамаларына қатысты шеше отырып, өткізгіштік аумақтың Г – және L – минимумдары үшін деформациялық потенциалдың тұрақтыларының мәндерін табамыз: $\Xi_d^G = -5,2$ эВ, $\Xi_d^L = -3,4$ эВ и $\Xi_U^L = 11,2$ эВ. Мұнда [6, 1273-б.] әдебиеттен алынған C_{ij} шамаларының келесі мәндері қолданылған: $C_{11} = 8,848 \cdot 10^{11}$ дин/см², $C_{12} = 4,037 \cdot 10^{11}$ дин/см², $C_{44} = 4,325 \cdot 10^{11}$ дин/см² және $d' = 1,0$ эВ. Бұл шамалар табиғи қос акцепторлық бірінші күйдегі қоспасыз галлий антимонидінің люминесценция спектрлерінің полярлық зерттеулерінен алынған. Берілген жағдайда I_2 сызығы осы қос акцепторлық күйге өтудің нәтижесі болып табылады. I_1 және I_2 сызықтарының ығысу жылдамдықтары бірдей деп есептей отырып, валенттік аумақ үшін де деформациялық потенциалдың тұрақтылары $d' = 1,0$ эВ шамасына тең деп тұжырымдауға болады [9; 11].

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде төмендегі тұжырымдар жасалды:

Селен ендірілген галлий антимонидінің кристалдарының фотолюминесценциясы, селен үшін $1 \cdot 10^{17}$ - $8 \cdot 10^{18}$ см⁻³ концентрациялық диапазонда өткізгіштік зонасынан табиғи акцептордың екінші иондалған күйіне ауысуымен сәйкес келеді;

Сәулелену максимумының пішіні және орналасуы сызығының қоспаның кулондық потенциалымен, өткізгіштік зонасының қосымша минимумдарымен және онымен байланысқан резонанстық қоспалы күйлермен анықталады;

Әр түрлі донорлық қоспалары бар (селен) галлий антимонидінің кристалдарының фотолюминесценция спектрлерінің айырмашылығы, өткізгіштік зонасының минимумдарымен байланысқан резонансты қоспалы деңгейлердің әсерінен болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Титков, А. Н., Чайкина, Е. И.** Низкотемпературная люминесценция вырожденных р – типа кристаллов прямозонных полупроводников [Текст] // ФТП – 1981. – том 15, вып. 2. – С. 345.
- 2 **Титков, А. Н., Илуридзе, Г. Н., Миронов, И. Ф., Чебан, В. А.** Межзонная оже-рекомбинация с участием спин-орбитально отщепленной валентной зоны в кристаллах GaSb р-типа [Текст] // Физика и техника полупроводников – 1986. – Т.20 – выпуск – С. 25–34.
- 3 **Овчинников, В. Д. и др.** Деполяризация горячей фотолюминесценции в магнитном поле в кристаллах арсенида галлия [Текст] // ЖЭТФ. – 1981. – Т. 80 – вып.8 – С. 1766–1778.
- 4 **Олешко, В. И., Горина, С. Г., Цзысюань, Л. и др.** Время-разрешенная люминесцентная спектроскопия эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на подложках Al₂O₃ [Текст] // Современные : техника и технологии: труды XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2014. – Т. 2. – С. 103–104.
- 5 **Martin, D., Algora, C.** Temperature-dependent GaSb material parameters for reliable thermo photovoltaic cell modelling Semiconductor Science Technology – 19. – Number 8 (2004). – P. 1040–1052.
- 6 **Аверкиев, Н. С., Чайкина, Е. И.** Природа линии излучения легированного антимионид галлия [Текст] // ФТП. – 1982. – Т. 16 – вып. 7. – С. 1273–1275.
- 7 **Титков, А. Н., Чайкина, Е. И., Комова, Э. М., Ермакова, Н. Т.** Низкотемпературная люминесценция вырожденных р-типа кристаллов прямозонных полупроводников [Текст] // ФТП. – 1981. – Т.15. – Вып.2 – С. 345–352.
- 8 **Джонсон, Е.** Поглощение вблизи края фундаментальной полосы [Текст] // Оптические свойства полупроводников – Мир. – М. : 1970. – С. 166–180.
- 9 **Келдыш, Л. В., Прошко, Г. П.** Инфракрасное поглощение в сильно легированном германии [Текст] // ФТТ, 1963, Т.5. – Вып. 1. – С. 3378–3389.
- 10 **Величко, А. А., Илюшин, В. А.** Электрофизические свойства пленок антимионид индия, полученных из молекулярных пучков [Текст] // Электронная промышленность – 1993. – № 8. – С. 48–50.
- 11 **Ланг, И. Г., Наследов, Д. Н., Павлов, С. Т., Радайкина, Л. Н., Филиппченко А. С.** Эффективная масса электронов в кристаллах легированных различными примесями [Текст] // ФТТ. – 1974. – Т. 16. – № 1. – С. 92–97.

REFERENCES

- 1 **Titkov, A. N., Chajkina, E. I.** Nizkotemperaturnaya lyuminescenciya vy'rozhdenny'x r – tipa kristallov pryamozonny'x poluprovodnikov [Low-temperature luminescence of degenerate p-type crystals of direct-gap semiconductors] [Text] // FTP. – 1981. – Vol. 15. – P. 345.
- 2 **Titkov, A. N., Iluridze, G. N., Mironov, I. F., Cheban, V. A.** Mezhzonnaya ozhe-rekombinaciya s uchastiem spin-orbital'no otshheplennoj valentnoj zony' v kristallax GaSb p-tipa [Interband Auger recombination involving the spin-orbit split valence band in p-type GaSb crystals] [Text] // Fizika i texnika poluprovodnikov [Physics and semiconductor technology]. – 1986. – Vol. 20. – P. 25–34
- 3 **Ovchinnikov, V. D. i dr.** Depolyarizaciya goryachej fotolyuminescencii v magnitnom pole v kristallax arsenida galliya [Depolarization of hot photoluminescence in a magnetic field in gallium arsenide crystals] [Text] // JETP. – 1981. – Vol. 80. – P. 1766–1778.
- 4 **Oleshko, V. I., Gorina, S. G., Czzy'syuan', L. i dr.** Vremya-razreshennaya lyuminescentnaya spektroskopiya e'pitaksial'ny'x sloev GaN, vy'rashchenny'x na podlozhkax Al₂O₃ [Time-resolved luminescent spectroscopy of GaN epitaxial layers grown on Al₂O₃ substrates] [Text] // Sovremenny'e : texnika i texnologii: trudy' XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molody'x ucheny'x [Modern : equipment and technologies: proceedings of the XX International Scientific and Practical conference of students, graduate students and young scientists]. – Tomsk. – 2014. – Vol. 2 – P. 103–104.
- 5 **Martin, D., Algora, C.** Temperature-dependent GaSb material parameters for reliable thermophotovoltaic cell modelling Semiconductor Science Technology, 19, Number 8 (2004).
- 6 **Averkiev, N. S., Chajkina, E. I.** Priroda linii izlucheniya nelegirovannogo antimonida galliya [The nature of the emission line of undoped gallium antimonide] [Text] // FTP. – 1982. – Vol. 16. – P. 1273–1275.
- 7 **Titkov, A. N., Chajkina, E. I., Komova, E'. M., Ermakova, N. T.** Nizkotemperaturnaya lyuminescenciya vy'rozhdenny'x r-tipa kristallov pryamozonny'x poluprovodnikov [Low-temperature luminescence of degenerate p-type crystals of direct-gap semiconductors] [Text] // FTP. – 1981. – Vol. 15. – Issue 2 – P. 345–352.
- 8 **Dzhonson, E.** Pogloshhenie vblizi kraya fundamental'noj polosy' [Absorption near the edge of the fundamental band] [Text] // Opticheskie svojstva poluprovodnikov [Optical properties of semiconductors] - World. – M. : 1970. – P. 166–180, [in Russian].

9 Keldy'sh, L. V., Proshko, G. P. Infrakrasnoe pogloshhenie v sil'no legirovannom germanii [Infrared absorption in heavily doped germanium] [Text]// FTT. – 1963. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 3378–3389.

10 Velichko, A. A., Pyushin, V. A. E'lektrofizicheskie svoystva plenok antimonida indiya, poluchenny'x iz molekulyarny'x puchkov [Electrophysical properties of indium antimonide films obtained from molecular beams] [Text]// E'lektronnaya promy'shlennost' [Electronics industry] – 1993. – № 8. – P. 48–50.

11 Lang, I. G., Nasledov, D. N., Pavlov, S. T., Radajkina, L. N. Filipchenko A.S. E'ffektivnaya massa e'lektronov v kristallax legirovanny'x razlichny' mi primesyami [Effective mass of electrons in crystals doped with various impurities] [Text]// FTT. – 1974. – Vol. 16. – № 1. – P. 92–97.

*С. Ш. Егембердиева¹, Б. Ж. Кушкимбаева²,
Р. Ж. Наметкулова³, М. Т. Кейкиманова⁴
^{1,2,3,4}Таразский университет имени М. Х. Дулати,
Республика Казахстан, г. Тараз

ПЕРЕСТРОЙКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОДНОСТОРОННЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

В работе исследованы спектры фотолюминесценции кристаллов антимонида галлия р-типа, внедренных в селен Se с концентрацией носителей $1 \cdot 10^{17}$ – $9 \cdot 10^{17}$ см⁻³ при температуре 77°K. Исследуемый диапазон концентраций соответствует области электронного вырождения. Рассмотрены результаты экспериментального исследования влияния одноосной деформации на спектры фотолюминесценции чистых и компенсированных кристаллов антимонида галлия р- и n-типа, легированных селеном, с определением скоростей смещения минимумов области проводимости Г и L под давлением, приложенным в направлении (111).

Рассмотрена структурная природа спектров фотолюминесценции антимонида галлия и установлено, что с увеличением степени примеси максимум линии излучения смещается в сторону меньших энергий, а линия спектра расширяется. Тот факт, что энергия максимума линии излучения всегда значительно меньше (80–100 МэВ) оптической ширины запрещенной зоны, объяснялся тем, что линия излучения возникла в результате перехода электронов из зоны проводимости на глубокий акцепторный

уровень, то есть переход во вторичное ионизированное состояние акцептора, всегда присутствующее в антимониде галлия. Если перед вырождением Эреп легировать антимонидом галлия n-типа, акцепторы становятся дважды отрицательно заряженными, т.е. ($\Delta n, \Delta p \ll n$) несбалансированные дефекты быстро перекрываются одиночными отрицательно заряженными акцепторами. Поэтому о том, что рекомбинация носителей происходит после прохождения кулоновского барьера, свидетельствует изменение формы эмиссионной линии и эмиссионного максимума.

Ключевые слова: фотолюминесценция, область проводимости, антимонид галлия, одноосная деформация, потенциальные константы деформации.

*S. Sh. Yegemberdiyeva¹, B. Zh. Kushkimbaeva²,
R. Zh. Nametkulova³, M. T. Keikimanova⁴
^{1,2,3,4}Taraz University named after M. Kh. Dulati,
Taraz, Republic of Kazakhstan

RECONSTRUCTION OF THE ENERGY SPECTRUM OF GALLIUM ANTIMONIDE UNDER THE INFLUENCE OF ONE-SIDED DEFORMATION

In the work, photoluminescence spectra of p-type gallium antimonide crystals embedded in selenium Se with a carrier concentration of $1 \cdot 10^{17}$ – $9 \cdot 10^{17}$ cm⁻³ at a temperature of 77°K were studied. The studied concentration range corresponds to the electron degeneracy region. The results of an experimental study of the effect of uniaxial deformation on the photoluminescence spectra of pure and compensated p-type and n-type selenium-doped gallium antimonide crystals were considered, determining the displacement rates of the minima of the conduction region Г and L under pressure applied in the (111) direction.

The structural nature of the photoluminescence spectra of gallium antimonide was considered, and it was found that as the degree of impurity increases, the maximum of the radiation line shifts to the side of lower energies, and the spectrum line expands. The fact that the energy of the maximum of the radiation line is always much smaller (80–100 MeV) than the optical width of the forbidden zone was explained by the fact that the radiation line appeared as a result of the transition of electrons from the conduction band to a deep acceptor level, that is, the transition to the secondary ionized state of the acceptor, which is always present

in gallium antimonide. If Erep is doped into n-type gallium antimonide before degeneracy, the acceptors become doubly negatively charged, i.e. ($\Delta n, \Delta p \ll n$) unbalanced defects are quickly covered by single negatively charged acceptors. Therefore, the fact that the recombination of carriers occurs after passing through the Coulomb barrier is shown by the change in the shape of the emission line and the emission maximum.

Keywords: photoluminescence, conduction area, gallium antimonide, uniaxial deformation, deformation potential constants.

FTAMP 44.31.31

DOI

***Б. С. Ерниязов¹, Н. Б. Қаласов²,
Р. К. Манатбаев³, Ж. Е. Байжұма⁴**

^{1,2,3,4}Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6772-5695>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3709-5544>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2151-2606>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-2245>

*e-mail: erniyazovbaurzhan@gmail.com

ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ГИБРИДТІ ГАЗТУРБИНАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ CFD МОДЕЛЬДЕУ

Қазіргі таңда жаңартылатын энергия көздеріне негізделген гибриді энергетикалық жүйелер технологиясы қарқынды дамып келеді, себебі ол энергия тиімділігін арттырып, үнемділікті қамтамасыз ете отырып, экологиялық әсерді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Қызықтыратын және келешегі бар тәсілдердің бірі - жүйенің жалпы тиімділігін арттыратын газ турбиналық қондырғылары (ГТҚ) мен жел электр қондырғылары (ЖЭҚ) сияқты әртүрлі энергия көздерін біріктіру.

Осы жұмыста ГТҚ мен ЖЭҚ-ның қатар жұмыс істеуі негізінде ұйымдастырылған, энергетикалық жүйені пайдалану ұсынылады. Бұл электр энергиясын тұрақты өндіруге және оны көмекші процестер үшін пайдалануға мүмкіндік береді. ЖЭҚ-нан алынатын электр энергиясы аккумуляторға одан кейін ауаны индукциялық жылыту жүйесін қуаттандыруға бағытталады, сол арқылы ауаның кірісіндегі температурасын арттыра аламыз, бұл жұмысшы газдың температурасын жогарылатады және ГТҚ-да отынның тиімді жануына ықпал етеді.

Зерттеу барысында жану камерасын 3D CFD модельдеу жүргізіп, процестің термодинамикалық параметрлерін дәлірек бағалауға және жүйенің тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді. Сандық зерттеу барысында гибриді энергетикалық жүйелердің экологиялық және энергетикалық тиімділігі зерттелген болатын. Жану камерасындағы температураның жогарылауымен метанның

(CO₂) массалық үлесі артса, су буының (H₂O) үлесі азаятыны анықталды. Ауаның кіріс температурасы 373 К-нан 773 К-ға дейін көтерілгенде CO₂ концентрациясы 9 %-ға өсті, бұл жану процесінің тиімділігін растайды.

Кілтті сөздер: жану камерасы, баламалы энергия, гибридрттi жүйе, жел энергиясы, газтурбиналық қондырғы.

Кіріспе

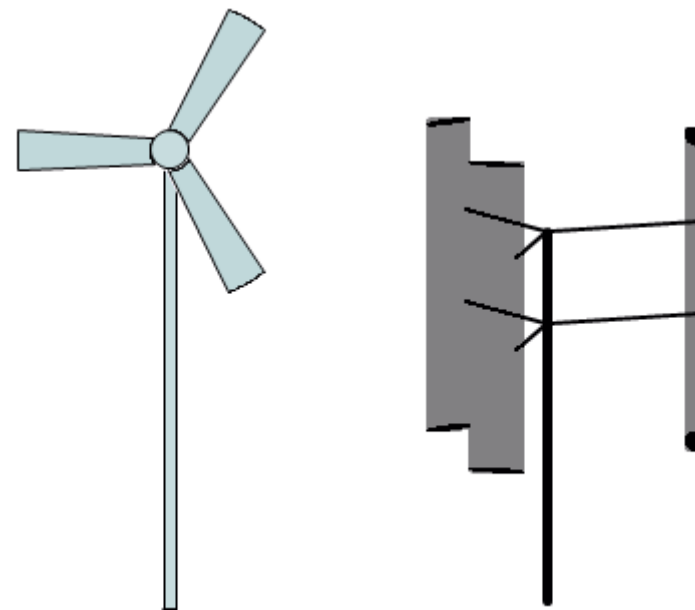
Жаңартылатын энергияға негізделген гибридрттi энергетикалық жүйелер жоғары тиімділікке, үнемділікке және төмен көмірқышқыл газы сияқты артықшылықтарға ие, сонымен қатар энергия тапшылығы, қоршаған ортаның ластануы және парниктік эффект секілді мәселелерді шешудің тиімді әдістерінің бірі болып саналады [1]. Жаңартылатын энергияға негізделген гибридрттi энергетикалық жүйелер жоғары икемділік пен әртүрлілікке ие, ол әртүрлі энергия көздерін кешенді пайдалануға мүмкіндік беретін платформаларды ұсынады [2], жоғары көміртекті энергия мен төмен көміртекті энергияның бір-бірін толықтыруы [3], электр және газдың өзара бір-бірін толықтыруы [4], және т. б.

Әр түрлі қолдану сценарийлеріндегі жаңартылатын энергияға негізделген гибридрттi энергетикалық жүйелердің өнімділігі, ең алдымен конфигурацияны оңтайландыру арқылы қамтамасыз етіледі. Жүйені конфигурациялау процесі кезінде қажет болған жағдайда әр түрлі энергия көздері қосылады, әр құрылғының түрі мен қуаты таңдалады, энергияны үнемдейтін және экологиялық таза ету үшін оның жұмыс стратегиясы анықталады [5]. Жаңартылатын энергияға негізделген гибридрттi энергия жүйесі көптеген құрылғылардан тұрады, әртүрлі құрылымдар мен икемді жұмыс стратегиялары бар, бұл гибридрттi энергетикалық жүйені құруды қиындатады. Осыған байланысты көптеген дереккөздер жаңартылатын энергияға негізделген гибридрттi энергия жүйесін құрудың мәселесіне назар аударады [6].

Гибридрттi энергетикалық жүйелердің конфигурациясын оңтайландыру үшін үш негізгі элемент қолданылады, олар: өнімділікті бағалау, модельді құру және модельді шешу. Өнімділікті бағалауға келетін болсақ, зерттеулердің көпшілігі экономикалық көрсеткіштерге, энергияны үнемдеуге және қоршаған ортаны қорғауға негізделген [7], бірақ соңғы жылдары жүйенің жұмысын толық талдау үшін көптеген жаңа бағалау көрсеткіштері жасалды [8]. Модельдің құрылысы зерттеу объектісімен және оның қажеттіліктерімен тығыз байланысты. Гибридрттi энергетикалық жүйенің конфигурациясын оңтайландыру моделі күрделі болып келеді, бұл шешім алгоритмін табуды қиындатады. Шешімнің көптеген алгоритмдері

ұсынылды, соның ішінде классикалық Алгоритмдер [9], интеллектуалды алгоритмдер [10] және гибридрттi алгоритмдер [11].

Қазіргі заманғы жел энергетикасы екі негізгі турбина түріне негізделеді горизонталь-осьті (сурет 1, а) және тік-осьті (сурет 1, б) жел энергетикалық қондырғылары [12]. Горизонталь-осьті турбиналардың кемшілігі жел бағытына үнемі бейімделу қажеттілігі, оны арнайы датчиктер мен позициялау жүйесі қамтамасыз етеді [13]



1-сурет – а) Горизонталь осьті жел турбиналары;
б) Тік-осьті жел турбиналары

Тік-осьті жел турбиналары горизонталь-осьті қондырғылармен салыстырғанда бірқатар маңызды артықшылықтарға ие, бұл оларды белгілі бір салаларда қолдану үшін тартымды етеді [14]. Тік-осьті турбиналардың негізгі артықшылықтарының бірі – олардың құрылымдық қарапайымдылығы мен экономикалық тиімділігі. Жел бағытына бейімделу қажеттілігінің болмауы өндіріс пен пайдалану шығындарын айтарлықтай төмендетеді [15]. Теориялық зерттеулер көрсеткендей, тік-осьті турбиналар қуат коэффициенті бойынша горизонталь-осьті қондырғылармен салыстыруға келетін деңгейге

дәл және тұрақты есептеуді қамтамасыз ету үшін қолданылады. Бұл әдіс турбулентті ағындардағы локальды өзгерістерді ескере отырып, ағынның физикалық қасиеттерін нақты сипаттауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, үздіксіздік теңдеуі мен массаның сақталу заңының осы түрде жазылуы есептеу аймағындағы масса балансын бақылап, ағынның тұрақтылығы мен физикалық дұрыстығын қамтамасыз етеді.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (p u_i Y_n) = -\frac{\partial J_{n,i}}{\partial x_i} + \omega_{i,r} \quad (1)$$

мұндағы $\omega_{i,r}$ – түрлердің өнімділік коэффициент) i , $J_{n,i}$ – түрлердің диффузиялық ағыны.

Сығылмайтын ағын үшін қозғалыс теңдеуі:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (p u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + p g_i \quad (2)$$

мұндағы рстатистикалық қысым (Па), τ_{ij} – кернеу тензоры (В).

Стационарлық күйдегі сығылмайтын ағынның энергия теңдеуі:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i (pE + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_k h_n J_n + u_j (\tau_{ij})_{eff} + S_h \right) \quad (3)$$

мұндағы Е–толық энергия (Дж), k_{eff} – өткізгіштік, h_n – энтальпия (Дж), J_n – диффузиялық ағын i .

$$S_h = -\sum_i \frac{h_i^0}{M_i} \omega_{i,r}$$

Бұл зерттеуде турбуленттілікті болжау үшін стандартты қабырға функциясын қамтитын k-epsilon (K-ε) турбуленттілік моделі пайдаланылды. Келесі тасымалдау теңдеулері турбуленттіліктің кинетикалық энергиясын (K) және диссипация жылдамдығын (ε) көрсетеді:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (p k v_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - p \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (p \varepsilon v_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} p \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (6)$$

мұндағы G_k – орташа жылдамдық градиенті Y_M – сығылатын турбуленттіліктің ауытқуының жалпы дисперсия жылдамдығына қатынасы, $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$ – тұрақтылар, σ_k , σ_ε – k және ε үшін Прандтльдің турбуленттілік саны, турбулентті тұтқырлық $\mu_t = p C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$; C_μ тұрақты болып табылады.

Навье-Стокс теңдеуі бойынша орташа Рейнольдстің заттарды тасымалдау теңдеуі:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (p v Y_i) = -\frac{\partial J_i}{\partial x_i} + R_i + S_i \quad (7)$$

$$J_i = -\left(p D_{i,m} + \frac{\mu_t}{S_{C_t}} \right) \frac{\partial Y_i}{\partial x_i} - D_{T,i} \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

мұндағы Y_i – әр түрдің массалық үлесі, R_i – химиялық реакция нәтижесі I – түрлердің түзілуінің таза жылдамдығы, S_i – дисперсті фазадан қосылған кезде пайда болу жылдамдығы, J_i – бөлшектердің диффузиялық ағыны, S_{C_t} – Шмидттің турбулентті саны.

Көпкомпонентті ағындарды, химиялық реакцияларды және диффузиялық процестерді модельдеу үшін Species Transport моделі қолданылды. Бұл модель газдардың, сұйықтықтардың немесе олардың қоспаларының кеңістіктік және уақыттық таралуын зерттеуге мүмкіндік береді.

Тұтқыр ағындарды модельдеу үшін k-ε (k-epsilon) моделі қолданылды. Бұл модель турбуленттік кинетикалық энергияны (k) және оның диссипация жылдамдығын (ε) есептеу арқылы турбуленттік ағындарды болжауға мүмкіндік береді.

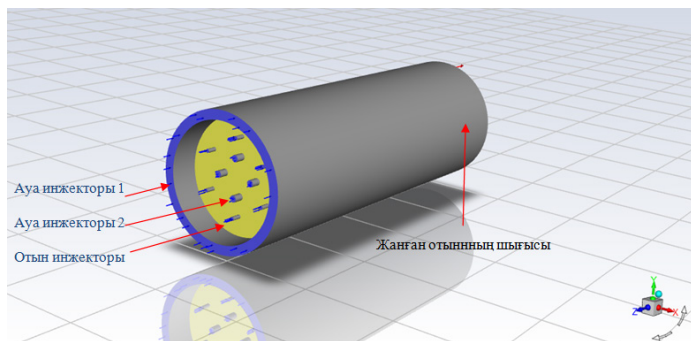
Жану камерасының геометриясының негізгі компоненттері 3-суретте көрсетілген.

Бастапқы ауа инжекторы – жану процесінің негізгі ауа көзі болып табылады. Жану процесі оңтайлы жүру үшін ауа цилиндр қабырғасы бойымен беріледі. Ол 3-сурет геометриясында айқын көрсетілген.

Екінші ауа инжекторы – жалынды араластыру мен тұрақтандыр үшін қосымша ауа береді, бұл ауа инжекторы оттының жану камерасында оттегімен жақсы араласуы үшін қажетті ауамен қамтамасыз етеді.

Отын инжекторы – жану камерасына отынды (метан) жібереді.

Жанған оттың шығысы – отын толықтай жанып болғаннан кейін шығып кетуіне мүмкіндік береді.



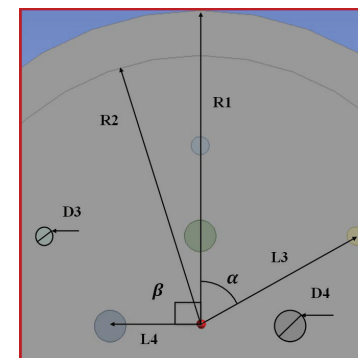
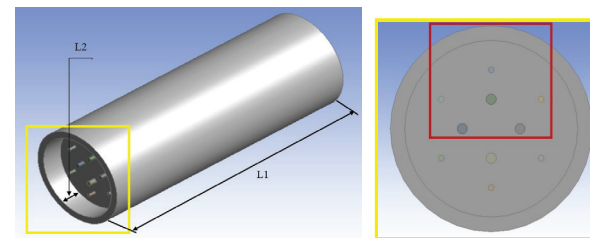
3-сурет – шекаралық шарттарды енгізу кезеңі

Ауа мен метанның сандық зерттеу барысындағы шекаралық және кіріс шарттары төмендегі кестеде көрсетілген. Саныдық зерттеу барысында метанның температурасы тұрақты ал ауаның температурасы өзгеріп отырады.

1-кесте –

	Температура, К	Концентрация	Турбуленттілік, %
Ауа	373, 473, 573, 673, 773	0,23	10
Метан	300	1	10

Жану камерасының 3D цилиндрлік моделін модельдеу үшін ANSYS Fluent бағдарламасы қолданылды [19]. Жану камерасының цилиндрлік пішінде болуы бірнеше себепке байланысты: жану өнімдерінің біркелкі таралуы жану процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді, цилиндрлік пішін ішкі қысымға тиімді қарсылық көретеді және жүктеме қабырғаға біркелкі таралады. (Сурет 4)

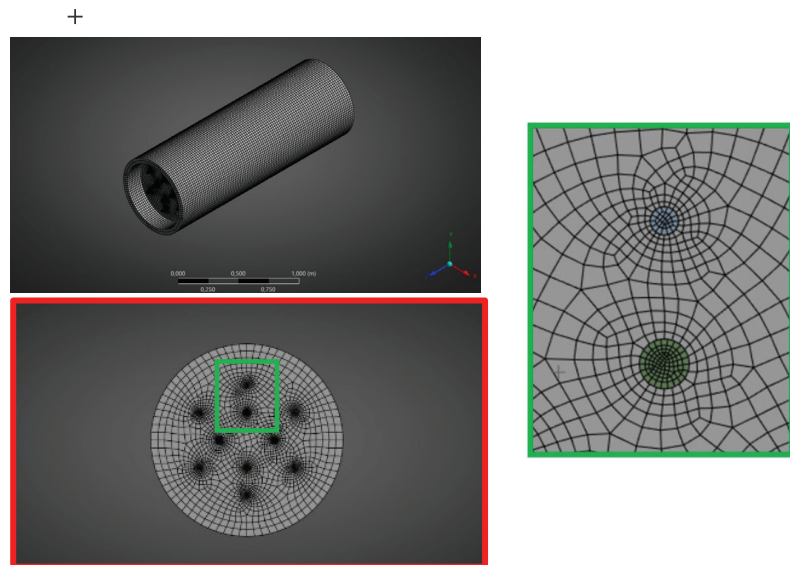


4-сурет – Жану камерасының 3д моделі

2-кесте –

Параметрлер	Мәні
Ұзындығы, L1	2000мм
Сыртқы радиус, R1	700мм
Ішкі радиус, R2	600мм
Қиып алу, L2	150мм
Отын инжекторының диаметрі, D3	20мм
Вертикаль ұзындық, L3	200мм
Бұрыш қадамы, α	60°
Ауа инжекторы диаметрі, D4	35мм
Вертикаль қашықтық, L4	100мм
Бұрыш қадамы, β	90°

Жану камерасының геометриясы қиындатылған болғандықтан есептеу симуляциялары үшін құрылымдалмаған торлар қолданылды. Шекаралық қабатты дұрыс есептеу үшін отын мен ауаның кіріс аймағында тордың тығыздығын айтарлықтай арттырылған болатын. Жану камерасының ауа мен отын инжекторының есептеу торының үлкейтілген бейнесі 5 – суретте көрсетілген.



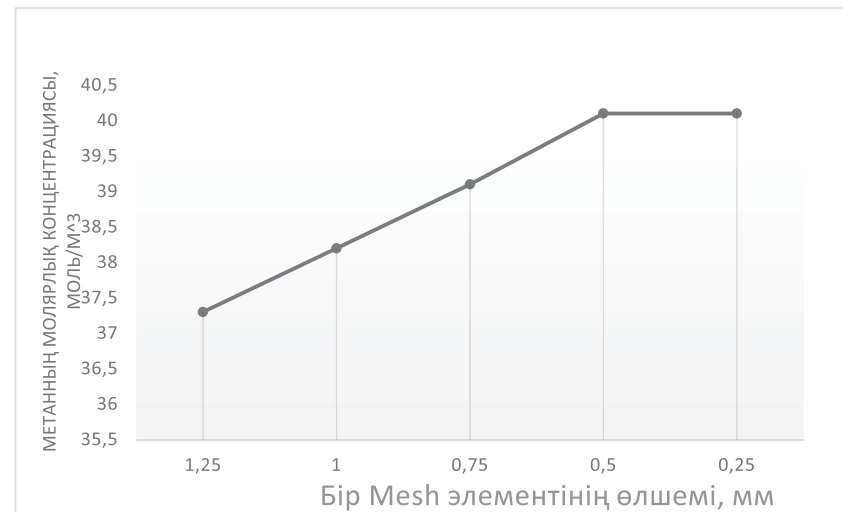
5-сурет – Жану камерасының CFD есептеу торы

3-кесте –

Параметрлер	Мәні
Физикалық параметр	CFD
Элемент өлшемі	2,е-002m
Ең үлкен өлшем	4,е-002m
Жеңілдетілген элемент өлшемі	1,е-004m
Кіші қисықтық өлшем	2,е-004m
Қисықтық қалыптағы бұрыш	18°

Тордың тәуелсіздігін тексеру үшін әртүрлі тығыздықтағы бірнеше есептеу торлары құрылды және метанның негізгі концентрацияларын талдау

жүргізілді. Алынған мәліметтер негізінде есептеу нәтижелерінің дәлдігі мен есептеу шығындарының оңтайлы теңгерімін қамтамасыз ететін тор таңдалды. Метанның молярлық концентрациясының (моль/м³) бір CFD өлшеу торының өлшеміне (мм) тәуелділігі 6 – суретте көрсетілген.

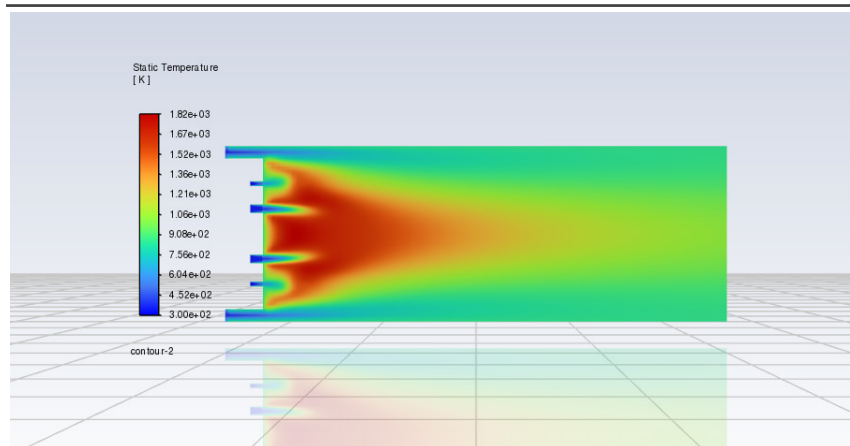


6-сурет – Метанның молярлық концентрациясының (моль/м³) бір Mesh элементінің өлшеміне (мм) тәуелділігі

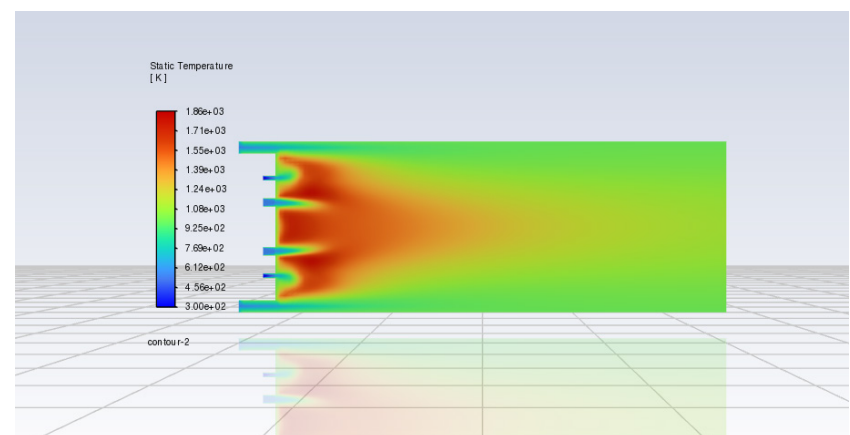
6-суретте көріп отырғандай тор элементінің өлшемі кішірейген сайын метан концентрациясы артып, содан кейін стационарлық мәнге жететінін көруге болады. Бұл есептелген дәлдік жоғарылағанын көрсетеді, өйткені тор элементі кішірейген сайын концентрация және басқа ағын сипаттамалары жақсырақ есептеледі.

Нәтежиелер және талқылау

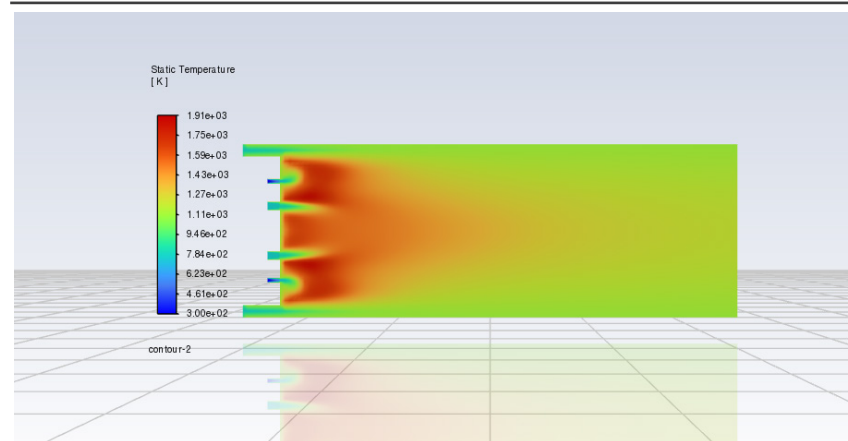
Жүргізілген сандық зерттеу нәтижелері оң динамиканы көрсетті. Кіріс ауасының температурасының жоғарылауы жану камерасының ішіндегі температураның жоғарылауына себепші болды, бұл химиялық реакциялардың қарқынды жүруіне және метанның толық жануына ықпал етті. Температуралық өзгерістерді 7, 8, 9 – суреттерден көре аламыз. Суреттерде көріп отырғанымыздай ауаның температурасын арнайы қыздырып одан кейін оны жану камерасына жіберетін болсақ жану камерасында жану процестерінің оңтайлы жүріп жатқанын көруге болады және жалынның қарқынды жанатынын температуралық өзгерістен көре аламыз.



7-сурет – Ауа кірісіндегі температурасы 373K



8-сурет – Ауа кірісіндегі температурасы 573K



9-сурет – Ауа кірісіндегі температурасы 773K

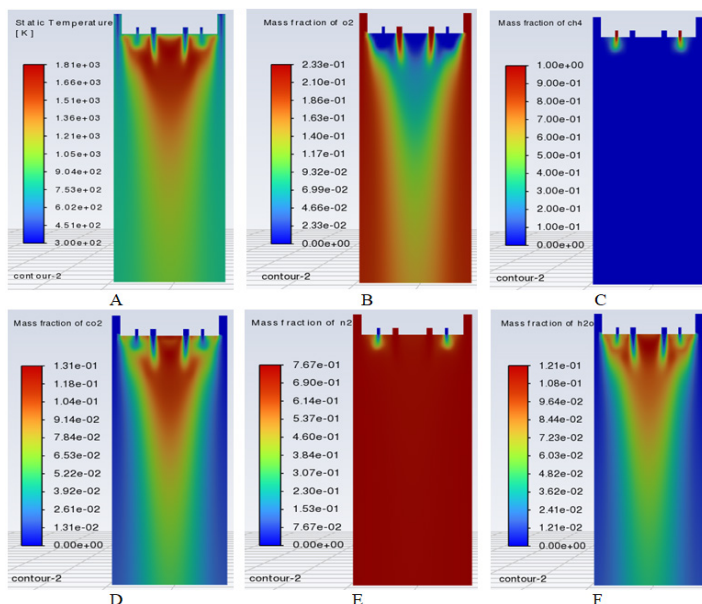
Бұл өзгерістер газ турбиналық қондырғының жұмысына тікелей әсер етеді. Кіріс температурасының жоғарылауы жану камерасындағы температураның жоғарылауына алып келді, соның арқасында энергия өндіру тиімділігі артады. Тиімділігінің артатындығын 10 – суреттен көре аламыз.



10-сурет – Ауа температурасының жану камерасынның температурасына қатынасы

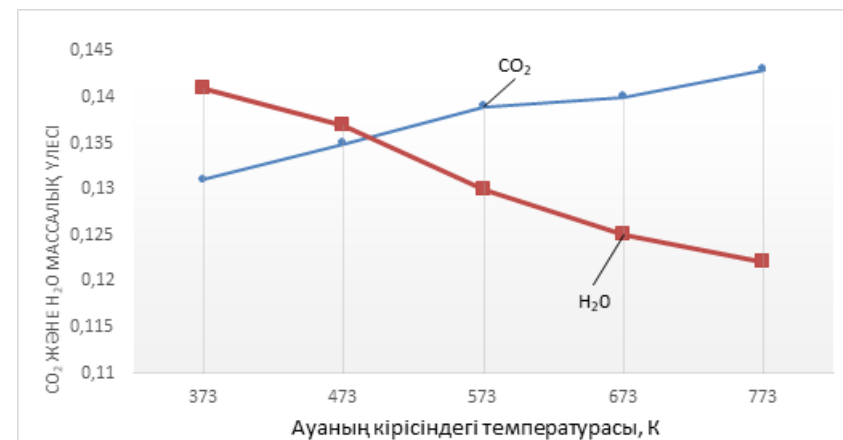
10 суреттен ауаның кірісіндегі температурасы жоғарылаған сайын жану камерасының температурасы жоғарылағанын көруге болады, яғни ауаның кірісіндегі температурасы жану камерасының температурасына тікелей тәуелді.

Жану камерасындағы газ компоненттерінің температуралық өрісі мен концентрациясы 11 – суретте көрсетілген, олар жану камерасындағы негізгі газ компоненттерінің температурасы мен концентрациясының таралуын сандық модельдеу нәтижелері. Бұл нәтижелер ауаның кірісіндегі температурасы 373K негізделген. Суреттен метанның концентрациясы тұрақты 1 ге тең екенін көруге болады ол дегеніміз отын ретінде тек метан қолданылғанының көрінісі, отын 100% метаннан тұрады және метанның концентрациясы ауаның кірісіндегі температурасына тәуелсіз яғни тұрақты мәнге ие, ауаның толық құрамы оттегі мен азоттан құралғандықтан оттегі мен азоттың концентрацияларының қосындысы 1 ге тең олардың концентрацияларыда тұрақты мәнге ие яғни 23,3% оттегі, 76,7% азот және олар ауаның кірісіндегі температурасына тәуелсіз тұрақты болып келеді.



11-сурет – Жану камерасындағы температура өрісі және реагенттердің массалық үлестері көрсетілген. Температура өрісі (A), оттегінің (B), метанның (C), көмір қышқыл газының (D), азоттың (E), су буының (F), массалық үлестері

Жану камерасындағы ауаның кірісіндегі температурасы жоғарылауына байланысты көмір қышқыл газы (CO_2) мен су буының (H_2O) концентрациялары өзгеріп отырады, температура өзгерісіне байланысты жану процесінің қаншалықты қарқынды жүргетіндігін 12 – суреттен көруге болады.



12-сурет – CO_2 мен H_2O массалық үлесінің ауа температурасына тәуелділігі

Ауа температурасы жоғарылаған сайын CO_2 массалық үлесінің өсуі ал су буының H_2O массалық үлесінің төмендегенін көруге болады. Себебі жоғары температурада жану процестері күшейеді, реагенттердің араласуы жақсарады, бұл отынының толық жануын, яғни CO_2 түзілуінің жоғарылауына және су буының H_2O массалық үлесінің төмендеуіне алып келеді.

Қорытынды

Гибридті энергетикалық жүйелерді құру үшін газтурбиналық қондырғы мен жел электр қондырғысының қатар жұмыс жасауы қарастырылған болатын. Жану камерасына ауа кірісіндегі температурасын көтеру үшін индуктивті қыздырғыш қолданылды және жану камерасының моделін құру үшін ANSYS Fluent бағдарламасы қолданылған болатын.

Жану камерасындағы температуралық өзгерістерді зерттеу үшін жану камерасының 3D моделі құрылып, турбуленттікті есептеуге қабілетті k-ε (k-epsilon) турбуленттілік моделі қолданылды. Сандық есептеу барысында ауаның кірісіндегі температурасы 373K мен 773K арасында зерттелген болатын. Нәтижесінде жану камерасындағы температураның өзгерісі ауаның кірісіндегі температурасына тура пропорционал екендігіне көз жеткізілді. Ол дегеніміз газтурбиналық қондырғының термиялық пайдалы

әсер коэффициентінің артуына қажетті факторлардың бірі болып табылады. Сонымен қатар жану камерасындағы температураның жоғарлауына байланысты метанның (массалық үлесінің жоғарылайтыны және су буының (H₂O) массалық үлесінің төмендейтіндігі байқалған болатын, бұл көрсеткіштер жану камерасындағы оттың жану процестерінің оңтайлы жүріп жатқанының белгісі. CO₂ массалық үлесі ауаның кірісіндегі температурасы 373K кезінен 773K арасында концентрациясы 9% артқан болатын, ол дегеніміз ауаның кірісіндегі температурасы жоғарылаған сайын жану процесінің оңтайлы жүріп жатқанын көрсетеді.

Жасалған сандық есептеулердің нәтижелері алдағы уақытта гибриді энергетикалық жүйелердің дамуына, оңтайландыруға және жобалауға тигізетін септігі мол.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **A. L. Bukar and C. W. Tan.** «A review on stand-alone photovoltaic-wind energy system with fuel cell: System optimization and energy management strategy», 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.228>.

2 **M. Ramesh and R. P. Saini.** «Dispatch strategies - based performance analysis of a hybrid renewable energy system for a remote rural area in India», J Clean Prod, Vol. 259. – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120697>.

3 **H. Liu, R. Zhai, K. Patchigolla, P. Turner, and Y. Yang.** «Performance analysis of a novel combined solar trough and tower aided coal-fired power generation system», Energy, Vol. 201. – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117597>.

4 **R. Zeng, H. Li, R. Jiang, L. Liu, and G. Zhang.** «A novel multi-objective optimization method for CCHP-GSHP coupling systems», Energy Build, Vol. 112. – 2016. – <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.072>.

5 **S. M. Hakimi, A. Hasankhani, M. Shafie-khah, M. Lotfi, and J. P. S. Catalão.** «Optimal sizing of renewable energy systems in a Microgrid considering electricity market interaction and reliability analysis», Electric Power Systems Research, Vol. 203. – 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107678>.

6 **B. K. Das and M. Hasan.** «Optimal sizing of a stand-alone hybrid system for electric and thermal loads using excess energy and waste heat», Energy, Vol. 214, 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119036>.

7 **X. Liu, F. Liu, N. Li, H. Mu, and L. Li.** «Hierarchical multi-objective design of regional integrated energy system under heterogeneous low-carbon policies», Sustain Prod Consum, Vol. 32. – 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.027>.

8 **W. Ni, L. Lü, Y. Xiang, J. Liu, Y. Huang, and P. Wang.** «Reliability Evaluation of Integrated Energy System Based on Markov Process Monte Carlo Method», Dianwang Jishu/Power System Technology, Vol. 44. – № 1. – 2020. – <https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2019.0047>.

9 **Y. Mu et al.** «A double-layer planning method for integrated community energy systems with varying energy conversion efficiencies», Appl Energy, Vol. 279. – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115700>.

10 **P. Paliwal, N. P. Patidar, and R. K. Nema.** «Determination of reliability constrained optimal resource mix for an autonomous hybrid power system using Particle Swarm Optimization», Renew Energy, Vol. 63. – 2014. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.003>.

11 **A. Askarzadeh.** «A discrete chaotic harmony search-based simulated annealing algorithm for optimum design of PV/wind hybrid system», Solar Energy, Vol. 97. – 2013. – <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.08.014>.

12 **E. Möllerström, P. Gipe, J. Beurskens, and F. Ottermo,** «A historical review of vertical axis wind turbines rated 100 kW and above», 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.022>.

13 **V. Mathaiyan, V. Raja, S. Srinivasamoorthy, D. W. Jung, M. Senthilkumar, and S. Sivalingam.** «Design of Vertical Axis Wind Turbine in Recent Years—A Short Review», in Energy Systems in Electrical Engineering, Vol. Part F2138, 2022. – https://doi.org/10.1007/978-981-19-0979-5_13.

14 **M. K. Johari, M. A. A. Jalil, and M. F. M. Shariff.** «Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)», International Journal of Engineering and Technology(UAE), Vol. 7, № 4. – 2018. – <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>.

15 **J. Liu, H. Lin, and J. Zhang.** «Review on the technical perspectives and commercial viability of vertical axis wind turbines», 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.086>.

16 **S. Das Karmakar and H. Chattopadhyay.** «A review of augmentation methods to enhance the performance of vertical axis wind turbine», 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102469>.

17 **Z. Baizhuma, T. Kim, and C. Son.** «Numerical method to predict ice accretion shapes and performance penalties for rotating vertical axis wind turbines under icing conditions», Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 216. – 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104708>.

18 **R. Manatbayev, Z. Baizhuma, S. Bolegenova, and A. Georgiev.** «Numerical simulations on static Vertical Axis Wind Turbine blade icing», Renew Energy, Vol. 170. – 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.023>.

19 **D. Hasan Saharaj, M. Rhyhanul Islam, M. I. Inam, A. Debnath Prithu, and M. Sabbir Hossain.** «Numerical Analysis of Combustion Flow &

Emission Characteristics of a Jet-Stabilized Combustor with Varying Angled Coaxial Air-Fuel Injector», [Online]. Available: [Electronic resource]. – <https://ssrn.com/abstract=4896566>

***Б. С. Ерниязов¹, Н. Б. Каласов², Р. К. Манатбаев³, Ж. Е. Байжума⁴**
^{1,2,3,4}Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ВЕТРЯНОЙ ЭНЕРГИИ И CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ

В настоящее время стремительно развивается технология гибридных энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии, которая позволяет повысить энергоэффективность и оптимизировать воздействие на окружающую среду, обеспечивая при этом экономическую эффективность. Одним из интересных и перспективных подходов является комбинирование различных источников энергии, таких как газовые турбины (ГТУ) и ветровые электростанции (ВЭС), что повышает общую эффективность системы.

В данной работе предлагается использовать энергетическую систему, организованную на основе одновременной работы газовых турбин и возобновляемых источников энергии. Это позволяет обеспечить устойчивую выработку электроэнергии и ее использование во вспомогательных процессах. Электроэнергия, вырабатываемая ТЭЦ, направляется в аккумулятор потом на питание системы индукционного нагрева воздуха, тем самым повышая температуру воздуха на входе, что повышает температуру рабочего газа и способствует эффективному сгоранию топлива в газовой турбине.

В ходе исследования было выполнено 3D CFD-моделирование камеры сгорания, что позволило более точно оценить термодинамические параметры процесса и повысить эффективность системы. В ходе численного исследования была изучена экологическая и энергетическая эффективность гибридных энергетических систем. Установлено, что с ростом температуры в камере сгорания массовая доля метана (CO_2) увеличивается, а доля водяного пара (H_2O) уменьшается. При повышении температуры входящего воздуха с 373 К до 773 К концентрация CO_2 увеличилась на 9%, что подтверждает эффективность процесса сгорания.

Ключевые слова: камера сгорания, альтернативная энергия, гибридная система, энергия ветра, газотурбинная установка.

***B. S. Yerniyazov¹, N. B. Kalassov², R. K. Manatbayev³, J. E. Baizhuma⁴**
^{1,2,3,4}Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF A HYBRID GAS TURBINE INSTALLATION WITH WIND ENERGY INTEGRATION AND CFD MODELING

Currently, the technology of hybrid energy systems based on renewable energy sources is rapidly developing, which makes it possible to increase energy efficiency and optimize environmental impact, while ensuring economic efficiency. One of the interesting and promising approaches is the combination of various energy sources, such as gas turbines and wind farms, which increases the overall efficiency of the system.

In this paper, it is proposed to use an energy system based on the simultaneous operation of gas turbines and renewable energy sources. This allows for sustainable power generation and its use in auxiliary processes. The electricity generated by the CHP is then sent to the battery to power the induction air heating system, thereby increasing the inlet air temperature, which increases the temperature of the working gas and contributes to the efficient combustion of fuel in the gas turbine.

During the study, 3D CFD modeling of the combustion chamber was performed, which made it possible to more accurately assess the thermodynamic parameters of the process and increase the efficiency of the system. In the course of a numerical study, the environmental and energy efficiency of hybrid energy systems was studied. It has been found that as the temperature in the combustion chamber increases, the mass fraction of methane (CO_2) increases, and the fraction of water vapor (H_2O) decreases. When the temperature of the incoming air increased from 373 K to 773 K, the concentration of CO_2 increased by 9 %, which confirms the efficiency of the combustion process.

Keywords: combustion chamber, alternative energy, hybrid system, wind energy, gas turbine unit.

***Т. Б. Қоштыбаев¹, А. М. Татенов²,
Ә. Ә. Ақжолова³, М. Е. Алиева⁴**

^{1,2}Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

^{3,4}Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2568-503X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

*e-mail: koshtybayev70@mail.ru

КВАНТТЫҚ МЕХАНИКАНЫҢ ҚОЗҒАЛЫС ТЕҢДЕУЛЕРІ

Кванттық механикада уақытқа айқын түрде тәуелді болмайтын шамалардың уақыт бойынша өзгерістері (туындылары) Пуассон жақшалары арқылы гамильтонның классикалық теңдеулері үлгісінде орындалатындығы көрсетілген. Гамильтонның бірінші және екінші топтағы теңдеулерін кванттық Пуассон жақшалары көмегімен ашып жазып, координата мен импульс құраушылары арасындағы коммутациялық қатынастарды орындау арқылы кванттық-механикалық шамалардың дифференциалдары мен олардың орташа мәндерін анықтау жолдары келтірілген. Кванттық шамалардың орташа мәндерін толқындық функция мен оның түйіндесі арқылы анықтау өрнектері бойынша Эренфест теоремалары мен олардың мағыналары айқындалған. Гамильтониандағы сыртқы потенциалдың координата бойынша туындыларының маңыздылығы нақтыланған. Импульстің және координаталардың орташа мәндерін анықтау жолдары жүйеленген, сонымен бірге бұлардың уақыт бойынша туындыларының толқындық функция арқылы анықталу жолдары көрсетілген. Барлық математикалық есептеулер фазалық кеңістік бойынша алынған интегралдар бойынша нормалау шарттарын қатаң сақтай отырып орындалған. Эренфест теоремаларынан Ньютонның кванттық теңдеуін алу жолы да осындай идеяда орындалған. Теореманың маңыздылығы әрбір дифференциалдық амалда толқындық функцияның ықтималдылық қасиеттері ескеріледі.

Релятивистік емес кванттық механикаға арналған Паули теңдеуі де бөлшектің сыртқы өрістердегі қозғалысын жақсы сипаттай алады, бұл дегеніміз кванттық механикадағы барлық түрдегі қозғалыс теңдеулері бірізді сипатта қарастырылады дегенді білдіреді. Қозғалыс теңдеулерінің классикалық және кванттық үлгілерінің ортақ түбірі бар екендігі, олардың өзара байланыста болатындығы жайында айғақты дәлелдер келтірілген. Мақаланың тақырыбына сай көтерілген мәселелер барлық талаптарға сай шектеулер арқылы орындалды. Коммутациялық амалдар Пуассон жақшасының нормаларына сай жан-жақты сипатта жүргізілген.

Кілтті сөздер: координата, импульс, бөлшек, оператор, масса, жылдамдық, гамильтониан, кванттық жақша.

Кіріспе

1927 жылы австриялық физик–теоретик Вольфганг Паули ұсынған теңдеу–релятивистік кванттық механиканың негізгі теңдеулерінің бірі және ол спині $1/2$ –ге тең болатын зарядталған бөлшектің (мысалы, электронның) сыртқы электромагниттік өрістегі қозғалысына жауапты. Аталған теңдеуді негізгі кинетикалық теңдеумен шатастырып алмау қажет. Паули теңдеуін Шредингер теңдеуінің жалпыланған түрі деуге де болады, себебі бұл теңдеуде бөлшектің спині ескерілген. Спині $1/2$ бөлшек спин проекциялары $+1/2$ және $-1/2$ болатын екі түрлі спиндік күйлерде бола алатындықтан бөлшектің толқындық функциясы екі компонентте қарастырылады. Әсер функциясы мен толқындық функцияға арналған релятивистік инварианттылы және жалпылама импульстік инварианттылы теңдеулер де негізгі теңдеулер қатарын толықтырады. Бұлардың өріс пен бөлшек әсерлесуіне арналған тұрақтылардың кез-келген мәндері үшін шешімдері бар, (мысалы, сутегі тектес атомдарға арналған есептегі $Z > 137$ ядролар). Осы теңдеулерден параметрлік көріністегі әсер мәндері үшін каноникалық лагранжианның, қозғалыс теңдеуінің және сыртқы электромагниттік өрістегі бөлшекке әсер ететін күштің өрнектерін шығарып көрсетуге болады. Аталған теңдеулер арқылы зарядтың тұрақты электр өрісіндегі қозғалысы, зарядтың потенциалдық шұңқырдағы жағдайы, сутегі атомы есептерінің шешімдері келтірілген. Гамильтондық жүйелердегі орташа мәндер үшін кванттық механика теңдеулерін 1927 жылы Эренфест алған болатын немесе ол Эренфест теоремалары деп аталады: кванттық механикада бөлшектің координатасы мен импульсінің және бөлшекке жасалатын әсердің орташа мәндері классикалық механикадағы секілді теңдеулер арқылы байланысқан, яғни бөлшектің қозғалысы кезінде аталған шамалардың орташа мәндерінің кванттық механикадағы өзгерістері классикалық механикадағыдай болады.

Осыған байланысты Эренфесттің теоремасын кванттық құбылыстарды классикалық физика заңдарымен байланыстырушы деп түсінуге болады. Кванттық механиканың қозғалыс теңдеулері мен классикалық теңдеулер осы теорема шеңберінде үйлесімділік тауып, олар бөлшектің күрделі гамильтондық функция арқылы шешілетін ортақ бір мәселені қарастырады. Бұл мәселе бөлшектің сыртқы өрістердегі қозғалысы мен ондағы механикалық шамалардың орташа мәндері мен олардың өзгерістеріне қатысты тұжырымдамаларды бекітумен байланысты болып отыр. Осы тұста орташа мәндердің ауытқу механизмдері математикалық тұрғыдан теңдеулердің шешімдері түрінде ұсынылады.

Материалдар мен әдістері

Траектория бойынша интегралдау барлық мүмкін болатын жолдарды (траекторияларды) қосындылау әдісінің аналитикалық жалғасы ретінде қолданылады. Ол арқылы броундық қозғалыс пен диффузия құбылысы зерттеледі. Бұл жағдай бөлшектік кванттық механика мен Шредингер теңдеуінің бөлшектік кеңеюіне алып келеді. Тұрақты энергиялы күйлер үшін жиілік пен энергия арасындағы де Бройль қатынасы суперпозиция принципі бойынша сәйкес келеді.

Кванттық механиканың аса бір маңызды қасиеттерінің бірі—сәйкестік принципі: өте үлкен шамалар жағдайында және кванттық жүйе сыртқы әлеммен әсерлесе бастаған кезде кванттық механиканың теңдеулері классикалық механика теңдеулеріне өте бастайды. Олай болса, кванттық механика классикалық физиканы теріске шығармайды, тек оны микроскопиялық масштабтар жағдайында толықтырады. Бөлшектің координатасы мен импульсін бірізгілікте анықтау мүмкін емес және бөлшектің траекториясының болмауы секілді кванттық механиканың тұжырымдарына классикалық түсініктермен қарауға болмайды. Бұлар тек микроөлшемді жүйелер үшін ғана орындалады да, макрожүйелер үшін жарамсыз болып табылады.

Гамильтониандағы сыртқы потенциалдың координата бойынша туындылары жан-жақты талқыланады, импульстің және координаталардың орташа мәндерін анықтау жолдары жүйеленіп, олардың уақыт бойынша туындыларының толқындық функция арқылы анықталу жолдары көрсетілген. Барлық математикалық есептеулер фазалық кеңістік бойынша алынған интегралдар бойынша нормалау шарттарын қатаң сақтай отырып орындалған. Эренфест теоремаларынан Ньютонның кванттық теңдеуін алу жолы да осындай идеяда орындалған. Теореманың маңыздылығы әрбір дифференциалдық амалда толқындық функцияның ықтималдылық қасиеттері ескеріледі.

Нәтижелер және талқылау

Еркін бөлшектің импульсі мен координатасы уақытқа айқын түрде тәуелді емес. Сондықтан да, бұл шамалардың уақыт бойынша алынған туындысын төмендегі Пуассон жақшасы арқылы өрнектеп көрсетуге болады:

$$\frac{d\hat{L}}{dt} = [\hat{H}, \hat{L}] \quad (1)$$

Бөлшектің декарттық $\hat{u}_i$ координаталары мен осы координаттардағы $\hat{u}_i$ импульс құраушыларына сәйкес келетін операторларды $\hat{u}_i$ деп белгілеп алайық [1, 3-б.; 2, 506-б.]. Ал $\hat{u}_i$ ($\hat{u}_i$, $\hat{u}_i$) гамильтонианға сәйкес қойылатын операторды $\hat{u}_i$ ($\hat{u}_i$, $\hat{u}_i$) деп алуға болады. Координаталар мен импульс құраушыларының уақыт бойынша туынды операторларын төмендегідей етіп аламыз:

$$\frac{\hat{u}_i \hat{u}_i}{\hat{u}_i \hat{u}_i} = \frac{\hat{u}_i}{\hat{u}_i} \frac{\hat{u}_i}{\hat{u}_i} \frac{\hat{u}_i}{\hat{u}_i}$$

(1)–ге координата және импульс операторларын қою арқылы төмендегі қатынастарды алуға болады:

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = [\hat{H}, \hat{x}], \quad \frac{d\hat{y}}{dt} = [\hat{H}, \hat{y}], \quad \frac{d\hat{z}}{dt} = [\hat{H}, \hat{z}], \quad \frac{d\hat{p}_x}{dt} = [\hat{H}, \hat{p}_x], \quad \frac{d\hat{p}_y}{dt} = [\hat{H}, \hat{p}_y], \quad \frac{d\hat{p}_z}{dt} = [\hat{H}, \hat{p}_z] \quad (2)$$

Бұл жазылған теңдеулер төменде келтірілген гамильтонның классикалық теңдеулері сияқты жазылып отыр:

$$\dot{q}_k = \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial p_k}, \quad \dot{p}_k = \frac{\partial p_k}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial q_k} \quad (3)$$

Мұндағы және жалпылама координаталар мен импульстер, ал $\dot{u}_i$ ($\dot{u}_i, \dot{u}_i$) – Гамильтон функциясы (немесе Гамильтониан). Классикалық механикада бөлшектің $\dot{u}_i \dot{u}_i$ түрдегі потенциалдық өрісте жасайтын қозғалыстарына арналған гамильтонианды [3, 32-б.; 4, 395-б.; 5, 113–118-бб.]

$$H = \frac{1}{2m} (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2) + U(x, y, z) \quad (4)$$

түрде жазатын болсақ, онда (3)–тен:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \frac{\partial H}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y}, \quad \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial z} \quad (3a)$$

$$\frac{\partial H}{\partial P_x} = \frac{P_x}{m}, \quad \frac{\partial H}{\partial P_y} = \frac{P_y}{m}, \quad \frac{\partial H}{\partial P_z} = \frac{P_z}{m} \quad (3b)$$

Осы теңдеулерге (4)–ті қолдансақ, онда:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \frac{\partial H}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y}, \quad \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial z} \quad (3e)$$

$$\frac{\partial H}{\partial P_x} = \frac{P_x}{m}, \quad \frac{\partial H}{\partial P_y} = \frac{P_y}{m}, \quad \frac{\partial H}{\partial P_z} = \frac{P_z}{m} \quad (3c)$$

Бөлшектің координатасының уақыт бойынша өзгерісі оның жылдамдығын анықтайтындығын білеміз, яғни

$$\frac{dx}{dt} = \frac{P_x}{m}, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{P_y}{m}, \quad \frac{dz}{dt} = \frac{P_z}{m} \quad (5)$$

Олай болса, (3e)–теңдеулерінен:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \frac{\partial H}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y}, \quad \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial z} \quad (5a)$$

Осылардан:

$$\dot{u}_i = \frac{P_i}{m}, \quad \dot{u}_i = \frac{P_i}{m}, \quad \dot{u}_i = \frac{P_i}{m} \quad (6)$$

Мұндағы m–бөлшектің массасы. Сонымен, (3a)–түрдегі Гамильтон теңдеулерінің бірінші тобы (координаталардың уақыт бойынша туындылары) бөлшектің импульсі мен жылдамдығының арасындағы байланыстарды анықтайды екен. Ал, (3b)–түрде жазылған Гамильтон теңдеулерінің екінші тобы (импульстердің уақыт бойынша туындылары) бөлшектің импульсінің өзгерісін анықтайды екен.

Айталық, бізге мынадай екі функция берілген болсын: $\dot{u}_i$

және $\dot{u}_i$. Егер $\dot{u}_i$ болса, онда: $\dot{u}_i$

және $\dot{u}_i$. Осы функциялар арқылы классикалық Пуассон жақшаларының мына түрде жазылатынын еске түсірейік:

$$\{u_i, u_j\} = \frac{\partial u_i}{\partial P_j} - \frac{\partial u_j}{\partial P_i} \quad (7)$$

$\dot{u}_i$ деп алсақ, онда (7)–ден:

$$\{u_i, u_j\} = \frac{\partial u_i}{\partial P_j} - \frac{\partial u_j}{\partial P_i} = \frac{\partial u_i}{\partial P_j} - \frac{\partial u_j}{\partial P_i}$$

Егер $\dot{u}_i$ $\dot{u}_i$ $\dot{u}_i$ $\dot{u}_i$ $\dot{u}_i$ $\dot{u}_i$ болса, онда соңғы теңдік мына түрде жазылады:

$$\{u_i, u_j\} = \frac{\partial u_i}{\partial P_j} - \frac{\partial u_j}{\partial P_i} = \frac{\partial u_i}{\partial P_j} - \frac{\partial u_j}{\partial P_i}$$

Осы айтылғандарды кванттық механикадағы қарастырылатын мәселенің классикалық тұрғыдағы көрінісімен салыстыру деп түсіну керек [6, 1468-б.; 7; 42–45-66.].

Ендігі жерде (2)–түрдегі Пуассонның кванттық жақшаларын ашып жазуды қарастырайық. (4)–тің кванттық үлгісі төмендегідей болады:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (8)$$

Кванттық Пуассон жақшасының пайдаланып, (2)–ден: өрнегін

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)$$

(9)–да бірінші теңдіктегі $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)$ тың орнына (8)–гі $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)$ алынады, дәл сол сияқты екінші теңдікте $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)$ тың орнына (8)–гі $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)$ алынады және үшінші теңдікте де $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)$ тың орнына (8)–гі $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)$ алынады:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (9a)$$

$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)$
Бұл жерде $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)$ деп санай беруге болады [8, 204-б.; 9, 61-б.]. Бірінші теңдікте:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (11)$$

Координата мен импульс арасындағы коммутациялық қатынасқа сәйкес: $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)$ және бұдан:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right) \quad (11a)$$

Осыған (12)–ні қойсақ:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \square$$

(11в)

Осыны (9а)–ғы $\frac{\partial \psi}{\partial x} = \square$ теңдігіне қойсақ:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \square$$

(13)

$\frac{\partial \psi}{\partial x}$ болатынын ескерсек, онда (13)–тен: $\frac{\partial \psi}{\partial x}$. Дәл осындай

жолдармен мына теңдіктерді де алуға болады: $\frac{\partial \psi}{\partial x}$, $\frac{\partial \psi}{\partial x}$.
Сонымен, Гамильтонның кванттық теңдеулерінің алғашқы (немесе 1–ші) тобы импульс және жылдамдық операторларының арасын байланыстырады.

Енді (2)–теңдеулердің

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi, \frac{\partial \psi}{\partial x} \psi, \frac{\partial \psi}{\partial x} \psi$$

екінші тобын қарастырамыз. Мынадай теңдік бар екенін білеміз:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi = \square$$

(14)

Мұндағы $\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi$ ке тәуелді болатын қандай да бір оператор, яғни $\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi$. (14)–тің сол жағында тұрған мүшелердің орындарын ауыстырып жазайық:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi = \square$$

тің орнына $\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi$ ты алсақ, онда

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi = \square$$

Осыны (10)–ның бірінші теңдеуіне қойсақ:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi = \square$$

(15)

Осыған (8)–ді ескерсек, онда

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \square$$

(15a)

Дәл осындай есептеулер жүргізу арқылы (10)–ның 2–ші және 3–ші теңдеулерінен мына өрнектерді оңай шығарып алуға болады:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \square, \frac{\partial \psi}{\partial x} = \square$$

(16)

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi = \square$$

болатынын ескерсек, онда (15a)

және (16)–теңдіктерінен:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \psi = \square$$

(K)

Енді $\frac{\bar{u} \bar{u} \bar{u}}{\bar{u} \bar{u} \bar{u}}$ — $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$, $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$, $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$,
 $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$, $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$, $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$ шамаларының орташа мәндерін табайық. Ол үшін төмендегі теңдікті қолданамыз:

$$\frac{\bar{u} \bar{u} \bar{u}}{\bar{u} \bar{u} \bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad (17)$$

Егер $\bar{u}$ болса, онда (17)–ден:

$$\frac{\bar{u} \bar{u}}{\bar{u} \bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad (18)$$

(3e)–бойынша $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$, олай болса:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad (18a)$$

Өткен тақырыптағы (2)–ші өрнекке сәйкес: $\bar{u} \bar{u}$, осында $\bar{u} \bar{u}$ деп алсақ, онда $\bar{u} \bar{u}$. Мұны (18a)–ға қойсақ:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad (19)$$

Дәл осындай жолдармен төмендегі теңдіктерді де оңай алуға болады [10, 72,73-66.]:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad (19a)$$

Бұл жерде

$$\bar{u} \bar{u} = \bar{u} \bar{u} \quad (20)$$

(17)–ге $\bar{u} \bar{u}$ шарттарын қолдансақ, онда

$$\frac{\bar{u} \bar{u}}{\bar{u} \bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad (21)$$

(15a)–бойынша $\frac{\bar{u}}{\bar{u}} =$, олай болса (21)–ден:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} = \frac{\bar{u}}{\bar{u}} \quad \bar{u} \bar{u}$$

(K)–бойынша $\frac{\bar{u}}{\bar{u}}$, сонда (21)–ден:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} = \bar{u} \quad (21a)$$

$\bar{u} \bar{u}$ интегралдық өрнегінде $\bar{u} \bar{u}$ болса, онда

$$\bar{u} \bar{u} = \bar{u} \bar{u} \quad (22)$$

Осыны (21a)–ға қойсақ:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}} = \bar{u} \quad (23)$$

Дәл осындай есептеулерді $\frac{\dot{u}}{u}$ және $\frac{\dot{u}}{u}$ шамалары үшін де жүргізер болсақ, нәтижеде:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u}, \quad (23a)$$

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad \text{интегралдық өрнегінде} \quad \frac{\dot{u}}{u} \quad \text{болса, онда} \quad (24)$$

(24) пен $\frac{\dot{u}}{u}$ — теңдікті (19)-ға қойсақ:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad (25)$$

(24)-сияқты теңдікті у және z үшін де жазуға болады:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad (24a)$$

(19a)-да: $\frac{\dot{u}}{u}$ осы өрнекке (24a) мен (20)-ны қойсақ:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad (25a)$$

(19a)-да: $\frac{\dot{u}}{u}$ осы өрнекке (24a) мен (20)-ны қойсақ:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad (25b)$$

$\frac{\dot{u}}{u}$ — өрнегі мен (22)-ні (23)-ке қойсақ:

$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u}$ — . Осының оң жағына (15a)-ны қойсақ, нәтижеде:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} = \quad (26)$$

(22)-ні у және z үшін де жазуға болады:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad (22a)$$

Бұл жерде

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} \quad \frac{\dot{u}}{u} \quad \frac{\dot{u}}{u}$$

Өрнектерін және (23) және (23a)-өрнектерін ескерсек, онда (26)-сияқты өрнекті у және z үшін де жазуға болады [11, 211–218-бб.; 12, 24, 53–60-бб.]:

$$\frac{\dot{u}}{u} = \frac{\dot{u}}{u} = \quad (26a)$$

(25, 25a, 25b, 26, 26a)-өрнектерді Эренфест теоремалары деп атайды. (19)-ды уақыт бойынша дифференциялдайық:

Шредингердің жасаған механикасы (кванттық механика) толқындық оптикаға ұқсас болғанымен, бұл ұқсастық қандай да бір жекелеген толқындық процестерді қарастырған кездерде ғана байқалады. Ал жалпы алғанда толқындық оптика мен кванттық механиканы бір сала емес. Себебі, Шредингердің теңдеуі толқындық оптикадағы толқындық теңдеулердің ешқайсысына да ұқсамайды. Толқындық теңдеулерде уақыт бойынша алынатын екінші ретті дербес туындылар бар болса, Шредингер теңдеуінде уақыт бойынша бірінші ретті ғана дербес туынды бар. Осы секілді басқа да айырмашылықтарды көптеп келтіре беруге болады. Осыған орай, мақалада кванттық шамалардың орташа мәндерін толқындық функция мен оның түйіндесі арқылы анықтау өрнектері бойынша Эренфест теоремалары мен олардың мағыналары айқындалды. Гамильтониандағы сыртқы потенциалдың координата бойынша туындыларының маңыздылығы нақтыланып, импульс пен координатның орташа мәндерін анықтау жолдары жүйеленіп берілді. Сонымен бірге аталған динамикалық шамалардың уақыт бойынша туындыларының толқындық функция арқылы анықталу жолдары көрсетілді. Қозғалыс теңдеулерінің классикалық және кванттық үлгілерінің ортақ бір шығу тегі бар екендігі және олардың өзара байланыста болатындығы келтірілді. Мақаланың тақырыбына сай көтерілген мәселелер барлық талаптарға сай шектеулер арқылы орындалды. Коммутациялық амалдар Пуассон жақшасының нормаларына сай жан-жақты сипатта жүргізілді.

REFERENCES

- 1 Stephane, A., Florence, B. Electron Mass Predicted From Substructure Stability in Electrodynamical Model // *Frontiers in Physics*. – 2020. – 8 p. DOI 10.3389/fphy. 2020.00213
- 2 Olchak, A.S. O svyazi kvantovoj neopredelennosti i klassicheskix sil [On the connection between quantum uncertainty and classical forces] [Text] // *Vestnik Nacional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI»*. – 2021. – № 6 – P. 505-508. <https://doi.org/10.56304/S2304487X21060079>
- 3 Davydov, A.P., Zlydneva, T. P. Interferenciya e'lektromagnitny'x voln s tochki zreniya volnovoј funkciі fotona v koordinatnom predstavlenii [Interference of electromagnetic waves from the point of view of the photon wave function in the coordinate representation] [Text] // *E'lektromagnitny'e volny' i e'lektronny'e sistemy*. – 2018. – № 8. – P. 27–40. DOI: 10.18127/j15604128-201808-04
- 4 Belinsky, A.V. Kvantovaya neopredelennost' i kontrprimer nelokal'nogo klassicheskogo «realizma» [Quantum uncertainty and a counterexample of non-local classical “realism”] [Text] // *Optika i spektroskopiya*. – 2017. – № 3. – P. 393-399. DOI: 10.7868/S0030403417090070
- 5 Loshak, J. Geometrizaciya fiziki [Geometrization of physics] [Text]. – Moscow: Izhevsk: Scientific Research Center “Regular and chaotic dynamics”, 2019. – 280 p.
- 6 Laptukhov, A. I. E'lektrodinamika fotona i ego struktura kak sgustka odnogo iz mnogix vozmozhny'x sostoyanij e'lektromagnitnogo polya [Electrodynamics of the photon and its structure as a cluster of one of the many possible states of the electromagnetic field] [Text] // *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. – 2017. – № 10. – P. 1466-1474. <https://doi.org/10.21883/JTF.2017.10.44988.2204>
- 7 Zhuravlev, V. M. Princip material'nosti prostranstva i fundamental'ny'e polya [The principle of materiality of space and fundamental fields] [Text] // *Prostranstvo, vremya i fundamental'ny'e vzaimodejstviya*. – 2020. – № 3. P. 37-57. DOI: 10.17238/issn2226-8812.2020.3.37-57
- 8 Tarasova, E. V., Shirinskikh, A. S. Dvojstvennaya priroda sveta [The dual nature of light] [Text] // *Konferenciya: Nauka molody'x – budushhee Rossii*. – 2019. – № 7. – P. 204-206.
- 9 Demidchenko, V. I., Ryabchun, I. P. Korpuskulyarno-volnovoј dualizm sveta [Corpuscular-wave dualism of light] [Text] // *Fizicheskoe obrazovanie v vuzax*. – 2019. – № 4. P. 58-64.
- 10 Volkov, G. G., Kukin, N. S., Smurov, S. V., Muradova, A. R., Glotova, I.O. Matematicheskie voprosy' rasshireniya osnov kvantovy'x teorij [Mathematical issues of expanding the foundations of quantum theories] [Text] // *Izvestiya instituta inzhenernoj fiziki* – 2015. – № 4, – P. 71–84.

- 11 Saveliev, I. V. Kurs fiziki [Course of physics] [Text]. – Izdatel'stvo Lan', 2023. Volume 3. – 308 p.
- 12 Bedanokov, R. A. Kvantovaya fizika i e'lementy' kvantovoj mexaniki [Quantum physics and elements of quantum mechanics] [Text]. – Izdatel'stvo Lan', 2021. – 116 p.

***Т. Б. Коштыбаев¹, А. М. Татенов², Ә. Ә. Ақжолова³, М. Е. Алиева⁴,**

^{1,2}Казахский национальный женский педагогический университет,
Республика Казахстан, г. Алматы

^{3,4}Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Республика Казахстан, г. Алматы

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

В квантовой механике показано, что изменения (производные) величин во времени, которые явно не зависят от времени, выполняются в модели классических уравнений Гамильтона с помощью скобок Пуассона. Приведены способы определения дифференциалов квантово-механических величин и их средних значений путем раскрытия уравнений Гамильтона первой и второй групп с помощью квантовых скобок Пуассона и выполнения коммутационных отношений между координатами и составляющими импульса. По выражениям определения средних значений квантовых величин через волновую функцию и ее сопряжение определены теоремы Эренфеста и их значения. Уточняется важность производных внешнего потенциала в гамильтониане по координатам. Систематизированы пути определения средних значений импульса и координат, а также показаны способы определения их производных во времени с помощью волновой функции. Все математические расчеты выполнены с строгим соблюдением условий нормализации по интегралам, полученным по фазовому пространству. Способ получения квантового уравнения Ньютона из теорем Эренфеста также реализован в аналогичной идее. Важность теоремы заключается в том, что в каждой дифференциальной операции учитываются вероятностные свойства волновой функции. Уравнение Паули для нерелятивистской квантовой механики также может лучше описывать движение частицы во внешних полях, что означает, что уравнения движения всех типов в квантовой механике рассматриваются последовательно. Приведены убедительные доказательства того, что классические и квантовые модели

уравнений движения имеют общий корень и что они взаимосвязаны. Вопросы, поднятые в соответствии с темой статьи, были выполнены с ограничениями, отвечающими всем требованиям. Коммутационные операции носили разносторонний характер в соответствии с нормами скобок Пуассона.

Ключевые слова: координата, импульс, частица, оператор, масса, скорость, гамильтониан, квантовая скобка.

***T. Koshtybayev¹, A. Tatenov², A. Akzholova³, M. Aliyeva⁴**

^{1,2}**Kazakh National Women's Pedagogical University,**

Republic of Kazakhstan, Almaty

^{3,4}**Abai Kazakh National Pedagogical University,**

Republic of Kazakhstan, Almaty

EQUATIONS OF MOTION OF QUANTUM MECHANICS

In quantum mechanics, it is shown that changes (derivatives) of quantities in time, which are clearly independent of time, are performed in the model of classical Hamilton equations using Poisson brackets. The methods of determining the differentials of quantum mechanical quantities and their average values by revealing the Hamilton equations of the first and second groups using quantum Poisson brackets and performing switching relations between coordinates and momentum components are presented. According to the expressions for determining the average values of quantum quantities through the wave function and its conjugation, the Ehrenfest theorems and their values are determined. The importance of derivatives of the external potential in the Hamiltonian in coordinates is clarified. The ways of determining the average values of momentum and coordinates are systematized, and ways of determining their derivatives in time using the wave function are shown. All mathematical calculations are performed in strict compliance with the normalization conditions for integrals obtained over the phase space. The method of obtaining Newton's quantum equation from Ehrenfest's theorems is also implemented in a similar idea. The importance of the theorem lies in the fact that in each differential operation the probabilistic properties of the wave function are taken into account. The Pauli equation for nonrelativistic quantum mechanics can also better describe the motion of a particle in external fields, which means that equations of motion of all types in quantum mechanics are considered sequentially. Convincing evidence is presented that classical and quantum models of equations of motion have a common

root and that they are interrelated. The issues raised in accordance with the topic of the article were fulfilled with restrictions that meet all the requirements. Switching operations were versatile in accordance with the norms of Poisson brackets.

Keywords: coordinate, momentum, particle, operator, mass, velocity, Hamiltonian, quantum bracket.

**К. А. Мантиева¹, А. К. Даулетбекова²,
З. К. Баймуханов³, А. Т. Акилбеков⁴, *А. Б. Базарбек⁵**

^{1,2,3,4,5}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0659-8173>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0048-0959>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1734-3109>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6366-6705>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6455-6142>

*E-mail: asyl.bazarbek.92@mail.ru

ХИМИЯЛЫҚ ТҰНДЫРУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ SiO_2/Si ТРЕК ШАБЛОНДАРЫНДА АЛЫНҒАН CdS НАНОСЫМДАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Бұл мақалада CdS наносымдарын SiO_2/Si трек темплейтінде алудың химиялық тұндыру әдісін қарастырамыз. SiO_2/Si шаблондары p -типті Si субстратының бетінде қалыңдығы 700 нм кремний диоксиді пленкасы термиялық түрде дайындалды, Xe 200 МэВ жылдам ауыр иондарымен сәулелендіру арқылы, шаблондарда флюенциясы 108 см^{-2} болатын нанокеуектер пайда болады. SiO_2/Si шаблон бетінде түзілген нанокеуектерді кадмий сульфидімен толтыру химиялық тұндыру әдісі арқылы жүзеге асты. Химиялық тұндырудан кейін, нанокеуектердің көлемін және олардың толтырылу дәрежесін анықтау үшін сканерлеуші электрондық микроскоп (СЭМ) қолданылды. СЭМ талдаулар нәтижесінде 30 минуттық химиялық тұндырудан кейін CdS наносымдарымен толтырылу дәрежесі шамамен 85-90 % құрады және нанокеуектердің орташа диаметрі 260 нм тең. Наносымдардың құрылымдық зерттеу нәтижелерінен анық болғандай, симметрия тобы орторомбты құрылымы бар CdS нанокристалдарының түзілуін көрсетті. Болме температурасындағы фотолюминесценция спектрі өлшеніп, орталықтары 2.53 эВ, 2.45 эВ және 2.37 эВ энергияларына жақын сәулелену жолақтары анықталды. Бұл спектрлік жолақтар кадмий сульфиді наносымдарының түрлі кристалдық ақауларына және

олардың өлшемдік эффекттеріне байланысты пайда болғандығын көрсетеді. Алынған нәтижелер CdS наносымдарын трек темплейтті әдіспен алудың тиімділігін және оларды оптоэлектрондық құрылғыларда қолдану әлеуетін дәлелдейді.

Кілтті сөздер: темплейтті синтез SiO_2/Si ; химиялық тұндыру; химиялық тұндыру; электрохимиялық тұндыру; нанокристалл CdS ; рентгендік құрылымдық талдау.

Кіріспе

Қазіргі таңда бір өлшемді нанотүтіктер, нанокеуектер, наносымдар, наноматериалдар іргелі физика үшін ғана қолданып қоймай, сонымен бірге наноқұрылғыларда да кең ауқымды қолданысқа ие [1;2]. Жартылай өткізгіш материалдардың ішінде кадмий сульфиді (CdS) кедергі аймағының тиімділігімен, ультракүлгін және көрінетін толқын ұзындық аймағында жатуымен ерекшеленіп, ауқымды жұмыс істеуге мүмкіндік беретін арзан коммерциалық өнімге айналуы мүмкін. CdS наносымдары оптоэлектронды құрылғыларда, фотокатализ, лазер, жарық диодтары және өріс транзисторларында қолданылуда.

CdS наноқұрылымдарын алудың көптеген әдістері бар. Коллоидтық синтез, зол-гель әдісі, физикалық тұндыру, химиялық және электрохимиялық әдістері бар. Әдістердің әрқайсысын белгілі-бір жағдайлар үшін қолданылады. Мысалы, фототүрлендіргіштер немесе фотодетекторлар үшін пленканың максималды біртектілігі маңызды, ал сенсорлы қолданыста наноқұрылымдардың жоғарғы бетінің ауданы мен реактивтілігі маңызды [3]. Химиялық тұндыру (ХТ) әдісі жіңішке наноқұрылымды материалдарды әр түрлі шаблондарда (шыны, кремний, полимерлер) CdS наносымдарын алуға мүмкіндік беретін, қымбат емес салыстырмалы түрде қарапайым әдістердің бірі [4]. Бірнеше зерттеушілер көптеген күн батареяларының тиімділігі CdS буферлік қабатының қасиетіне өте тәуелді екенін және бұларды химиялық тұндыру әдісі қабаттарды тұндырудың ең қолайлы әдісі екенін көрсетті [5]. Мақалада химиялық тұндыру әдісімен, SiO_2/Si трек темплейтті шаблондарын пайдаланып, наноқұрылымға ие CdS наносымдарын аламыз. ХТ-дан кейін Zeiss Crossbeam 540 қос сәулелі сканерлеу микроскопының көмегімен үлгілер үшін СЭМ кескіндері алынды және Rigaku Smartlab SE дифрактометрі арқылы CdS құрылымдық ерекшеліктерінің морфологиясы зерттелді. Бұл зерттеуде біз CdS наносымдарының құрылымдық, морфологиялық, оптикалық және электрлік қасиеттерін хабарлаймыз.

Материалдар мен әдістері

Ұсынылып отырған жаңа наноматериал Si қабатынан және CdS наносымдарымен толтырылған SiO₂ нанокеуекті қабатынан тұрады. Қалыңдығы ~700 нм кремний диоксиді (SiO₂) пленкасы n-Si (100) пластинасында термиялық түрде өсірілді. Өлшемдері шамамен 5×5 мм және 20×20 мм SiO₂/Si үлгілер дайындалды. SiO₂ қабатындағы жасырын иондық тректер 200 МэВ энергиясы бар және 108 см⁻² флюенске дейін ауыр жылдам иондарымен (Xe) сәулелену арқылы жасалды. Фтор қышқылындағы жасырын жолдарды ою әр түрлі диаметрлі кесілген конустар түрінде стохастикалық бөлінген кеуектердің пайда болуына әкелді. Тректерді ою алдында 6.SB25-12DTS ультрадыбыстық тазартқышында 15 минут бойы бетті ультрадыбыстық тазалау жүргізілді. Барлық үлгілерді өңдеуден кейін ионсыздандырылған суда (18.2 МОм) жуылды.

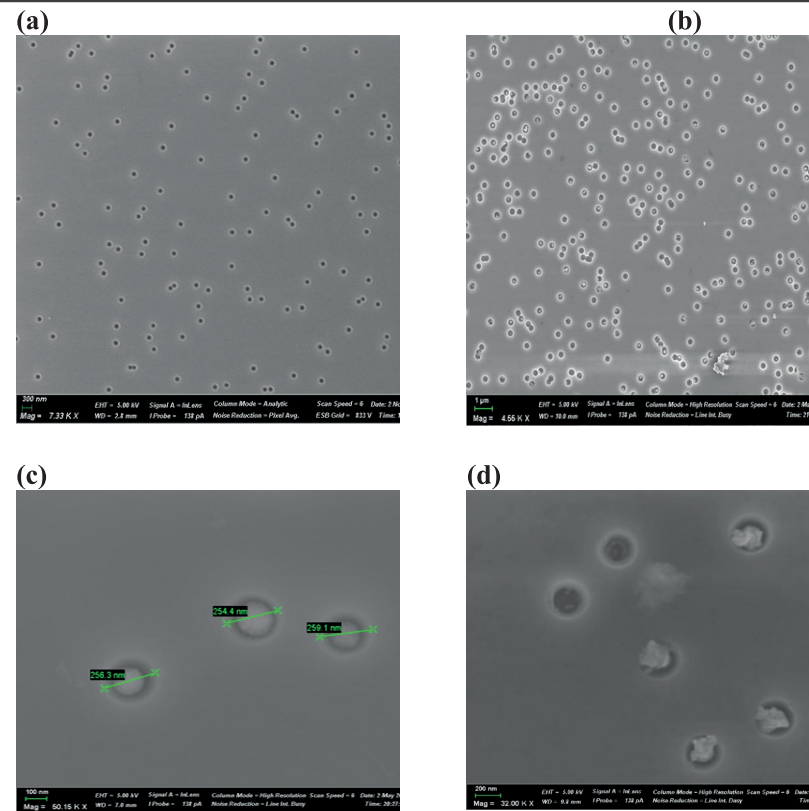
Жіңішке қабатты CdS наносымдарын химиялық тұндыруға арналған ерітінді 100 мл дистилденген суда келесідей құрамда болды: кадмий хлориді (CdCl₂) – 3,66 г/л; аммоний хлориді (NH₄Cl) – 2.67 г/л; тимочевина (CH₄N₂S) – 3.8 г/л. Кейін pH теңгерімін 11-ге жету үшін, тамшылап 38 мл аммиак гидридін құйып отырылды. Барлық тәжірибе барысында ерітіндінің температурасы 70±3 °C құрады. Дайын болған ерітіндіде шаблондар 20,30,40 мин аралықтарында тұндырылды.

Химиялық әдіспен тұндырылған CdS наносымдарының морфологиясы Zeisscrossbeam 540 сканерлеуші электронды микроскоп (СЕМ) көмегімен зерттелді. Ал кристалдық құрылымы RigakuSmartLab дифрактометрінде (Токио, Жапония) рентгендік дифракциялық талдау арқылы зерттелді. Түсіру 40°-тан 70°-қа дейінгі бұрыштар диапазонында 0,01° қадаммен сканерлеу режимінде жүргізілді. Тор тұрақтылары өлшенді және TOPAS 4.2 бағдарламасы көмегімен тұндырылған кадмий сульфидінің құрылымдық параметрлері нақтыланды.

Фотолуминесценция спектрлері 240 нм толқын ұзындығында қозу кезінде 300-ден 800 нм-ге дейінгі спектрлік диапазонда CM 2203 (SOLAR) спектрофлюориметрі арқылы бөлме температурасында өлшенді.

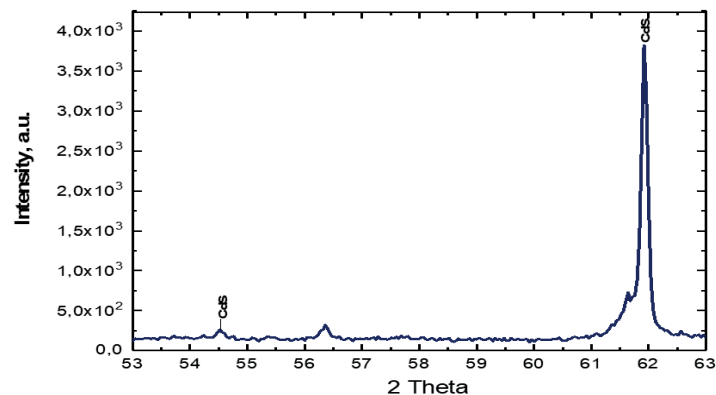
Нәтижелер және талқылау

CdS наносымдарының бетінің морфологиялық зерттеуінің нәтижелері 1(a,b,c,d) суретте көрсетілген, тиісінше 1a суретте SiO₂/Si шаблондарының тұндыруға дейінгі жағдайы, 1 b,c және d суреттерінде CdS наносымдарымен химиялық тұндырудан кейінгі СЭМ суреттері көрсетілген.



1-сурет – SiO₂/Si трек шаблондарында CdS наносымдарын СЭМ суреттері: (a) химиялық тұндыруға дейінгі, (b,c) және (d) химиялық тұндырудан кейінгі. Тұндыру уақыты 30 минут, T=70° C

Барлық үлгілер үшін құрамы бірдей ерітінді қолданылды, тұндыру температурасы 70±3° C, тұндыру уақыты 30 минутты құрайды. SiO₂/Si трек шаблондарында CdS наносымдарының толық отырғызылуы тікелей ерітіндінің химиялық құрамына және сілтілі ортаның болуына байланысты екенін атап өткен жөн, біздің жағдайымызда pH теңгерімін 11 – ге жету үшін шамамен 38 мл аммиак гидридін қолданылды. Көріп отырғанымыздай 1 b,c және d суреттерінде CdS наносымдарымен 30 минуттық химиялық тұндырудан кейін толтырылу дәрежесі шамамен 85-90 % құрайды және нанокеуектердің орташа диаметрі 260 нм тең.



2-сурет - CdS наносым үлгілерінің рентгенографиясы:
тұндыру уақыты 30 мин, T=70° C

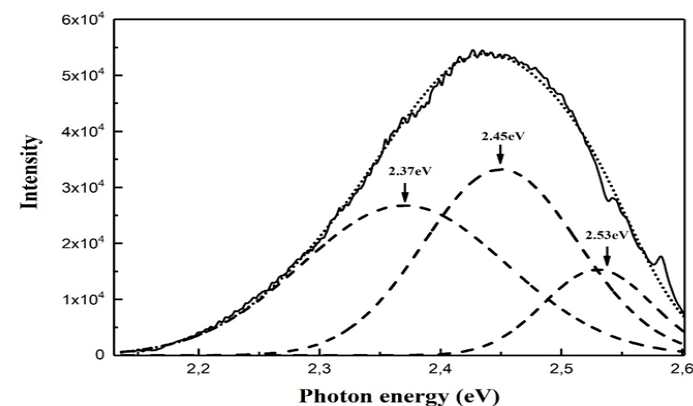
1-кесте – Ретгендік құрылымдық талдау мәліметтері бойынша SiO₂/Si темплейтіндегі CdS наносымының кристаллографиялық параметрлері

Фаза атауы	CdS
Құрылым түрі	Орторомбты
Кеңістік тобы	59: Pmmn
2θ	54.58, 62.24
d, Å	1.6801 1.4903
L, нм	8.415
FWHM	0.22 0.14
Параметры решетки, Å	a=3.536320 b=4.799425 c=3.359600
Көлемі, Å ³	57.020
Тығыздығы, г/см ³	8.415

Құрылымдық қасиеттерін зерттеу рентген құрылымдық талдау әдісімен жүргізілді. Рентгенограммада 54.58 және 62.24 бұрыштарында CdS құрылымы байқалып, 59 Pmmn орторомбты кристалдық құрылымы

анықталды (сурет 2 және кесте 1). Бүгінгі күні көптеген авторлар CdS пленкаларының текше және алтыбұрышты кристалдану құрылымын алса, бұл жұмыста SiO₂/Si шаблондарында химиялық тұндыру әдісі арқылы жаңа кристалдық орторомбты құрылым алынды.

3-суретте зерттелетін CdS наносымдарының фотолюминесценция спектрлері берілген. Гауссиандарға жіктеу нәтижесінен көріп отырғанымыздай сәулелену жолақтары көрінетін аймақта байқалды (E=2,53 эВ, E=2,45 эВ, E=2,37 эВ). Кадмий сульфиді нанокристалдары ортасы шамамен 2,53 эВ орналасқан көк сәуле шығару жолағын және энергиялары шамамен 2,45 эВ және 2,37 эВ шеттерінде жасыл сәуле шығару жолағын көрсетеді.



3-сурет – CdS наносымдарының фотолюминесценциясының спектрлері, 30 минуттық ХТ-дан кейін

Тәжірибелік талдаулар мен әдебиет деректерінен 2,37 эВ және 2,45 эВ сәйкес келетін жасыл сәуле шығару жолақтары әдебиетте күкірт вакансиясының (VS) валенттік аймаққа өтуіне және донор-акцепторлық жұптардың рекомбинациясына жатқызылғаны туралы қорытынды жасауға болады [6;7]. Егер кристалды артық күкіртпен өсірсе, тек 2,45 эВ жетекші сызықпен әлсіз қатар байқалады. Біздің алынған нәтижелерімізді [8;9] авторлардың деректерімен салыстыратын болсақ, олар 70°C синтез температурасында алынған CdS наноқабықшаларының қозу-шашырауы нәтижесінде 2,53 эВ энергиясында стимуляцияланған пик пайда болуын анықтаған. CdS наносымдар түйіршік шекараларында күкірт (S) пен кадмий (Cd) байланысты беткі және көлемді ақаулар көбірек болады. Олар CdS

наносымдарының фотолюминесценция қасиеттеріне әсер етеді [10]. CdS ФЛ спектрі 2,37 эВ кезінде әлсіз және өткір сәулеленуді көрсетеді. Қысқа толқын ұзындықтарындағы әлсіз сәуле шығару диапазоны өткізгіштік аймағынан валенттік зонаға тікелей өтумен түсіндіріледі [11]. Бұл бөлшектердің кристалдылығының жеткілікті жоғары дәрежесін көрсетеді. Негізгі люминесценция диапазонының кең болуы CdS тұзақтарының сәулеленуімен түсіндіріледі. Электрондар мен саңылаулар жолақ жиегі арқылы қозудан кейін жолақ саңылауы аймағында жатқан беттік күйлерге радиациялық емес түрде енеді. CdS наносымдарындағы беттік күйлер арқылы сәулелік қозу шамамен 2,37 эВ толқын ұзындығында байқалатын жасыл флуоресценцияға әкеледі.

Қорытынды

Алғаш рет CdS наносымдары SiO₂/Si шаблоньында химиялық тұндыру әдісі арқылы синтезделіп, беттік құрылымдық, оптикалық зерттеу жұмыстары жүргізілді. СЭМ талдаулар нәтижесінде CdS наносымдарымен 30 минуттық химиялық тұндырудан кейін толтырылу дәрежесі 85-90% құрады және нанокеуектердің орташа өлшемдері анықталды. Зерттеу нәтижесі CdS наносымдары орторомбты кристалдық құрылымы бар 59 Pmmn кеңістіктік тобына тиесілі екендігін көрсетті. Химиялық тұндыру әдісі барлық дерлік нанокеуектерді толтыруға мүмкіндік беретін қолайлы және қолжетімді әдіс болып табылады. Фотолюминесценция спектрлеріне жасалған талдау нәтижелерінен энергиялары 2,37 эВ, 2,45 эВ және 2,53 эВ сәйкес келетін жолақтық аймақтардың бар екендігі анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Morales, A., Lieber, C. A laser ablation method for the synthesis of crystalline semiconductor nanowires // Science. – 2016. – Vol. 279. – P. 208-211.
- 2 Duan, X., Wang, J., Lieber, C. M. Synthesis and optical properties of gallium arsenide nanowires // Applied Physics Letters. – 2000. – Vol. 76. – P. 1116-1118.
- 3 Routkevitch, D., Bigioni, T., Moskovits, M., Xu, J. Electrochemical fabrication of CdS nanowire arrays in porous anodic aluminum oxide templates // The Journal of Physical Chemistry. – 1996. – Vol. 100. – P. 14037-14047.
- 4 Dona, J., Herrero, J. Chemical bath deposition of CdS thin films: an approach to the chemical mechanism through study of the film microstructure // Journal of the Electrochemical Society. – 1997. – Vol. 144. – P. 4081.
- 5 Ortuño-López, M., Sotelo-Lerma, M., Mendoza-Galván, A., Ramirez-Bon, R. Chemically deposited CdS films in an ammonia-free cadmium–sodium citrate system // Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 457. -P. 278-284.

- 6 Perdew, J., Burke, K., Ernzerhof, M. Generalized gradient approximation made simple // Physical review letters. – 1996. – Vol. 77. - P. 3865.
- 7 Pan, A., Wang, S., Liu, R., Li, C., Zou, B. CdS nanowires // Small. – 2005. – Vol. 1. – P. 1058-1062.
- 8 Jindal, Z., Verma, N. Effect of Mn doping on solvothermal synthesis of CdS nanowires // Materials Sciences and Applications. – 2010. – Vol. 1. – P. 210.
- 9 Wang, Y., Meng, G., Zhang, L., Liang, C., Zhang, J. Catalytic growth of large-scale single-crystal CdS nanowires by physical evaporation and their photoluminescence // Chemistry of materials. – 2002. -Vol. 14. – P. 1773-1777.
- 10 Tao, G., Guo-Wen, M., Tai-Hong, W. Blue Luminescence of CdS Nanowires Synthesized by Sulfurization // Chinese Physics Letters. – 2004. – Vol. 21. – P. 959.
- 11 Levy, L., Feltin, N., Ingert, D., Pileni, M. Three Dimensionally Diluted Magnetic Semiconductor Clusters Cd_{1-y} Mn_y S with a Range of Sizes and Compositions : Dependence of Spectroscopic Properties on the Synthesis Mode // The Journal of Physical Chemistry B. – 1997. -Vol. 101. – P. 9153-9160.

**К. А. Маипиева¹, А. К. Даулетбекова², З. К. Баймуханов³,
А. Т. Акилбеков⁴, *А. Б. Базарбек⁵**

^{1,2,3,4,5} Евразийский национальный университет имени
Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОСОВ CDS, ПОЛУЧЕННЫХ В ШАБЛОНАХ ТРЕКОВ SiO₂ / SI МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

В данной статье рассматривается метод химического осаждения для получения нанопроволок CdS на шаблоне трека SiO₂/Si. Шаблоны SiO₂/Si были приготовлены путем термического осаждения пленки диоксида кремния толщиной 700 нм на поверхность подложки Si n-типа и облучения ее быстрыми тяжелыми ионами Xe с энергией 200 МэВ и плотностью потока 108 см⁻², в шаблонах были сформированы нанопоры. Заполнение нанопор, образовавшихся на поверхности SiO₂/Si, CdS достигалось методом химического осаждения. После химического осаждения с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) определяли размер нанопор и степень их заполнения. Анализ СЭМ показал, что после 30 минут химического осаждения нанопроволок CdS степень заполнения составила приблизительно 85–90%, а средний диаметр нанопор составил 260 нм. Как следует из результатов структурного

исследования нанопроволок, группа симметрии указала на наличие нанокристаллов CdS с орторомбической структурой. Спектр фотолюминесценции измерялся при комнатной температуре, и были идентифицированы полосы излучения с центрами вблизи энергий 2.53 эВ, 2.45 эВ и 2.37 эВ. Эти спектральные полосы обусловлены различными кристаллическими дефектами и размерными эффектами нанонитей сульфида кадмия. Полученные результаты подтверждают эффективность получения нанонитей CdS методом трековых шаблонов и их потенциал для применения в оптоэлектронных устройствах.

Ключевые слова: темплетный синтез SiO_2/Si ; химическое осаждение; электрохимическое осаждение; нанокристаллы CdS; рентгеноструктурное исследование.

**K. A. Mantiyeva¹, A. K. Dauletbekova², Z. K. Baimukhanov³,
A. T. Akilbekov⁴, *A. B. Bazarbek⁵**

^{1,2,3,4,5}L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF CDS NANOSYSTEMS OBTAINED IN SiO_2/Si TRACK TEMPLATES BY CHEMICAL DEPOSITION METHOD

This paper deals with the chemical deposition method for the preparation of CdS nanowires on SiO_2/Si track template. SiO_2/Si templates were prepared by thermal deposition of a 700 nm thick silicon dioxide film on the surface of an n-type Si substrate and irradiating it with fast heavy Xe ions with an energy of 200 MeV and a flux density of 108 cm^{-2} , nanopores were formed in the templates. The filling of nanopores formed on the SiO_2/Si , CdS surface was achieved by chemical deposition. After chemical deposition, the size of nanopores and their filling degree were determined using scanning electron microscope (SEM). SEM analysis showed that after 30 min of chemical deposition of CdS nanowires, the filling degree was approximately 85–90%, and the average diameter of nanopores was 260 nm. According to the results of the structural study of the nanowires, the symmetry group indicated the presence of CdS nanocrystals with orthorhombic structure, with 59 Pmmn. The photoluminescence spectrum was measured at room temperature, and emission bands with centres near 2.53 eV, 2.45 eV and 2.37 eV were identified. These spectral bands are attributed to various crystal defects and size effects of the cadmium

sulfide nanowires. The obtained results confirm the effectiveness of using the track template method to synthesize CdS nanowires and demonstrate their potential for application in optoelectronic devices.

Keywords: SiO_2/Si template synthesis; chemical deposition; electrochemical deposition; CdS nanocrystals; X-ray diffraction study.

***С. Опахай¹, Ж. Ермекбай², М. М. Кубенова³,
Ж. С. Зейнулла⁴, Б. Мәуей⁵**

^{1,3,4,5}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²«Advanced Research and Technology group» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6789-4844>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6996-355X>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2012-2702>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5339-3165>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

*e-mail: serikjan_0707@mail.ru

САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ ҚАТТЫ ОКСИДТІ ОТЫН ЭЛЕМЕНТТЕРІНДЕГІ ТЕРМОМЕХАНИКАЛЫҚ КЕРНЕУЛЕР МЕН ДЕГРАДАЦИЯНЫ ЗЕРТТЕУ

Осы жұмыста қатты оксидті отын элементінің (ҚООЭ) көпқабатты құрылымындағы термомеханикалық кернеулер, жылулық кеңею коэффициенттері (ЖКК), электрөткізгіштік және деградация механизмдері модельденді. Катодтық LSC материалы (2265 МПа) жоғары ЖКК ($15.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) және төмен Юнг модулі (150 GPa) нәтижесінде ең аз кернеуді көрсетті, бұл жарықшақтардың пайда болу қаупін төмендетеді. Электрөткізгіштікті талдау ең жоғары электрондық өткізгіштік LSC-ға (100 S/см) тән екенін растады, бұл оны тиімді катод материалы етеді, ал электролиттер (YSZ, GDC, CGO) төмен электрондық өткізгіштікке ие болғанымен, оттегі иондарының тасымалын қамтамасыз етеді. Ең жоғары иондық өткізгіштік CGO-да (0.2 S/см) және GDC-де (0.15 S/см) тіркелді, бұл оларды көпқабатты электролит құрылымында қолдануды негіздейді. Деградация механизмдерін зерттеу NiO/YSZ аноды механикалық (40%), химиялық (30%) және термиялық (30%) бұзылуларға ұшырайтынын көрсетті. YSZ/GDC электролиті негізінен механикалық бұзылу (50%) және оттегі вакансияларының жиналуы (25%) салдарынан деградацияға ұшырады, бұл оның иондық өткізгіштігін төмендетті. CGO тосқауыл қабаты Sr-пен әрекеттесуі нәтижесінде химиялық деградацияға (50%) бейім болды,

ал LSC катоды SrZrO_3 түзілуімен және электрондық өткізгіштіктің жоғалуымен байланысты жоғары химиялық деградацияны (60%) көрсетті. ҚООЭ ұзақ мерзімді жұмысының төмендетілген температураларда (600–700°C) моделдеу нәтижелері құрылымның 600°C температурада 95–97%, ал 700°C температурада 92–95% тиімділікті сақтайтынын көрсетті. YSZ/GDC/CGO электролиті бар оңтайландырылған құрылым төмендетілген температураларда жақсартылған сипаттамаларды көрсетті, бұл ҚООЭ-нің орташа диапазонында (600–700°C) қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді. Газ құрамының әсерін талдау H_2/N_2 атмосферасы ҚООЭ-нің ең жоғары ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ететінін көрсетті (5000 сағат жұмыс істегеннен кейін 93–96%), ал CO_2 -нің болуы катод пен тосқауыл қабатының деградациясын жылдамдатады (85–92%).

Кілтті сөздер: термомеханикалық кернеулер, жылулық кеңею коэффициенті (ЖКК), электрөткізгіштік, материалдардың деградациясы, ақырғы элементтер әдісі (FEA), молекулалық-динамикалық модельдеу (MD), көпқабатты құрылым.

Кіріспе

Қатты оксидті отын элементтері (ҚООЭ) отынның химиялық энергиясын электр энергиясына түрлендірудің перспективалы технологиясы болып табылады. Олар жоғары термиялық және электрохимиялық тиімділікке, зиянды заттардың төмен шығарындыларына және сутегі, метан, синтетикалық газ қоспалары сияқты әртүрлі отын түрлерімен жұмыс істеу мүмкіндігіне ие болып табылады. Бұл қасиеттер ҚООЭ-ні автономды энергетикалық жүйелерде, көлік саласында және стационарлық қондырғыларда қолдану үшін тиімді етеді [1-3].

Айтарлықтай артықшылықтарына қарамастан, ҚООЭ-нің коммерциялануы бірқатар ғылыми-техникалық мәселелерге тап болуда. Негізгі мәселе – көпқабатты құрылымның әсіресе жоғары жұмыс температураларында (600–1000°C) механикалық және химиялық тұрақтылығы болады. Жұмыс процесінде ҚООЭ әртүрлі қабаттардың ЖКК айырмашылығы салдарынан туындайтын термомеханикалық кернеулерге ұшырайды. Бұл кернеулер микрожарықтардың түзілуіне, қабаттардың қабаттасуына және құрылымның деградациясына әкеліп, элементтердің ұзақ мерзімді жұмыс істеуін төмендетуі мүмкін [4, 5].

ҚООЭ тұрақтылығына әсер ететін тағы бір фактор – қабаттар арасындағы химиялық өзара әрекеттесу болады. Мысалы, құрамында стронций бар катод материалдары (LSC, LSM) электролиттермен әрекеттесіп, ион тасымалының

өткізгіштігін нашарлататын екіншілік фазалардың (мысалы, SrZrO_3) түзілуіне әкелуі мүмкін. Сол сияқты, NiO/YSZ негізіндегі анодтар никель түйіршіктерінің қалпына келу кезіндегі өсуіне байланысты құрылымдық өзгерістерге ұшырайды, бұл олардың механикалық және электрохимиялық сипаттамаларының нашарлауына әкеледі [6, 7].

ҚООЭ сипаттамаларын жақсарту бойынша ғылыми зерттеулер механикалық тұрақтылығы және иондық өткізгіштігі жоғары жаңа көпқабатты құрылымдарды әзірлеуге бағытталған. Қазіргі заманғы тәсілдер электролиттің градиенттік құрылымдарын енгізуді, химиялық өзара әрекеттесуді азайту үшін тосқауыл қабаттарын қолдануды және термомеханикалық жүктемелерге төзімділікті арттыру үшін құрамдас бөліктерді легирлеуді қамтиды. Ерекше назар қабаттардың шекараларында жүретін процестерді модельдеуге бөлінеді, бұл материалдардың жұмыс сипаттамаларын жақсарту үшін олардың қалыңдығы мен құрамын оңтайландыруға мүмкіндік береді [8, 9].

Осы мәселелерді шешу мақсатында бұл жұмыста ҚООЭ көпқабатты құрылымдарының механикалық кернеулері, жылулық процестері және электрохимиялық қасиеттері бойынша сандық модельдеу жүргізілді. Зерттеу барысында ақырғы элементтер әдісі (FEA) [10] және молекулалық-динамикалық модельдеу (MD) [11] қолданылды. Зерттеудің мақсаты – ҚООЭ-нің әртүрлі қабаттарындағы термомеханикалық кернеулерді бағалау, құрылымның деградациясына әсер ететін факторларды талдау және олардың ұзақ мерзімді жұмыс істеуін арттыру үшін көпқабатты құрылымдарды оңтайландыру әдістерін әзірлеу болып табылады.

Мақалада сандық модельдеудің негізгі нәтижелері, ҚООЭ материалдарының тұрақтылығына газ ортасының (H_2/N_2 , H_2/CO_2) әсері бағаланды, сондай-ақ механикалық кернеулерді азайту жолдары ұсынылды. Бұл әдістер қабат қалыңдығын оңтайландыруды, градиенттік құрылымдарды енгізуді және құрамдас бөліктерді легирлеуді қамтиды. Ұсынылған шешімдер ҚООЭ-нің орташа температуралы жұмыс режимдерінде (600–700°C) қызмет ету мерзімін ұзартуға және олардың практикалық қолдану аясын кеңейтуге бағытталған.

Материалдар мен әдістері

Осы жұмыста ҚООЭ материалдарының термомеханикалық кернеулері, ЖКК және деградация механизмдерін талдау үшін сандық модельдеу әдістері қолданылды. Екі негізгі тәсіл пайдаланылды: ақырғы элементтер әдісі (FEA) және молекулалық-динамикалық (MD) модельдеу. Ақырғы элементтер әдісі (FEA) - ҚООЭ көпқабатты құрылымында әртүрлі температуралық режимдерде пайда болатын термомеханикалық кернеулерді модельдеу үшін қолданылды. Геометриялық модель нақты компонент өлшемдерін ескере

отырып құрылды. Есептеулер коммерциялық бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы орындалды, бұл ҚООЭ-нің нақты жұмыс жағдайларына сәйкес шекаралық шарттарды қолдануға мүмкіндік берді. FEA негізгі теңдеулері мыналарды қамтыды:

1. Механикалық кернеулер үшін тепе-теңдік теңдеулері:
2. Серпімді материалдар үшін Гук заңы:
3. Жылулық теңдеу:

Молекулалық-динамикалық (MD) модельдеу атомдық деңгейдегі өзара әрекеттесулерді зерттеу үшін қолданылды. Бұл әдіс Ni/YSZ , YSZ/GDC және CGO/LSC шекараларындағы атомаралық өзара әрекеттесулерді, катион диффузиясының механизмдерін және термиялық процестердің құрылымдық деградацияға әсерін анықтауға мүмкіндік берді. MD негізгі теңдеулері мыналарды қамтыды:

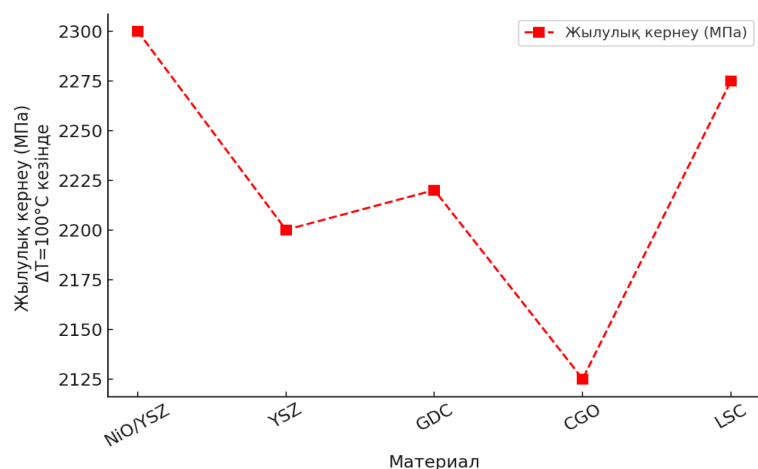
1. Ньютон қозғалыс теңдеуі:
2. Атомаралық әрекеттесу үшін Леннард-Джонс теңдеуі:

FEA нәтижелері ҚООЭ құрылымындағы ең жоғары термомеханикалық кернеулердің аймақтарын анықтауға мүмкіндік берді, ал MD әдістері негізгі атомдық деградация механизмдерін ашты. Осы әдістерді қолдану ҚООЭ құрылымдық тұрақтылығы туралы кешенді түсінік алуға және олардың ұзақ мерзімді жұмыс істеуін арттыру жолдарын анықтауға мүмкіндік берді.

Нәтижелер және талқылау

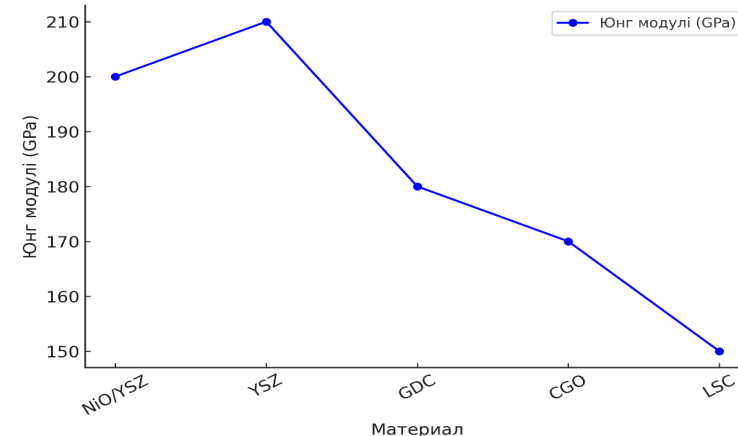
1-суреттегі график температура 100°C-қа өзгерген кезде ҚООЭ материалдарындағы термиялық кернеулерді көрсетеді. Ең үлкен кернеулер NiO/YSZ (2300 МПа) және YSZ (2200 МПа) материалдарында байқалады, себебі олардың қаттылығы жоғары (Юнг модулі 200–210 GPa) және ЖКК төмен. Бұл анод пен электролитте микро жарықтардың пайда болуына әкелуі мүмкін. CGO (2125 МПа) және GDC (2091 МПа) да жоғары кернеулерге ұшырайды, сондықтан қабаттардың қалыңдығын оңтайландыру қажет. LSC (2265 МПа) ең аз кернеу көрсетеді, себебі оның ЖКК жоғары және Юнг модулі төмен. Бұл катодтың жарылу қаупін азайтады. Критикалық аймақтар – YSZ/GDC және CGO/LSC интерфейстері, онда жылулық ұлғаю айырмашылығы қабаттардың ажырауына әкелуі мүмкін. Кернеулерді төмендету үшін градиенттік құрылымдарды қолдану, пленкалардың

қалыңдығын оңтайландыру және магнетрондық шашырату әдісімен тұндыру параметрлерін бақылау ұсынылады.



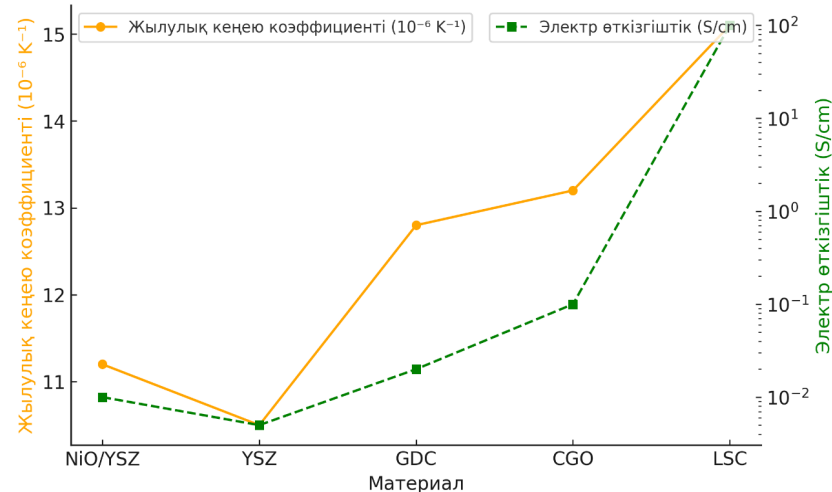
1-сурет – Қатты оксидті отын элементтерінің көпқабатты құрылымындағы термиялық кернеулерді бағалау

2-суреттегі график ҚООЭ материалдарының қаттылығын Юнг модулі (E) арқылы көрсетеді, ол GPa түрінде өрнектелген. YSZ (210 GPa) және NiO/YSZ (200 GPa) ең жоғары қаттылыққа ие. Бұл оларды механикалық тұрғыдан берік етеді, бірақ термиялық кернеулерге төзімділігін төмендетеді. CGO (170 GPa) және GDC (180 GPa) орташа қаттылыққа ие, бұл олардың басқа қабаттармен механикалық үйлесімділігін жақсартады. LSC (150 GPa) – ең жұмсақ материал, бұл термоциклдеу кезінде катодтың жарылу қаупін азайтады. Материалдардың қаттылығы ҚООЭ-нің механикалық тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді. Қабаттардың оңтайлы үйлесімі және тұндыру шарттарын бақылау механикалық кернеулерді барынша азайтуға көмектеседі.



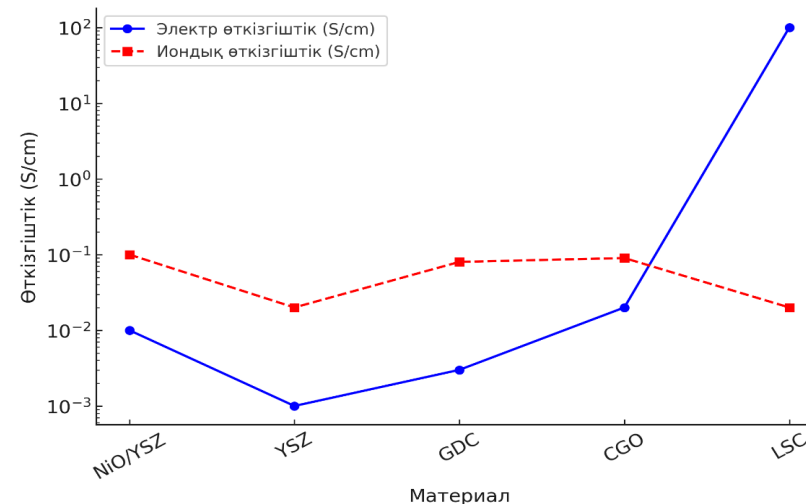
2-сурет – Қатты оксидті отын элементтері материалдары үшін Юнг модулі

ЖКК талдау көрсеткендей, ҚООЭ көпқабатты құрылымындағы материалдардың ЖКК мәндері (10^{-6} K^{-1}) әртүрлі, бұл қыздыру кезінде механикалық кернеулердің пайда болуына әкелуі мүмкін (3-сурет). LSC (15.1) ең жоғары ЖКК мәніне ие, бұл жоғары температурада жарықтардың пайда болуына себеп болуы мүмкін. YSZ (10.5) және GDC (12.3) бір-біріне жақын мәндерге ие, бұл электролиттің жақсы үйлесімділігін қамтамасыз етеді. CGO (12.5) барьерлік қабат ретінде қолданылады және қабаттар арасындағы механикалық кернеуді азайтуға көмектеседі. Материалдардың электрөткізгіштігі де айтарлықтай өзгереді. LSC (100 S/cm) – жоғары өткізгіштікке ие катодтық материал, бұл оның электрохимиялық сипаттамаларын жақсартады. NiO/YSZ (0.01 S/cm) – анодтың өткізгіштігі айтарлықтай төмен, бірақ қалпына келтірілген Ni/YSZ фазасында жақсарады. Электролиттер (YSZ – 0.001 S/cm, GDC – 0.002 S/cm, CGO – 0.005 S/cm) төмен электрондық өткізгіштікке ие, бірақ O^{2-} иондарының тасымалдануын қамтамасыз етеді. ЖКК мен электрөткізгіштік айырмашылығы қабаттардың қалыңдығын оңтайландыру және жұмыс температуралық режимін реттеу қажеттігін көрсетеді. Бұл термомеханикалық кернеулерді азайтуға және ҚООЭ-нің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді.



3-сурет – Қатты оксидті отын элементі материалдарының жылулық кеңею коэффициенттері және электр өткізгіштігі

Модельдеу нәтижелері көрсеткендей, ең жоғары электрондық өткізгіштік катодтық материалда $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_3$ (LSC) (100 S/cm) байқалады, бұл оны электрондардың тиімді өткізгіші етеді және зарядтың тез берілуін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, YSZ және GDC өте төмен электрондық өткізгіштікке ие ($\leq 0.002 \text{ S/cm}$), бұл олардың оқшаулағыш қасиетін растайды және материалдарды тек иондық тасымалдау үшін қолданудың қажеттілігін көрсетеді. Ең жоғары иондық өткізгіштік CGO (0.2 S/cm) және GDC (0.15 S/cm) материалдарында тіркелді, бұл олардың оттегі иондарын тасымалдаудағы маңызды ролін түсіндіреді және оларды электролиттің көпқабатты құрылымында пайдаланудың негізділігін көрсетеді. YSZ (0.02 S/cm) айтарлықтай төмен иондық өткізгіштікке ие, бұл оны төмен температураларда азырақ тиімді етеді (4-сурет). Осылайша, YSZ/GDC/CGO құрылымы электролит ретінде қолданылғанда ҚООЭ жұмыс температуралық шегін төмендетуге мүмкіндік береді, себебі ол жоғары иондық өткізгіштікті қамтамасыз етеді. Алайда, бұл материалдардың механикалық үйлесімділігі мен термоциклдеуге төзімділігіне қосымша талдау қажет.



4-сурет – Қатты оксидті отын элементі материалдарының электрондық және иондық өткізгіштігі

Өткізілген модельдеу нәтижесінде көпқабатты құрылымды ҚООЭ ұяшығының әр қабатының негізгі деградация механизмдері анықталды, соның ішінде NiO/YSZ (анод), YSZ/GDC (екі қабатты электролит), CGO (барьерлік қабат) және LSC (катод). Графикалық талдау механикалық, химиялық және термиялық деградацияның әр материалға салыстырмалы үлесін көрсетті (5-сурет).

1. NiO/YSZ анодының деградациясы

Механикалық деградация (40%): негізгі фактор — кеуекті құрылымның жарылуы және жұмыс ортасында $\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$ қалпына келуі кезінде никель түйіршіктерінің ұлғаюы. Бұл электр өткізгіштіктің нашарлауына және анодтың механикалық тұрақсыздығына әкеледі.

Химиялық деградация (30%): жоғары температура мен оттегі атмосферасының әсерінен Ni тотығуы каталитикалық белсенділіктің төмендеуіне әкеледі.

Термиялық деградация (30%): Ni мен YSZ арасындағы ЖКК сәйкессіздігі термоциклдеу кезінде термиялық кернеулердің жиналуын тудырады.

2. YSZ/GDC электролитінің деградациясы

Механикалық деградация (50%): YSZ құрылымындағы негізгі бұзылу механизмі — термоциклдеу кезінде жарықшақтардың түзілуі. Юнг модулі

(210 GPa) жоғары болғандықтан, ЖКК сәйкес келмеуі күшті кернеулерге әкеледі.

Химиялық деградация (25%): CGO-дан катион диффузиясы және LSC катодымен химиялық өзара әрекеттесу нәтижесінде орын алады.

Термиялық деградация (25%): ұзақ мерзімді пайдалану кезінде YSZ-дағы оттегі вакансияларының жиналуы оның иондық өткізгіштігін төмендетеді.

3. CGO барьерлік қабатының деградациясы

Механикалық деградация (25%): CGO көрші қабаттармен CTE сәйкестігі жақсы болғандықтан, механикалық деградациясы аз.

Химиялық деградация (50%): негізгі бұзылу механизмі — LSC катодынан Sr диффузиясы, бұл SrZrO_3 сияқты оқшаулаушы фазалардың түзілуіне және өткізгіштіктің нашарлауына әкеледі.

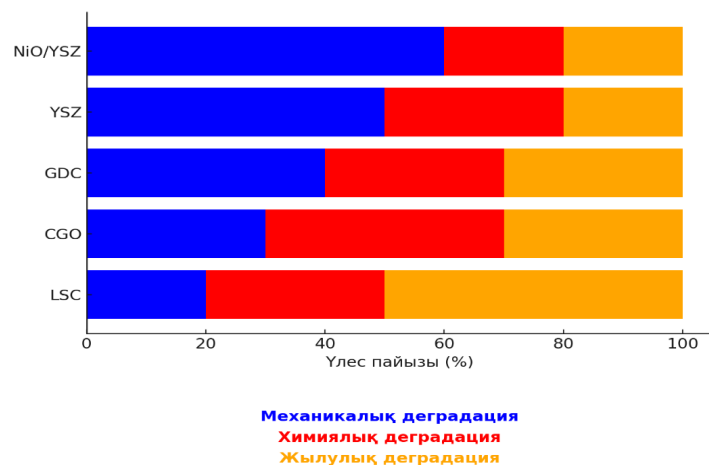
Термиялық деградация (25%): жоғары температурада құрылым әлсіреп, қабаттың тығыздығы төмендейді.

4. LSC катодының деградациясы

Механикалық деградация (20%): LSC материалы жақсы пластикалық қасиеттерге ие, бірақ Co түйіршіктерінің өсуі құрылымда кернеулер тудыруы мүмкін.

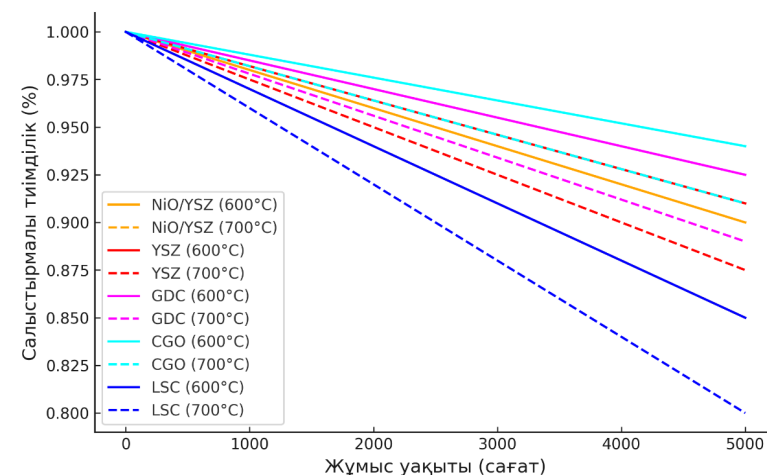
Химиялық деградация (60%): негізгі бұзылу механизмі — SrZrO_3 сияқты екіншілік фазалардың түзілуі және оттегі вакансияларының жоғалуынан электрондық өткізгіштіктің төмендеуі.

Термиялық деградация (20%): ұзақ уақыт пайдалану кезінде құрылымдық өзгерістер орын алып, беттік реакциялардың белсенділігі төмендейді.



5-сурет – ҚООЭ материалдарындағы деградация механизмдері

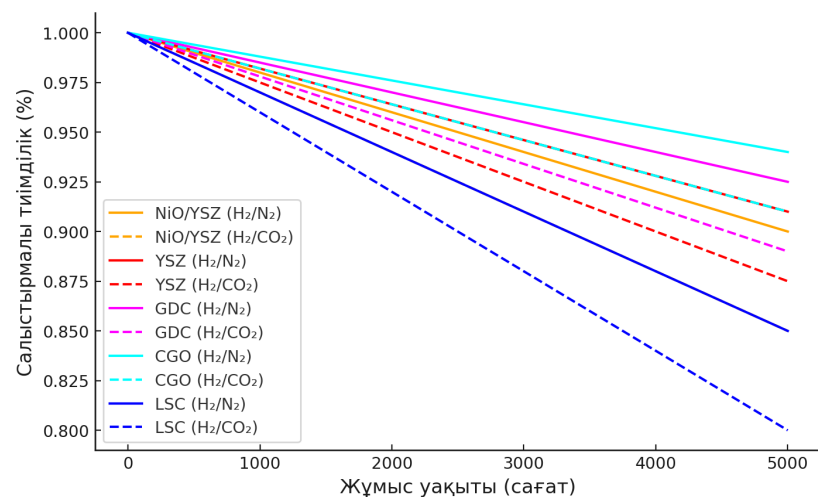
6-суретте 5000 сағат жұмыс істегеннен кейін 600°C және 700°C температураларында оңтайландырылған ҚООЭ құрылымының әрекетін модельдеуі көрсетілген. 600°C температурада құрылымның ұзақ мерзімділігі артады – 5000 сағаттан кейін тиімділік 95-97% деңгейінде сақталады. 700°C-та деградация 600°C-қа қарағанда жылдамырақ жүреді, бірақ 800°C-қа қарағанда баяу – тиімділік 92-95% құрайды. Анод пен электролит 600°C-та тұрақтылығын жақсы сақтайды, өйткені термиялық және химиялық процестер баяу жүреді. Катод (PBSC) 600-700°C температурада да деградацияға осал болып қала береді, бірақ оның ұзақ мерзімділігі стандартты LSC-қа қарағанда әлдеқайда жоғары. Жұмыс температурасының 600-700°C-қа дейін төмендеуі ҚООЭ-нің қызмет ету мерзімін әсіресе механикалық және химиялық ақаулардың азаюы есебінен айтарлықтай ұзартады. Оңтайландырылған құрылым 600°C-та да жақсы тұрақтылық көрсетеді, бұл ҚООЭ-нің орташа температура аймағында жұмыс істеу мүмкіндігін ашады. 600°C температурада электролиттің (YSZ/GDC/Er-GDC) иондық өткізгіштігіне ерекше назар аудару қажет, өйткені температура төмендеген сайын иондық өткізгіштік төмендейді.



6-сурет – 600°C және 700°C температурада оңтайландырылған қатты оксидті отын элементі құрылымының әрекеті

7-суретте 700°C температурада 5000 сағат бойы газ құрамының (H_2/N_2 және H_2/CO_2) ҚООЭ-нің ұзақ мерзімділігіне әсерін модельдеу көрсетілген. H_2/N_2 (80/20) жоғары тұрақтылықты қамтамасыз етеді, өйткені инертті

азот материалдардың деградациясына ықпал етпейді. 5000 сағаттан кейін тиімділік 93-96% деңгейінде сақталады. H_2/CO_2 (80/20) деградацияны тездетеді, өйткені CO_2 электролит және катод материалдарымен әрекеттесіп, карбонат фазаларын түзуге әкелуі мүмкін. Бұл жағдайда тиімділік 85-92%-ға дейін төмендейді. Катод (PBSC) және тосқауыл қабаты (CGO) CO_2 -ға ең сезімтал болып табылады, өйткені катод құрамындағы Sr және Ba CO_2 -мен әрекеттесіп, карбонаттардың түзілуіне әкеледі, бұл өткізгіштіктің төмендеуіне себеп болады. Анод пен электролит газ құрамының өзгеруіне аз сезімтал, өйткені олардың деградациясы негізінен механикалық процестермен байланысты. Нәтижесінде H_2/N_2 атмосферасында ҚООЭ жоғары тұрақтылық пен баяу деградация көрсетеді, бұл осы газды пайдалану үшін қолайлы етеді. CO_2 болуы катод пен тосқауыл қабатының деградациясын тездетеді, бұл осы қабаттарды қосымша қорғау қажеттілігін растайды. H_2/CO_2 ортасында ұзақ мерзімділікті арттыру жолдары ретінде көміртекке төзімділікті күшейту үшін CGO-ны легирлеу және PBSC-ті CO_2 -ға аз сезімтал катод материалдарына ауыстыру (мысалы, Pr_2NiO_4 немесе SrFeCoO_x) қажет.



7-сурет – 700°C температурада қатты оксидті отын элемент төзімділігіне газ құрамының әсері

Қаржыландыру туралы ақпарат

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігі, Ғылым комитетінің жобаларды гранттық қаржыландыру шеңберінде жазылды (грант № AP27510681).

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде ҚООЭ көпқабатты құрылымының сандық моделі әзірленіп, іске асырылды. Бұл модель ҚООЭ құрамдастарының механикалық, жылулық және электрлік сипаттамаларын бағалауға мүмкіндік береді. Ақырғы элементтер әдісі (FEA) мен молекулалық-динамикалық модельдеу (MD) механикалық тұрақтылық пен құрылымның ұзақ мерзімділігін анықтайтын негізгі факторларды анықтауға мүмкіндік берді. Термомеханикалық кернеулерді талдау электролиттің (YSZ/GDC) және тосқауыл қабатының (CGO) интерфейстерінде максималды кернеулер жиналатынын көрсетті, бұл ЖКК айырмашылығына байланысты. Ең үлкен механикалық жүктемелер анод (NiO/YSZ) және электролит (YSZ) аймақтарына түседі, бұл микрожарықтар мен құрылымдық зақымдану қаупін арттырады. Катод материалы (LSC) төмен Юнг модулі мен жоғары ЖКК байланысты неғұрлым қолайлы сипаттамалар көрсетті. Электрохимиялық қасиеттерді модельдеу көпқабатты YSZ/GDC/CGO құрылымының иондық өткізгіштік пен механикалық тұрақтылық арасындағы оңтайлы теңгерімді қамтамасыз ететінін растады, бұл ҚООЭ-ның төмен температураларда (600–700°C) жұмыс істеуі үшін аса маңызды. Жұмыс ортасындағы CO_2 -нің болуы катод пен тосқауыл қабатының химиялық деградациясын едәуір жылдамдататыны анықталды, ал H_2/N_2 атмосферасы құрылымның тұрақтылығын сақтауға ықпал етеді. Осылайша, ҚООЭ-ның көпқабатты құрылымын оңтайландыру кезінде механикалық және жылулық сипаттамалармен қатар, жұмыс ортасының құрамдастардың ұзақ мерзімділігіне әсерін ескеру қажет.

ҚООЭ-ның тұрақтылығын одан әрі арттыру үшін электролит пен катодтың градиенттік құрылымдарын қолдану, сондай-ақ химиялық деградацияны барынша азайту мақсатында материалдарды легирлеу ұсынылады. Алдағы зерттеулер алынған нәтижелерді эксперименталды түрде растауға, жоғары тұрақтылыққа ие жаңа материалдарды әзірлеуге және термомеханикалық кернеулерді төмендету үшін жұқа қабатты жабындарды тұндыру әдістерін жетілдіруге бағытталатын болады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Singh, M., Zappa, D., Comini, E. Solid oxide fuel cell: Decade of progress, future perspectives and challenges // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46, No. 54. – P. 27643–27674. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.06.184.

2 Golkhatmi, S. Z., Asghar, M. I., Lund, P. D. A review on solid oxide fuel cell durability: Latest progress, mechanisms, and study tools // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 161. – P. 112339. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112339.

3 Xu, Q., Guo, Z., Xia, L., He, Q., Li, Z., Bello, I. T., A comprehensive review of solid oxide fuel cells operating on various promising alternative fuels // Energy Conversion and Management. – 2022. – Vol. 253. – P. 115175. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.115175.

4 Mendonça, C., Ferreira, A., Santos, D.M. Towards the commercialization of solid oxide fuel cells: Recent advances in materials and integration strategies // Fuels. – 2021. – Vol. 2, No. 4. – P. 393–419. DOI: 10.3390/fuels2040023.

5 Fallah Vostakola, M., Amini Horri, B. Progress in material development for low-temperature solid oxide fuel cells: A review // Energies. – 2021. – Vol. 14, No. 5. – P. 1280. DOI: 10.3390/en14051280.

6 Zhang, J., Ricote, S., Hendriksen, P. V., Chen, Y. Advanced materials for thin-film solid oxide fuel cells: Recent progress and challenges in boosting the device performance at low temperatures // Advanced Functional Materials. – 2022. – Vol. 32, No. 22. – P. 2111205. DOI: 10.1002/adfm.202111205.

7 Ahmad, M. Z., Ahmad, S. H., Chen, R. S., Ismail, A. F., Hazan, R., Baharuddin, N. A. Review on recent advancement in cathode material for lower and intermediate temperature solid oxide fuel cells application // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, No. 2. – P. 1103–1120. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.10.001.

8 Yan, Z., He, A., Hara, S., Shikazono, N. Design and optimization of functionally graded electrodes for solid oxide fuel cells (SOFCs) by mesoscale modeling // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, No. 37. – P. 16610–16625. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.03.123.

9 Miao, X. Y., Rizvandi, O. B., Navasa, M., Frandsen, H. L. Modelling of local mechanical failures in solid oxide cell stacks // Applied Energy. – 2021. – Vol. 293. – P. 116901. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116901.

10 Xiang, Y., Da, Y., Zhong, Z., Shikazono, N., Jiao, Z. Thermo-mechanical stress analyses of solid oxide fuel cell anode based on three-dimensional microstructure reconstruction // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – Vol. 45, No. 38. – P. 19791–19800. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.05.254.

11 Zhao, X., Xiao, L., Pan, B., Yuan, J. Modeling and prediction of structural/thermophysical properties of sintered NiO/YSZ anode for SOFC by molecular dynamics method // Journal of Alloys and Compounds. – 2023. – Vol. 958. – P. 170502. DOI: 10.1016/j.jallcom.2023.170502.

***С. Опахай¹, Ж. Ермекбай², М. М. Кубенова³,**

Ж. С. Зейнулла⁴, Б. Мәуей⁵

1,3,4,5 Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

2ТОО «Advanced Research and Technology group»,

Республика Казахстан, г. Астана

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕГРАДАЦИИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПУТЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данной работе были смоделированы термомеханические напряжения, коэффициенты теплового расширения (КТР), электропроводность и механизмы деградации в многослойной структуре твердооксидного топливного элемента (ТОТЭ). Катодный материал LSC (2265 МПа) показал наименьшее напряжение вследствие высокого КТР ($15,1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) и низкого модуля Юнга (150 ГПа), что снижает риск образования трещин. Анализ проводимости подтвердил, что LSC обладает самой высокой электронной проводимостью (100 См/см), что делает его эффективным катодным материалом, тогда как электролиты (YSZ, GDC, CGO) обладают низкой электронной проводимостью, но обеспечивают транспорт ионов кислорода. Наибольшая ионная проводимость зафиксирована у CGO (0,2 См/см) и GDC (0,15 См/см), что оправдывает их использование в структуре многослойного электролита. Исследование механизмов деградации показало, что анод NiO/YSZ подвергается механической (40%), химической (30%) и термической (30%) деградации. Электролит YSZ/GDC деградировал в основном из-за механического разрушения (50%) и накопления кислородных вакансий (25%), что снижало его ионную проводимость. Барьерный слой CGO был склонен к химической деградации (50%) из-за взаимодействия со Sr, тогда как катод LSC демонстрировал высокую химическую деградацию (60%) из-за образования SrZrO₃ и потери электронной проводимости. Результаты моделирования длительной эксплуатации ТОТЭ при пониженных температурах

(600–700°C) показали, что конструкция сохраняет эффективность 95–97% при 600°C и 92–95% при 700°C. Оптимизированная структура с электролитом YSZ/GDC/CGO показала улучшенные характеристики при пониженных температурах, что позволило расширить область применения в среднем диапазоне ТОТЭ (600–700°C). Анализ влияния газового состава показал, что атмосфера H_2/N_2 обеспечивает наибольшую долговечность КОЕ (93–96 % после 5000 часов работы), а наличие CO_2 ускоряет деградацию катода и барьерного слоя (85–92 %).

Ключевые слова: термомеханические напряжения, коэффициент термического расширения (КТР), электропроводность, деградация материалов, метод конечных элементов (МКЭ), молекулярно-динамическое моделирование (МД), многослойная структура.

*S. Opakhai¹, Zh. Yermekbay², M. M. Kubenova³,

Zh. S. Zeynulla⁴, B. Mauey⁵

1,3,4,5L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana

2 «Advanced Research and Technology group» LLP,

Republic of Kazakhstan, Astana

STUDY OF THERMOMECHANICAL STRESSES AND DEGRADATION OF SOLID OXIDE FUEL CELLS BY NUMERICAL SIMULATION

In this work, thermomechanical stresses, coefficients of thermal expansion (CTE), electrical conductivity and degradation mechanisms in a multilayer structure of a solid oxide fuel cell (SOFC) were modeled. The cathode material LSC (2265 MPa) showed the lowest stress due to its high CTE ($15.1 \times 10^{-6} K^{-1}$) and low Young's modulus (150 GPa), which reduces the risk of cracking. Conductivity analysis confirmed that LSC has the highest electronic conductivity (100 S/cm), which makes it an effective cathode material, while electrolytes (YSZ, GDC, CGO) have low electronic conductivity but provide oxygen ion transport. The highest ionic conductivity was recorded for CGO (0.2 S/cm) and GDC (0.15 S/cm), which justifies their use in the multilayer electrolyte structure. The study of the degradation mechanisms showed that the NiO/YSZ anode was subject to mechanical (40%), chemical (30%) and thermal (30%) degradation. The YSZ/GDC electrolyte degraded mainly due to mechanical failure (50%) and accumulation of oxygen vacancies (25%),

which reduced its ionic conductivity. The CGO barrier layer was prone to chemical degradation (50%) due to interaction with Sr, while the LSC cathode exhibited high chemical degradation (60%) due to the formation of $SrZrO_3$ and loss of electronic conductivity. The results of long-term SOFC operation simulations at low temperatures (600–700 °C) showed that the design maintains an efficiency of 95–97% at 600 °C and 92–95% at 700 °C. The optimized structure with YSZ/GDC/CGO electrolyte showed improved performance at low temperatures, which allowed expanding the scope of application in the mid-range of SOFCs (600–700°C). Analysis of the effect of gas composition showed that the H_2/N_2 atmosphere provides the highest CFU durability (93–96% after 5000 hours of operation), and the presence of CO_2 accelerates the degradation of the cathode and barrier layer (85–92%).

Keywords: thermomechanical stresses, coefficient of thermal expansion (CTE), electrical conductivity, material degradation, finite element method (FEM), molecular dynamics modeling (MD), multilayer structure.

***А. Ж. Сатыбалдин¹, К. М. Шаймерденова², М. И. Байкенов³, *Б. Б. Жандыбаев⁴, С. Тянах⁵.**

^{1,2,3,4,5}Карагандинский исследовательский университет

имени академика Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5343-4695>

*e-mail: satybaldin.1975@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НАНОКАТАЛИЗАТОРА И ВКЭГР НА ВЫХОД ФРАКЦИЙ ИЗ НЕФТЕШЛАМА

Проведено исследование переработки нефтешламов в легкие и средние фракции с использованием высоковольтного короткоимпульсного электрогидравлического разряда (ВКЭГР). Актуальность работы обусловлена растущими объемами нефтешламов, представляющих серьезную экологическую проблему и трудности при утилизации традиционными методами. В условиях переработки нефтешламов ВКЭГР позволяет эффективно инициировать термокаталитические процессы без необходимости внешнего нагрева и длительной экспозиции. Такая технология обеспечивает высокую скорость протекания реакций, снижение энергозатрат и возможность целенаправленного влияния на фракционный состав конечного продукта. Совмещение ВКЭГР с каталитической обработкой открывает новые горизонты в области утилизации углеводородных отходов и получения товарных топливных компонентов. Изучено влияние технологических параметров и каталитических добавок на эффективность процесса. Оптимизированы условия обработки, включая расстояние между воздушными электродами, ёмкость конденсатора батареи и длительность импульсного воздействия, обеспечивающие высокий выход легкой и средней фракции. Особое внимание уделено выбору катализатора: наибольшую активность продемонстрировала добавка на основе бентонита, с соединением никеля. Данный катализатор способствовал улучшению деструкции

тяжёлых компонентов нефтешлама, увеличивая выход бензиновой и дизельной фракций. Полученные результаты подтверждают перспективность метода ВКЭГР в сочетании с каталитическими добавками для глубокой переработки нефтешламов. Исследование открывает возможности для более эффективной и экологически безопасной утилизации нефтяных отходов с получением ценных углеводородных продуктов, что особенно важно в условиях ужесточения природоохранных требований.

Ключевые слова: нефтешлам, электрогидравлические импульсы, бентонит, катализ, переработка, углеводородные фракции.

Введение

Утилизация нефтешламов продолжает оставаться серьёзной задачей, особенно в контексте повышения энергоэффективности и экологической безопасности процессов в нефтеперерабатывающей отрасли. В зонах хранения и транспортировки нефти накапливаются значительные объёмы высоковязких отходов, содержащих тяжёлые углеводороды, воду, минеральные включения и твёрдые примеси. С точки зрения теплофизических характеристик, такие системы представляют собой многокомпонентные дисперсные среды со сложной термодинамикой фазовых переходов и теплообмена [1; 2].

Традиционные технологии обработки, такие как термическое обезвреживание или биологическая ремедиация, зачастую не обеспечивают необходимой глубины переработки или требуют значительных энергетических затрат, что ставит под сомнение их практическую применимость в промышленных масштабах [3; 4]. В связи с этим возрастает интерес к новым энергонасыщенным методам, обеспечивающим интенсификацию тепломассообменных процессов и глубокую трансформацию углеводородных компонентов нефтешлама [5; 6].

Одним из перспективных направлений является применение высоковольтного короткоимпульсного электрогидравлического разряда (ВКЭГР), создающего ударные волны в жидкой фазе посредством высоковольтного импульса. Такое воздействие способствует разрушению тяжёлых молекулярных структур и инициирует химические изменения высокомолекулярных структур [7]. Эффективность этого метода может быть увеличена за счёт введения катализатора, способного активировать процессы деструкции и направлять реакцию на образование лёгких фракций. За последние годы наблюдается активное развитие исследований, сосредоточенных на воздействии различных форм энергии на структуру и свойства вещества [8; 9].

Особое внимание уделяется так называемым экстремальным воздействиям, включающим радиационные, акустические, электромагнитные, температурные и механические факторы. Эти воздействия сочетают в себе целый комплекс энергетических влияний: от ударных волн и ультразвука до широкого спектра электромагнитного излучения. Комплексность и кратковременность воздействия обеспечивают уникальные условия для активации физических и химических процессов в обрабатываемых средах, открывая путь к получению новых функциональных свойств материалов. Подобные эффекты и их применение в науке и технологии подробно рассматриваются в ряде современных работ [10]

В предыдущих исследованиях [11] для этой цели использовались ферросферы и другие неорганические катализаторы. В настоящей работе в качестве катализатора применяется природный бентонит — широко распространённый материал с развитой поверхностью и выраженными сорбционными свойствами. Предлагаемые эксперименты направлены на оценку влияния основных параметров ВКЭГР-обработки с участием бентонита на выход целевых углеводородных фракций. Данная работа является частью комплексного исследования процессов переработки нефтешламов в рамках равновесного кинетического анализа.

Материалы и методы

В качестве сырья использовался нефтешлам, образующийся на внутренней поверхности нефтепровода Атасу — Алашанькоу. Электрогидравлическая обработка проводилась на лабораторной установке импульсного действия, обеспечивающей разряд между погружёнными в жидкую среду электродами. В серии проведённых экспериментов варьировались ключевые параметры режима обработки. Ёмкость конденсаторной батареи составляла от 0,125 до 0,75 мкФ. Расстояние между воздушными электродами устанавливалось в пределах от 7 до 10 мм, а продолжительность воздействия - от 5 до 8 минут. Дополнительно в систему вводился бентонитовый катализатор в различных концентрациях: 0,0%, 0,5%, 1,0% и 1,5%. Бентонит с нанесённым никелем вводился в нефтешлам в виде измельчённого порошка до начала обработки. Фракционный состав определяли методом термической перегонки. Основным показателем эффективности служил процентный выход лёгких и средних фракций от массы исходного нефтешлама.

Все эксперименты проводились не менее трёх раз с целью повышения надёжности полученных результатов. Средние значения фиксировались в таблицах и визуализировались в виде графиков в разделе с результатами.

Электрогидравлический эффект — это явление, сопровождаемое образованием разряда в жидкой среде, которое характеризуется

формированием плазменного канала, ударной волны, а также зоны с высокой температурой и давлением. Эти импульсные процессы приводят к разрыву молекулярных связей в органических соединениях, инициации радикальных реакций и фазовым превращениям в составе нефтяного шлама. Кратковременное, но экстремальное воздействие нарушает равновесие в многокомпонентной системе и смещает ход химических процессов в термодинамически более стабильную сторону — к образованию лёгких и средних углеводородных фракций. Такие процессы протекают в неустойчивых условиях, поэтому при их описании необходимо учитывать квазистатические состояния.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментов исследовалось влияние основных параметров электрогидравлической установки на эффективность переработки нефтешлама с использованием бентонитового катализатора с нанесённым никелем. В качестве целевого показателя рассматривался массовый процентный выход лёгких и средних углеводородных фракций от общей массы исходного сырья.

В таблице 1 приведены различные факторы ВКЭГР-установки, влияющие на выход целевых продуктов.

Таблица 1. Параметры ВКЭГР-обработки при переработке нефтешлама

X1 (гр.)	X2(мкФ)	X3(мин.)	X4(мм)
0	0,125	5	7
0,5	0,25	7	10
1	0,5	8	8
1,5	0,75	6	9

Примечание

Переменная X1 обозначает количество добавляемого катализатора (г), X2 — ёмкость конденсаторной батареи (мкФ), X3 — время обработки (мин) электрогидравлическими разрядами, X4 — расстояние между воздушными электродами (мм). В ходе эксперимента варьировались значения указанных параметров для анализа их влияния на эффективность процесса.

Ниже в табличной форме представлена связь между условиями обработки и полученным выходом лёгких и средних фракций.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента и влияние различных факторов на выход легкой и средней фракции после обработки.

№	X1(гр.)	X2(мкФ)	X3(мин.)	X4(мм)	У _{вых} %
1	0	0,125	5	7	7,7
2	0,5	0,25	6	8	22,1
3	1	0,5	7	9	21,9
4	1,5	0,75	8	10	10,34
5	0	0,25	7	10	26,45
6	0,5	0,125	8	9	35,2
7	1	0,75	5	8	21,1
8	1,5	0,5	6	7	26,2
9	0	0,5	8	8	20,1
10	0,5	0,75	7	7	19,3
11	1	0,125	6	10	28,6
12	1,5	0,25	5	9	27,33
13	0	0,75	6	9	21,66
14	0,5	0,5	5	10	18,5
15	1	0,25	8	7	22,22
16	1,5	0,125	7	8	19,2

На основе приведённой выше матрицы планирования эксперимента были построены гистограммы, отражающие влияние различных факторов на выход лёгкой и средней фракций. На рисунке 1 показано влияние продолжительности обработки и расстояния между воздушными электродами на выход указанных фракций из нефтяного шлама, образовавшегося на внутренней поверхности нефтепровода Атасу - Алашанькоу.

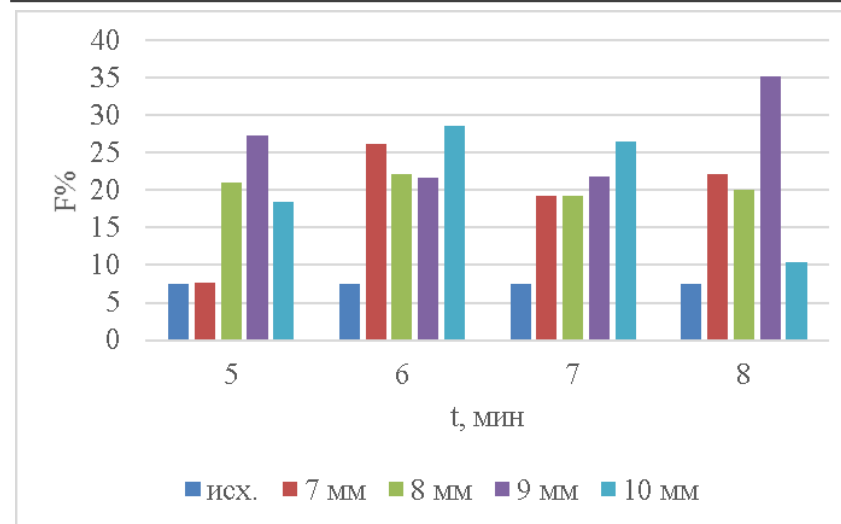


Рисунок 1 – Влияние времени обработки и расстояния между электродами на выход фракций

Из рисунка 1 видно, что для максимального выхода легкой и средней фракции время обработки составляет 8 минут и расстояние между воздушными электродами 9 мм — при этих условиях выход фракций достигает 35,2 %. Такая эффективность объясняется тем, что увеличение времени обработки способствует накоплению эффекта разрушения молекулярных связей, а оптимальное межэлектродное расстояние обеспечивает эффективное формирование плазменного канала и передачу энергии в реакционную зону.

На рисунке 2 ниже также видно, что наибольший выход легкой и средней фракций достигается при расстоянии между электродами 9 мм, особенно при времени обработки 8 минут.

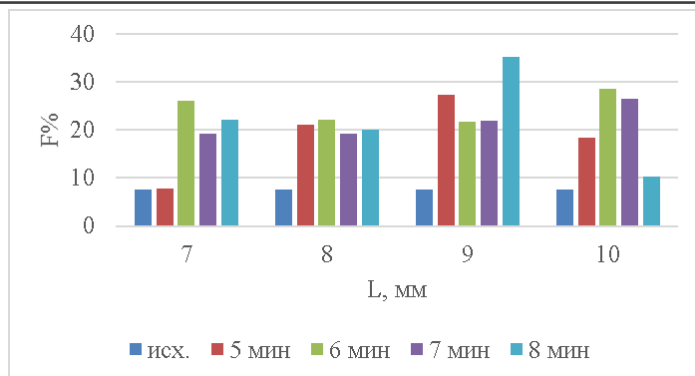


Рисунок 2 – Влияние расстояния между электродами при постоянном времени обработки

При уменьшении или увеличении этого расстояния прослеживается снижение выхода, что указывает на существование оптимальной геометрии для устойчивого электрогидравлического разряда. При слишком малом расстоянии между электродами ударная сила ослабевает, тогда как при слишком большом расстоянии происходит рассеивание энергии и нарушается стабильность импульса.

Следующий рисунок демонстрирует что, максимальный выход фракций наблюдается при минимальной ёмкости конденсатора батареи — 0.125 мкФ, особенно при 8-минутной обработке.

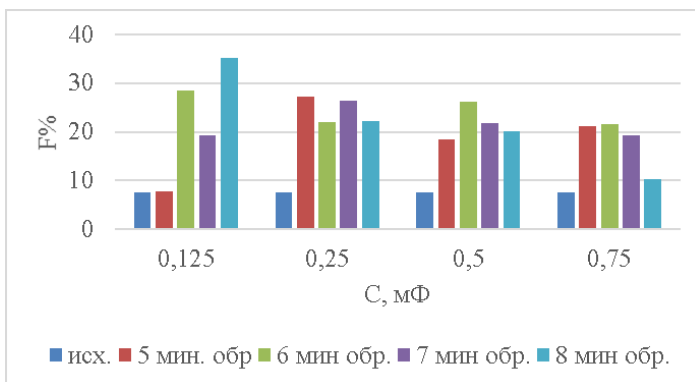


Рисунок 3 – Влияние ёмкости конденсатора на выход фракций

Такая комбинация обеспечивает высокоинтенсивный, кратковременный импульс, способный разрушать сложные углеводородные структуры. По мере увеличения ёмкости конденсатора батареи наблюдается снижение выхода, что объясняется более мягким характером разряда и уменьшением предельной энергии, передаваемой в реакционную зону.

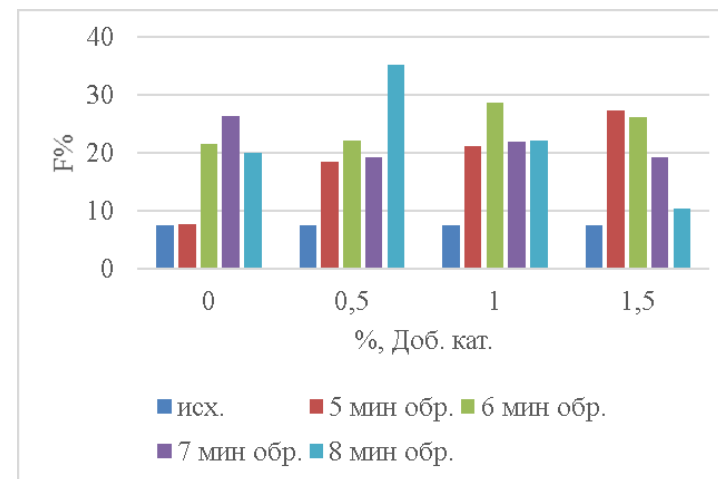


Рисунок 4 – Влияние количества бентонитового катализатора нанесенным никелем на выход легкой и средней фракций

Результаты показали, что максимальный выход фракций достигается при содержании бентонита 0,5 %, особенно при 8-минутной обработке. Дальнейшее увеличение количества катализатора приводит к снижению эффективности, что, вероятно, связано с сорбцией активных компонентов или снижением подвижности органической фазы. Это подчёркивает важность точного определения оптимального количества катализатора при реализации данной технологии.

Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования (Грант № AP23483556).

Выводы

Проведённые эксперименты подтвердили эффективность метода ВКЭГР нефтешлама с применением нанесённого никелем бентонитового катализатора. Установлено, что выход целевых продуктов существенно зависит от параметров обработки - напряжения ($V_{кВ}$), расстояния между электродами (L мм), ёмкости конденсатора (C мкФ), времени воздействия

(t мин) и концентрации добавленного катализатора (%). Наибольший выход - до 35,2% - был получен при следующих условиях: расстояние между электродами 9 мм, ёмкость 0,125 мкФ, концентрация бентонитового катализатора нанесенным никелем 0,5%, время продолжительности электрогидроэрозийной обработки 8 минут. Показано, что чрезмерное увеличение или недостаток отдельных параметров приводит к снижению эффективности переработки.

Полученные данные являются промежуточным этапом комплексного исследования, направленного на построение равновесной кинетической модели процессов переработки нефтешлама с учётом импульсного энергетического воздействия и влияния катализаторов. Дальнейшие исследования будут включать количественное моделирование реакций и анализ механизмов фазовых превращений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Сатыбалдин, А. Ж. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Утилизация нефтяных донных отложений в резервуарах с помощью электрогидравлического эффекта» № 3282-Ф-21. 2021г.

2 Минигазимов, И.Н., Файзуллин, А.Ф. Пути решения экологических проблем на предприятиях транспорта нефти и нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия – 2005: материалы междунаро. науч.-практ. конф./ ГУПИНХПРБ. Уфа.: 2005. С.350 –351.

3 Хайдаров, Л. Р., Кудратова, С. К. Разработка техники и технологии утилизации нефтяных отходов// Молодой ученый. - 2014. - № 11 (70). - С. 125-127.

4 Saitov, R.I., Abdeev, E.R., Khasanova, A.F., Abdeev, R.G., Rukomoynikov, A.A. Development of Energy-Efficient Equipment and Technology for Environmentally Friendly Microwave Processing of Oil Sludge. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958 (Online), Volume-9 Issue-4, April 2020

5 Satoshi Suganuma, Naonobu Katada. Innovation of catalytic technology for upgrading of crude oil in petroleum refinery. Fuel Processing Technology. Volume 208, November 2020, 106518. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106518>

6 Stebeleva, O.P., Minakov, A.V. Application of cavitation in oil processing: An overview of mechanisms and results of treatment // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6, No. 47. – Pp. 31411–31420. – <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05858>

7 Сатыбалдин, А. Ж., Байкенов, М. И., Жандыбаев, Б. Б., Сейтжан, Р.С., Бердибаев, Д. Н. Атасу-алашанькоу мұнай шламдарының реологиялық

мінездемелеріне ЖВҚИР-дың әсерін зерттеу//Вестник торайгыров университета. -2024. -№ 4. -С. 170-180.

8 Иванова, И.И. Цеолитные катализаторы: синтез, активация, катализ и дезактивация доклад на конференции. Международный симпозиум «Дифракционные методы в характеристике новых материалов». Даты проведения конференции: 31 мая - 2 июня 2017. <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/607587>

9 Доронин, В.П., Липин П.В., Потапенко, О.В., Сорокина, Т.П., Короткова, Н.В., Горденко, В.И., Перспективные разработки: катализаторы крекинга и добавки к ним. Катализ в промышленности, № 5, 2014.С. 82-87.

10 Жукова, Е. М. Воздействие высоковольтного электродгидравлического разряда на физико-химические свойства нефти и нефтепродуктов: дис. канд. хим. наук: 02.00.04 / Саратовский гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – Саратов, 2008. – 145 с.

11 Satybaldin, A.Zh., Zhakipbaev, B.Y., Tusipkhan, A., Baykenov, M.I., Khalikova, Z.S., Alpysova, G.K. The influence of a high-voltage discharge on the oil bottom sediments formed at the oil storage facilities of the Atasu-Alashankou station // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – vol. 18, №3 (37). – P. 71-75.

REFERENCES

1 Satybaldin, A. Zh. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme GF «Utilizaciya neftyany'x donny'x otlozhenij v rezervuarax s pomoshh'yu e'lektrogidravlicheskogo e'ffekta» № 3282-Ф-21. [Report on the research work on the topic of the GF «Utilization of oil bottom sediments in reservoirs using the electrohydraulic effect»] 2021.

2 Minigazimov, I. N., Fayzullin, A. F. Puti resheniya e'kologicheskix problem na predpriyatiyax transporta nefti i nefteproduktov [Ways to solve environmental problems at oil and petroleum products transportation enterprises] // Oil refining and petrochemistry – 2005 : Materials of the international scientific and practical conf./ ГУП ИНХПРБ. Ufa. : 2005. – P. 350 –351.

3 Khaidarov, L. R., Kudratova, S. K. Razrabotka texniki i texnologii utilizacii neftyany'x otxodov [Development of equipment and technology for the disposal of oil waste] // A young scientist. – 2014. – № 11 (70). – P. 125–127.

4 Saitov, R.I., Abdeev, E.R., Khasanova, A.F., Abdeev, R.G., Rukomoynikov, A.A. Development of energy-efficient equipment and technology for environmentally friendly microwave processing of oil sludge // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2020. – Vol. 9, Issue 4. – ISSN 2249–8958.

5 Suganuma, S., Katada, N. Innovation of catalytic technology for upgrading of crude oil in petroleum refinery // Fuel Processing Technology. – 2020. – Vol. 208. – Article No. 106518. – <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106518>

6 Stebeleva, O.P., Minakov, A.V. Application of cavitation in oil processing: An overview of mechanisms and results of treatment // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6, No. 47. – Pp. 31411–31420. – <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05858>

7 Satybaldin, A. Zh., Baikenov, M. I., Zhandybaev, B. B., Seitzhan, R. S., Berdibaev, D. N. Atasu-Alashankou munai shlamdarynyn reologiyalyk minezdemelerine ZhVQIR-dyn aserin zertteu [Study of the Effect of EHDFI on the Rheological Characteristics of Atasu-Alashankou Oil Sludge]. Vestnik Toraigrov Universiteteta – 2024. – No. 4. – pp. 170–180.

8 Ivanova, I. I. Tseolitnye katalizatory: sintez, aktivatsiya, kataliz i deaktivatsiya [Zeolite Catalysts: Synthesis, Activation, Catalysis and Deactivation]. Mezhdunarodnyi simpozium “Difraktsionnye metody v kharakterizatsii novykh materialov” [International Symposium “Diffraction Methods in the Characterization of New Materials”], May 31 – June 2, 2017. Conference presentation.– URL: <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/607587>

9 Doronin, V. P., Lipin, P. V., Potapenko, O. V., Sorokina, T. P., Korotkova, N. V., Gordenko, V. I. Perspektivnye razrabotki: katalizatory krekinga i dobavki k nim [Promising Developments: Cracking Catalysts and Additives]. Kataliz v promyshlennosti – 2014 – No. 5 – pp. 82–87.

10 Zhukova, E. M. Vozdeistvie vysokovolt’nogo elektro-gidravlicheskogo razryada na fiziko-khimicheskie svoystva nefi i nefteproduktov [Effect of High-Voltage Electrohydraulic Discharge on the Physicochemical Properties of Oil and Petroleum Products]. Dissertation for the degree of Candidate of Chemical Sciences, specialty 02.00.04. Saratovskii gosudarstvennyi universitet im. N. G. Chernyshevskogo – Saratov, 2008 – 145 p.

11 Satybaldin, A. Zh., Zhakipbaev, B. Y., Tusipkhan, A., Khalikova, Z. S., Alpysova, G. K. The Influence of A High-Voltage Discharge on the Oil Bottom Sediments Formed at the Oil Storage Facilities of the Atasu-Alashankou // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. Vol. 18(3). – P. 71–75

***А. Ж. Сатыбалдин¹, К. М. Шаймерденова², М. И. Байкенов³,**

***Б. Б. Жандыбаев⁴, С. Тянах⁵.**

^{1,2,3,4,5} Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

НАНОКАТАЛИЗАТОР МЕН ЖВҚИР-ДІҢ МҰНАЙ ШЛАМЫНАН ФРАКЦИЯ ШЫҒУЫНА ӘСЕРІ

Мұнайшламдардың жеңіл және орта фракцияларға қайта өңдеу бойынша жоғары вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разрядты (ЖҚЭГР) қолдану арқылы зерттеу жүргізілді. Бұл жұмыстың өзектілігі мұнайшламының артуымен байланысты, өйткені олар күрделі экологиялық мәселе тудырады және дәстүрлі әдістермен жою қиындық тудырады. Мұнайшламдарды қайта өңдеу жағдайында ЖҚЭГР сыртқы жылытусыз және ұзақ әсерсіз термокаталитикалық процестерді тиімді түрде бастауға мүмкіндік береді. Мұндай технология реакциялардың жоғары жылдамдығын, энергия шығындарының төмендеуін және соңғы өнімнің фракциялық құрамына бағытталған әсер ету мүмкіндігін қамтамасыз етеді. ЖҚЭГР-ды каталитикалық өңдеумен біріктіру көмірсутек қалдықтарын кәдеге жарату және тауарлық отын компоненттерін алуда жаңа мүмкіндіктер ашады. Процесс тиімділігіне технологиялық параметрлер мен каталитикалық қоспалардың әсері зерттелді. Жеңіл және орта фракциялардың жоғары шығымын қамтамасыз ететін өңдеу шарттары оңтайландырылды: ауа электродтарының арасындағы қашықтық, конденсатор батареясының сыйымдылығы және импульстік әсер ету ұзақтығы. Катализатор таңдауына ерекше көңіл бөлінді: ең жоғары белсенділікті никель қосылған бентонит негізіндегі қоспа көрсетті. Бұл катализатор мұнайшламның ауыр компоненттерінің деструкциясын жақсартып, бензин және дизель фракцияларының шығымын арттырды. Алынған нәтижелер ЖҚЭГР әдісінің каталитикалық қоспалармен үйлесуі мұнайшламдарын терең өңдеу үшін перспективалы екенін дәлелдейді. Бұл зерттеу мұнай қалдықтарын тиімді және экологиялық қауіпсіз кәдеге жарату, сондай-ақ құнды көмірсутек өнімдерін алу мүмкіндігін ашады, бұл табиғатты қорғау талаптары күшейген жағдайда ерекше маңызды.

Кілтті сөздер: мұнай иламы, электрогидравликалық импульстар, бентонит, катализ, қайта өңдеу, көмірсутек фракциялары.

**A. Zh. Satybalidin¹, K. M. Shaimerdenova², M. I. Baikenov³,*

**B. B. Zhandybayev⁴, S. Tyanakh⁵.*

^{1,2,3,4,5}Karaganda Research University named after Academician

E. A. Buketova, Republic of Kazakhstan, Karaganda

EFFECT OF NANOCATALYST AND HVEHD ON FRACTION YIELD FROM OIL SLUDGE

A study was conducted on the processing of oil sludge into light and medium fractions using high-voltage short-pulse electrohydraulic discharge (HVEHD). The relevance of this work is due to the growing volume of oil sludge, which presents a serious environmental problem and challenges for disposal using traditional methods. Under oil sludge processing conditions, HVEHD effectively initiates thermocatalytic processes without the need for external heating or prolonged exposure. This technology ensures a high reaction rate, reduced energy consumption, and the ability to selectively influence the fractional composition of the final product. The combination of HVEHD with catalytic treatment opens new horizons in the field of hydrocarbon waste utilization and the production of commercial fuel components. The study examined the influence of technological parameters and catalytic additives on the efficiency of the process. Processing conditions were optimized, including the distance between air electrodes, the capacitance of the capacitor bank, and the duration of the pulsed exposure, all of which contributed to a high yield of light and medium fractions. Special attention was given to the choice of catalyst: the most active was a bentonite-based additive containing nickel. This catalyst improved the destruction of heavy components in the oil sludge, increasing the yield of gasoline and diesel fractions. The results confirm the promise of the HVED method combined with catalytic additives for the deep processing of oil sludge. The study opens up opportunities for more efficient and environmentally safe disposal of oil waste while producing valuable hydrocarbon products, which is especially important in the context of tightening environmental regulations.

Keywords: oil sludge, electrohydraulic impulses, bentonite, catalysis, hydrocarbon fractions.

MPHTI 29.31.26

DOI

И. Ф. Спивак-Лавров¹, *А. Б. Сейтен², А. Ш. Амантаева³

^{1,2,3}Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Республика Казахстан, г. Актөбе

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6235-3897>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5530-1658>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1693-9085>

*e-mail: aizhanat_bolatovna@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩЕГО КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА

В данной статье с помощью методов теории функций комплексной переменной были получены аналитические выражения для потенциалов, описывающих электростатическое поле мультипольных систем на основе проводящего кругового цилиндра. Найдены также аналитические формулы для производных потенциалов, что позволило выполнить компьютерное моделирование эквипотенциальных линий поля для различных мультипольных систем таких как: квадрупольной, сектупольной и октупольной.

Проведено тестирование полученных аналитических выражений, описывающих распределение потенциала в квадрупольной системе на основе кругового проводящего цилиндра, и подтверждена корректность использованных аналитических методов с помощью расчетов, выполненных с использованием апробированной программы численного расчета электрического поля методом граничных элементов. Исследовано также влияние ширины изолирующего зазора между электродами на величину потенциала и на его отклонение от «идеального» (аналитически вычисленного для случая бесконечно узких зазоров между электродами). Созданы алгоритм и набор прикладных программ для вычисления потенциалов поля мультипольных систем, основанных на проводящем круглом цилиндре.

Полученные в работе результаты могут быть использованы для создания различных электростатических мультипольных ловушек,

а также для мультипольной коррекции аберраций электронных микроскопов.

Ключевые слова: электростатические мультипольные ловушки, мультипольная коррекция аберраций, антирезонансные мультипольные системы, масс-спектрометр, распределение потенциала.

Введение

Квадрупольный фильтр масс (КФМ) относится к анализаторам динамического типа, и принципы его работы изложены во многих работах по масс-спектрометрии. Разделение ионов по удельным зарядам состоит в том, что при прохождении ионов через область постоянного и переменного электрических полей часть ионов может иметь ограниченную амплитуду колебаний, в то время как амплитуда колебаний другой части неограниченно возрастает со временем. Ионы с ограниченной амплитудой попадают на детектор, и их интенсивность (ток ионов) регистрируется. Таким образом, анализатор указанного типа представляет собой фильтр масс ионов. Перестройка полосы пропускания по массам ионов осуществляется, как правило, линейно изменяющимися напряжениями на электродах анализатора [1, с. 109-127; 2, с. 22-25]. Другим возможным вариантом может быть частотная развертка.

Одним из ключевых свойств КМС является способность удерживать заряженные частицы в свободном пространстве на достаточно длительное время. Это открывает возможности для значительного увеличения чувствительности методов, используемых для обнаружения следовых количеств атомов, за счет продления времени их взаимодействия с электрическими и электромагнитными полями. Кроме того, появляется шанс провести исследования процессов нелинейного взаимодействия электромагнитных полей (в том числе в инфракрасном и оптическом диапазонах) с ионами при времени экспозиции в несколько секунд и долей секунды. Это создаёт условия для проведения фундаментальных исследований, таких как определение констант взаимодействия атомных частиц с ионами и других аналогичных процессов.

Квадрупольные, секступольные и октупольные электростатические системы применяются для коррекции аберраций электростатических линз и зеркал [3, с. 1-9; 4; 5]. Широкое распространение в настоящее время получили квадрупольные масс-спектрометры, а также различные ионные ловушки, в которых используются квадрупольные поля. Линейная ионная ловушка была предложена В. Паулем в 1952 г., который за эти разработки был награжден Нобелевской премией в 1989 году [1, с. 109-127]. Линейная

ионная ловушка, на самом деле, являлась все тем же квадрупольным масс-спектрометром. Она отличается лишь некоторыми конструктивными изменениями, создающими возможность для трехмерной стабильной локализации заряженных частиц [5; 6, с. 1-29; 7, с. 512-526; 8, с. 1-78]. В настоящее время появились многочисленные варианты линейной ловушки. Среди них можно отметить такие, как ионная поверхностная ловушка [9, с. 3509-3520], микроловушка на поверхности для изучения квантового процессора [10], тороидальная ионная ловушка [11, с. 419-429]. Изменяя пространственную форму и ориентацию электродов [12, с. 345-354], в них оставалась без изменения главная идея квадрупольного масс-спектрографа [13, с. 604-611; 14]. Ионные ловушки могут использоваться и при создании квантовых компьютеров [15, с. 223].

Материалы и методы

Изучим квадрупольную электростатическую систему, в которой квадрупольное поле создается заданием потенциалов на поверхности проводящего кругового цилиндра радиуса r_0 , как показано на рис. 1. Измеряя линейные размеры в единицах r_0 , получим граничную задачу на единичном круге, решение которой приводит к интегралу Пуассона для потенциала [16, с. 46-51; 17, с. 23-27]:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{r_0^2 - r^2}{r_0^2 - 2r_0 r \cos(\theta - \theta_0) + r^2} d\theta_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{r_0^2 - r^2}{r_0^2 - 2r_0 r \cos(\theta - \theta_0) + r^2} d\theta_0. \quad (1)$$

Здесь θ_0 – угловое распределение потенциала на поверхности цилиндра.

Рисунок 1 – Электростатическая квадрупольная система на цилиндре

Преобразуем выражение (1) к следующему виду:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{r_0^2 - r^2}{r_0^2 - 2r_0 r \cos(\theta - \theta_0) + r^2} d\theta_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{r_0^2 - r^2}{r_0^2 - 2r_0 r \cos(\theta - \theta_0) + r^2} d\theta_0. \quad (2)$$

Для вычисления интеграла (2) воспользуемся следующей известной формулой:

$$\frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \quad (3)$$

С помощью формулы (3) запишем аналитическое выражение для потенциала квадрупольной системы:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \\ & \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \\ & \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \end{aligned} \quad (4)$$

В декартовых координатах x, y, z найденный потенциал (4) можно записать в виде:

$$\frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \quad (5)$$

Здесь $\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}$. Легко проверить, что, как и следовало ожидать, на осях координат потенциал обращается в нуль. Теперь найдем производные потенциала:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \quad (6)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \quad (7)$$

Эквипотенциальные линии найдем путем численного интегрирования дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} d\theta \quad (8)$$

Начальные условия для уравнений (8) задавались на прямой и по формуле (5) находились такие значения, при которых потенциал принимает значения 0.1 V, 0.2 V, ..., 0.9V. Эти значения приведены ниже в таблице.

Таблица 1 – Значения координаты эквипотенциальных линий на прямой

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$x = y$	0.19840	0.28143	0.34648	0.40307	0.45510

Продолжение таблицы 1.

	0.6	0.7	0.8	0.9
$x = y$	0.50475	0.55354	0.60274	0.65348

Результаты и обсуждение

Найденные формулы описывают также и поле монополя, создаваемого частью цилиндрического электрода с потенциалом и двумя взаимно перпендикулярными полуплоскостями xz и yz с нулевым потенциалом.

На рис. 2 представлена картина электростатического поля квадрупольной системы на проводящем цилиндре. Здесь красным цветом окрашены части цилиндрической поверхности, находящиеся под положительным потенциалом, а синим – под отрицательным. На этом рисунке также показаны эквипотенциальные линии поля, потенциал которых равен:

$$\varphi = 0, \quad \varphi = 1, \quad \varphi = -1$$

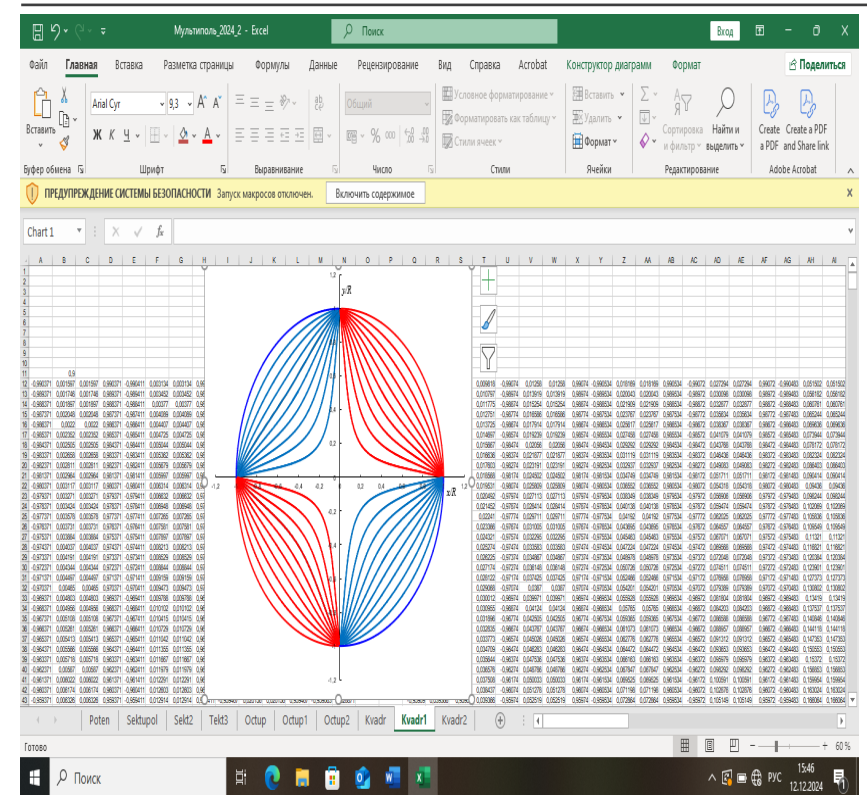


Рисунок 2 – Картина поля квадрупольной системы на основе проводящего цилиндра

Для подтверждения адекватности предлагаемых в [17, с. 26] аналитических выражений для потенциала проводилось численное вычисление электростатического потенциала методом граничных элементов [18, с. 268–302]. При этом использовались численные методы моделирования планарных электрических полей [19, с. 7-8].

С помощью формулы (3) найдем также следующее выражение для потенциала поля сектупольной электростатической системы на цилиндре:

$$\begin{aligned}
 & - \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\frac{1}{\sqrt{3}}-2y}{1-\rho^2} + \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y}{1-\rho^2} \\
 & - \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\frac{1}{\sqrt{3}}-2y}{1-\rho^2} + \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y}{1-\rho^2}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

В декартовых координатах x, y, z потенциал (9) можно записать в виде:

$$\begin{aligned}
 \phi(x, y) = \frac{2V}{\pi} & \left(\arctg \frac{2y}{1-\rho^2} + \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\frac{1}{\sqrt{3}}-2y}{1-\rho^2} - \right. \\
 & \left. - \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y}{1-\rho^2} - \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\frac{1}{\sqrt{3}}-2y}{1-\rho^2} + \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y}{1-\rho^2} \\
 & - \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\frac{1}{\sqrt{3}}-2y}{1-\rho^2} + \arctg \frac{(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y}{1-\rho^2}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Легко проверить, что, как и следовало ожидать, на оси координат x потенциал обращается в нуль. Теперь найдем производные потенциала:

$$\begin{aligned}
 & \frac{2 \left[(x+1) \frac{1}{\sqrt{3}} (1-\rho^2) + x(1+\rho^2+2x) \frac{1}{\sqrt{3}} + xy \right]}{(1-\rho^2)^2 + \left[(1+\rho^2+2x) \frac{1}{\sqrt{3}} + 2y \right]^2} - \\
 & \frac{\sqrt{\dots}}{\sqrt{\dots}}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{(y\sqrt{3}-1)(1-\rho^2) + y[(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}-2y]}{(1-\rho^2)^2 + [(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}-2y]^2} - \\
 & \frac{(y\sqrt{3}+1)(1-\rho^2) + y[(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y]}{(1-\rho^2)^2 + [(1+\rho^2+2x)\sqrt{3}+2y]^2} + \\
 & + \frac{(1-\rho^2+2y^2)}{(1-\rho^2)^2+4y^2} \} = Vf_2(x, y) \\
 & + \frac{(1-\rho^2+2y^2)}{(1-\rho^2)^2+4y^2} \} = Vf_2(x, y) \quad (12)
 \end{aligned}$$

Эквипотенциальные линии также находились путем численного интегрирования дифференциальных уравнений (8). Начальные условия для

этих уравнений задавались на прямых $\sqrt{\quad}$ и $\sqrt{\quad}$ и по формуле (10)

находились такие значения $\sqrt{\quad}$, при которых потенциал принимает значения 0.1 V, 0.2 V, ..., 0.9V. Эти значения $\sqrt{\quad}$ приведены ниже в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Значения координаты $\sqrt{\quad}$ эквипотенциальных линий на

прямой $\sqrt{\quad}$.

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$\sqrt{\quad}$	0.371129	0.468563	0.538247	0.595373	0.645563

Продолжение таблицы 2.

	0.6	0.7	0.8	0.9
$\sqrt{\quad}$	0.691702	0.735592	0.778546	0.821669

Таблица 3 – Значения координаты $\sqrt{\quad}$ эквипотенциальных линий на

прямой $\sqrt{\quad}$.

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$\sqrt{\quad}$	0.428543	0.541050	0.621515	0.687478	0.745432

Продолжение таблицы 3.

	0.6	0.7	0.8	0.9
$\sqrt{\quad}$	0.798709	0.849389	0.898988	0.948782

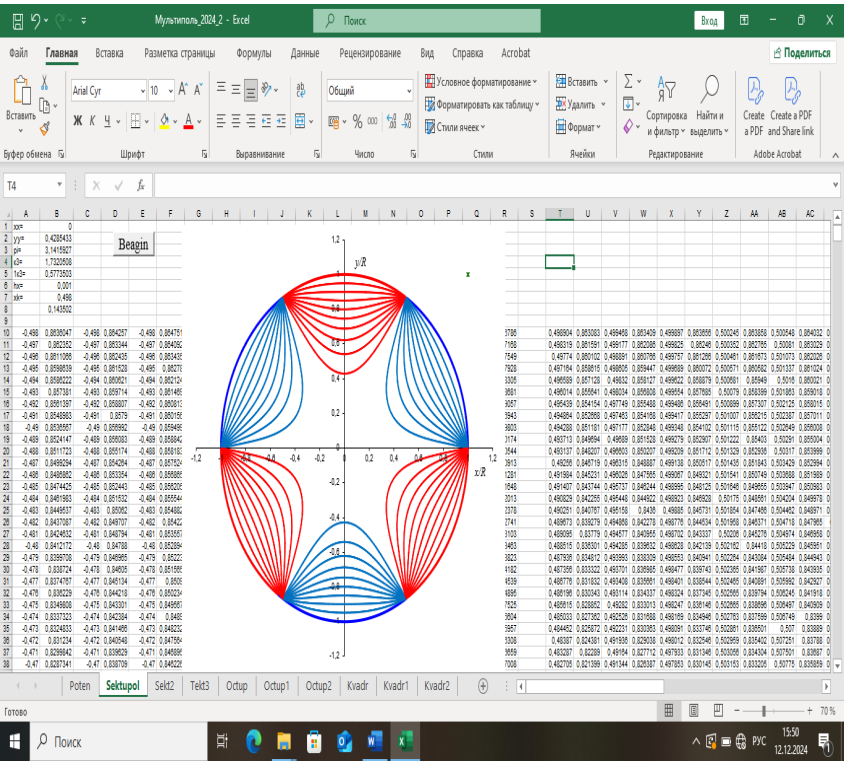
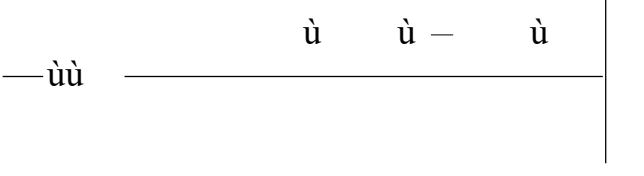
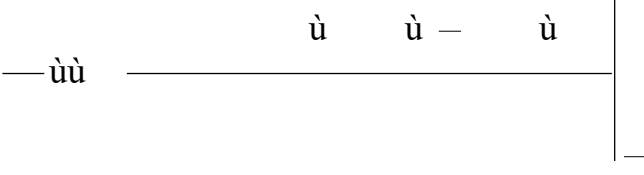
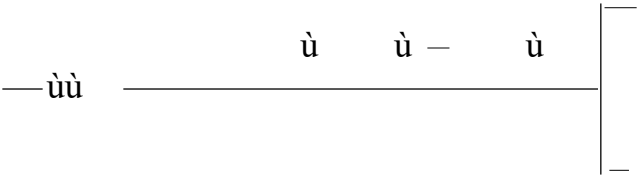
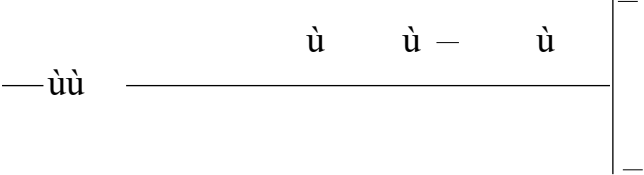
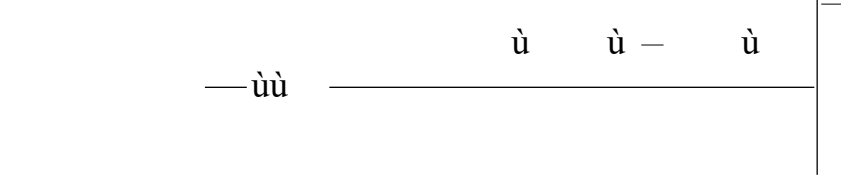


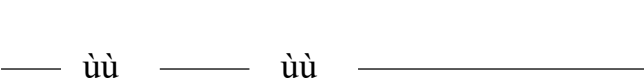
Рисунок 3 – Картина поля сектупольной системы на проводящем цилиндре

Аналогично можно найти в аналитическом виде и потенциал поля октупольной электростатической системы. При этом отпадает необходимость использования для создания такого поля проводящих стержней. Пучок ионов будет двигаться беспрепятственно вдоль оси цилиндра. При этом краевые поля можно локализовать, используя заземленные экраны на торцах системы.



(13)

В декартовых координатах x, y, z найденный потенциал октуполя можно записать в виде:



u _____ u _____

u _____ u _____

u _____

_____ (14)

, (15)

u — u —

Здесь _____, _____ . Легко проверить, что, как и следовало

ожидать, на осях координат x и y потенциал обращается в нуль

и _____. Теперь найдем производные потенциала:

(16)

Также как и в предыдущих случаях эквипотенциальные линии находились путем численного интегрирования дифференциальных уравнений (8). Начальные условия для этих уравнений задавались на прямых и по формуле (14) находились такие значения , при которых потенциал принимает значения 0.1 V, 0.2 V, ..., 0.9V. Эти значения приведены ниже в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Значения координаты эквипотенциальных линий на прямой

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	0.489341	0.582832	0.646701	0.697524	0.741176

Продолжение таблицы 4.

	0.6	0.7	0.8	0.9
	0.780561	0.817420	0.852964	0.888158

Таблица 5 – Значения координаты эквипотенциальных линий на прямой

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	0.489341	0.582832	0.646701	0.697524	0.741176

Продолжение таблицы 5.

	0.6	0.7	0.8	0.9
	0.780561	0.817420	0.852964	0.888158

Таким образом строились эквипотенциали, представленные на графике на рисунке 4, для кривых, расположенных в первой четверти координатной системы, изображенной на том же графике. Остальные эквипотенциали строились и соображений симметрии.

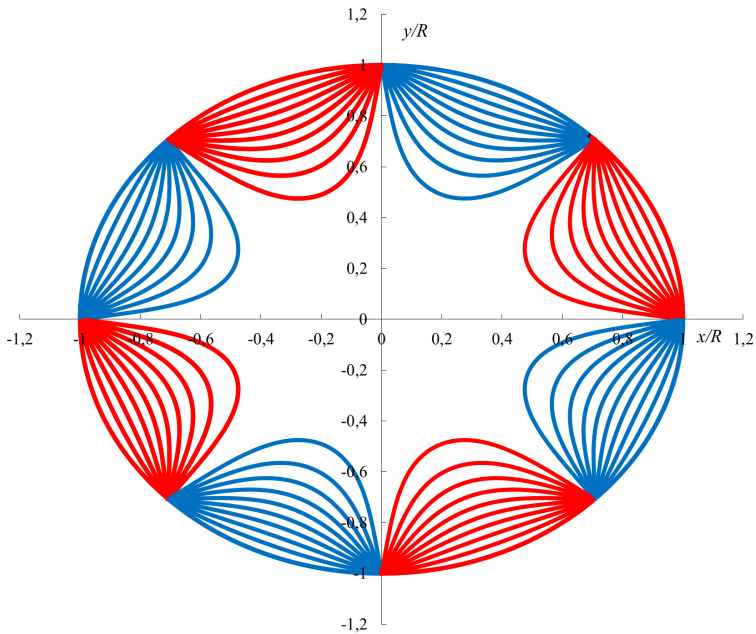


Рисунок 4 – Картина поля октупольной системы на проводящем цилиндре

Информация о финансировании
Работа выполнена в рамках грантового финансирование научных и (или) научно-технических проектов на 2024-2026 годы, АР23486969 «Разработка

и моделирование антирезонансных мультипольных систем на основе проводящего кругового цилиндра»

Выводы

В работе получены аналитические выражения для потенциалов и производных потенциалов, которые могут быть использованы для компьютерного моделирования динамики пучков заряженных частиц в мультипольных системах на основе прямого проводящего цилиндра. Численное интегрирование безразмерных дифференциальных уравнений Ньютона, описывающие динамику заряженных частиц в КОС, значительно упрощается при применении аналитических выражений для потенциалов. Разработаны алгоритм и пакет прикладных программ для расчета потенциалов поля мультипольных систем на основе проводящего кругового цилиндра.

Проведено тестирование полученных аналитических выражений, описывающих распределение потенциала в антирезонансной мультипольной системе на основе кругового проводящего цилиндра, и подтверждена корректность, полученных аналитических результатов, путем использования апробированной программы численного расчета электрического поля методом граничных элементов. Исследовано влияние ширины изолирующего зазора между электродами на величину потенциала и на его отклонение от «идеального», аналитически вычисленного для случая бесконечно узкого электрода.

Полученные результаты могут быть использованы специалистами в области научного приборостроения, а также в ионной и электронной оптике. Мультипольные электростатические системы, рассмотренные в данной работе, могут быть применены для коррекции аберраций в электронных микроскопах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Пауль, В. Нобелевские лекции по физике – 1989. Электромагнитные ловушки для заряженных и нейтральных частиц. УФН. – 1990, Т. 60, № 12. – С. 109–127.
- 2 Коненков, Н. В., Махмудов, М. Н., Моос, Е. Н. Квадрупольные системы в технологических средах. Рязань – 2021 г. – 305 с.
- 3 Preiksza D., Rose H. Correction properties of electron lenses and mirrors // Electron microscopy. – 1997, Vol. 46, N. 1. – P. 1–9.
- 4 Силадьи, М. Электронная и ионная оптика. – М.: Мир, 1990. – 639 с.

- 5 Hawkes P. W., Spence J. C. H. (Eds.), Springer Handbook of Microscopy, Springer Handbooks. – Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 1543 p.
- 6 Douglas D. J., Frank A. J., Mao D. M. Linear ion traps in mass spectrometry // Mass Spectrom. Rev. 2005, 24 (1). – P. 1–29.
- 7 Hager J. W. A new linear ion trap mass spectrometer // Rapid Commun. Mass Spectrom. – 2002, 16. – P. 512–526.
- 8 March R. E., Todd J. F. J. Quadrupole Ion Trap Mass Spectrometry // Ed. by J.D. Winefordner. 2005. Vol. 165. – P. 1–78.
- 9 Qiao H., Gao C., Mao D., Konenkov N., Douglas D.J. Spacecharge effects with mass selective axial ejection from a linear quadrupole ion trap // Rapid Commun. Mass Spectrom. – 2011, 25. – P.3509–3520.
- 10 Amini J.M., Britton J., Leibfried D., Wineland D.J. Microfabricated Chip Traps for Ions Atom Chips. / Ed. by J. Reichel, V. Vuletic WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. ' KGaA, Weinheim. 2011.
- 11 Douglas D. J., Konenkov N. V. Ion Cloud Model for a Linear Quadrupole Ion Trap // Euro. J. Mass Spectrom. – 2012, 18. – P. 419–429.
- 12 Douglas D. J., Berdnikov A.S., Konenkov N. V. The effective potential for ion motion in a radio frequency quadrupole field revisited // Int. J. Mass Spectrom. – 2015, V. 377. – P. 345–354.
- 13 Рождественский, Ю. В., Рудый, С. С. Линейная ионная ловушка с детерминированным напряжением общего вида // ЖТФ. – 2017, т. 87, вып. 4. – С. 604–611.
- 14 Dawson R. H. Quadrupole Mass Spectrometry and its Application. – Amsterdam: Elsevier, 1976.
- 15 Бауместер, Д., Экерт, А., Цайлингер, А. Физика квантовой информации. – Москва: Постмаркет, – 2002. – 375 с.
- 16 Лаврентьев, М.А., Шабат, Б. В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1976. – 716 с.
- 17 Спивак-Лавров, И. Ф., Шугаева, Т. Ж., Сейтен, А. Б. Антирезонансная квадрупольная система на основе кругового проводящего цилиндра // Recent Contributions to Physics. №4 (87). 2023.
- 18 Cheng A. H.-D., and Cheng D. T. “Heritage and early history of the boundary element method,” Engineering Analysis with Boundary Elements, vol. 29, pp. 268–302, 2005.
- 19 Spivak-Lavrov I. F., Seiten A. B., Shugaeva T. Zh., Trubitsyn A.A. Analytical description of the potential of electrostatic multipole systems based on a conducting circular cylinder // Eurasian Physical Technical Journal. – 2024. – Vol. 21, No.4 (50).

REFERENCES

- 1 Paul, B. Nobelevskie leksii po fizike – 1989. Electromagnitnie lovushki dlya zaryazhennykh chastic [Nobel Lectures in Physics - 1989. Electromagnetic traps for charged and neutral particles] UFN. – 1990, V. 60, № 12. – p. 109–127.
- 2 Kononkov, N. B., Mahmudov, M. N., Moos E. N. Kvadrupolnyie systemy v tehnologicheskikh sredax [Quadrupole systems in technological environments]. Ryazan – 2021 y.
- 3 Preiksas D., Rose H. Correction properties of electron lenses and mirrors // Electron microscopy. – 1997, Vol. 46, N. 1. – P. 1–9.
- 4 Siladi M. Elektronnaya i ionnaya lovushka [Electronic and ion optics] – Moscow : Mir, 1990. – 639 p.
- 5 Hawkes P. W., Spence J. C. H. (Eds.), Springer Handbook of Microscopy, Springer Handbooks. – Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 1543 p.
- 6 Douglas D. J., Frank A. J., Mao D. M. Linear ion traps in mass spectrometry // Mass Spectrom. Rev. 2005, 24 (1). – P. 1–29.
- 7 Hager J. W. A new linear ion trap mass spectrometer // Rapid Commun. Mass Spectrom. – 2002, 16. – P. 512–526.
- 8 March R.E, Todd J.F.J. Quadrupole Ion Trap Mass Spectrometry // Ed. by J.D. Winefordner. 2005. Vol. 165. – P. 1–78.
- 9 Qiao H., Gao C., Mao D., Kononkov N., Douglas D.J. Space charge effects with mass selective axial ejection from a linear quadrupole ion trap // Rapid Commun. Mass Spectrom. – 2011, 25. – P.3509–3520.
- 10 Amini J.M., Britton J., Leibfried D., Wineland D.J. Microfabricated Chip Traps for Ions Atom Chips. // Ed. by J. Reichel, V. Vuletic WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. ' KGaA, Weinheim. 2011.
- 11 Douglas D.J., Kononkov N.V. Ion Cloud Model for a Linear Quadrupole Ion Trap // Euro. J. Mass Spectrom. – 2012, 18. – P. 419–429.
- 12 Douglas D. J., Berdnikov A.S., Kononkov N. V. The effective potential for ion motion in a radio frequency quadrupole field revisited // Int. J. Mass Spectrom. – 2015, V. 377. – P. 345–354.
- 13 Rozhdensvenski, Iy. V., Rudni, S. S. Lineinaya ionnaya lovushka s determinirovannym napriazheniem obshego vida [Linear ion trap with deterministic voltage of general type] // ZhTF. – 2017, v. 87, issue 4. – P. 604–611.
- 14 Dawson R. H. Quadrupole Mass Spectrometry and its Application. – Amsterdam: Elsevier, 1976.
- 15 Baumester D., Ekert A., Scailinger A. Fizika kvantovoi informacii [Physics of quantum information] – Moscow: Postmarket, – 2002. – 375 p.

- 16 Lavrentev, M. A., Shabat, B. B. Metody teorii funcsii kompleksnogo peremennogo [Methods of the theory of functions of a complex variable] – Moscow : Science, 1976. – 716 p.
17. Spivak-Lavrov, I. F., Shugaeva, T. Zh., Seiten, A. B., Antiresonansnaya kvadrupolnaya systema na osnove krugovogo provodyashego cilindra [Antiresonant quadrupole system based on a circular conducting cylinder] Recent Contributions to Physics. №4 (87). 2023.
- 18 Cheng A. H.-D., and Cheng D. T. «Heritage and early history of the boundary element method» Engineering Analysis with Boundary Elements, vol. 29, pp. 268–302, 2005.
- 19 Spivak-Lavrov I.F., Seiten A. B., Shugaeva T. Zh., Trubitsyn A.A. Analytical description of the potential of electrostatic multipole systems based on a conducting circular cylinder – Eurasian Physical Technical Journal. – 2024. – Vol. 21, No.4 (50).

И. Ф. Спивак-Лавров¹, * А. Б. Сейтен², А. Ш. Амантаева³

^{1,2,3}Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

МУЛЬТИПОЛЬДІК ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ ӨРІС ПОТЕНЦИАЛДАРЫН ӨТКІЗГІШ ДӨҢГЕЛЕК ЦИЛИНДР НЕГІЗІНДЕ МОДЕЛЬДЕУ

Бұл мақалада күрделі айнымалы функциялар теориясының әдістерін қолдана отырып, өткізгіш дөңгелек цилиндрге негізделген мультипольдік жүйелердің электростатикалық өрісін сипаттайтын потенциалдар үшін аналитикалық өрнектер алынды. Әр түрлі мультипольдік жүйелер үшін оның ішінде: квадрупол, секстипол және октупол үшін эквипотенциалды өріс сызықтарын компьютерлік модельдеуге мүмкіндік беретін туынды потенциалдарға арналған аналитикалық формулалар табылды.

Дөңгелек өткізгіш цилиндр негізінде квадруполдық жүйеде потенциалдың таралуын сипаттайтын алынған аналитикалық өрнектерге тестілеу жүргізілді және шекаралық элементтер әдісімен электр өрісін сандық есептеудің сыналған бағдарламасын қолдана отырып жүргізілген есептеулердің көмегімен қолданылған аналитикалық әдістердің дұрыстығы расталды. Электродтар арасындағы оқшаулау саңылауының енінің потенциал шамасына және оның “идеалдан” ауытқуына әсері де зерттелді (электродтар арасындағы шексіз тар саңылаулар үшін аналитикалық түрде

есептелген). Өткізгіш дөңгелек цилиндрге негізделген мультипольді жүйелердің өріс потенциалдарын есептеу үшін алгоритм және қолданбалы бағдарламалар жиынтығы жасалды.

Жұмыста алынған нәтижелер әртүрлі электростатикалық мультипольдік тұзақтарды жасау үшін, сондай-ақ электронды микроскоптардың абберацияларын мультипольді түзету үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: электростатикалық мультипольдік тұзақтар, абберацияны мультипольдік түзету, резонансқа қарсы мультипольдік жүйелер, масс-спектрометр, потенциалды бөлу.

The results obtained in this work can be used to create various electrostatic multipole traps, as well as for multipole aberration correction of electron microscopes.

Keywords: electrostatic multipole traps, multipole aberration correction, antiresonance multipole systems, mass spectrometer, potential distribution.

F. Spivak-Lavrov¹, * A. B. Seiten², A. Sh. Amantayeva³

^{1,2,3}Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,
Republic of Kazakhstan, Aktobe

MODELING OF ELECTROSTATIC FIELD POTENTIALS OF MULTIPOLE SYSTEMS BASED ON A CONDUCTIVE CIRCULAR CYLINDER

In this article, analytical expressions for potentials describing the electrostatic field of multipole systems based on a conducting circular cylinder have been obtained using methods of the theory of functions of a complex variable. Analytical formulas for potential derivatives were also found, which made it possible to perform computer modeling of equipotential field lines for various multipole systems such as quadrupole, sextupole, and octupole.

The obtained analytical expressions describing the potential distribution in a quadrupole system based on a circular conductive cylinder have been tested, and the correctness of the analytical methods used has been confirmed using calculations performed using an approved program for numerical calculation of the electric field using the boundary element method. The effect of the width of the insulating gap between the electrodes on the magnitude of the potential and on its deviation from the “ideal” one (analytically calculated for the case of infinitely narrow gaps between the electrodes) is also investigated. An algorithm and a set of application programs have been developed for calculating the field potentials of multipole systems based on a conductive circular cylinder.

**Б. К. Рахадилов¹, *А. Б. Кенесбеков², Н. М. Магазов³,
А. Е. Кусайнов⁴, А. Д. Толеужанова⁵**

^{1,2,5}ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

^{2,3,4,5}Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9941-9199>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4623-4681>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1850-6769>

*e-mail: aidar.94.01@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕДНОГО ПОРОШКА

В данной работе представлены результаты исследования медного порошка сим-карты. В ходе исследования должны выявляться микроструктура и фазовый состав элементов порошка. Для этого будут использоваться оборудования такие как: сканирующий электронный микроскоп TESCAN VEGA 4, рентгенофазовый дифрактометр X'PertPRO. В данной работе анализируется процесс переработки сим-карт с целью изучения их состава. На первом этапе пластик сим-карт растворяется в специальном растворе X, что приводит к разрушению их структуры и отделению микросхем. Затем полученный материал проходит механическую переработку, в результате которой образуется стружка, состоящая из фрагментов различных компонентов сим-карты. Далее стружка измельчается в шаровой мельнице до получения порошка микроскопических размеров. Полученный порошкообразный материал исследуется с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионным спектро스코пом (ЭДС), а также методом рентгенофазового анализа с использованием дифрактометра. Проведено детальное изучение элементного состава, выявлено преобладание меди и её соединений, а также наличие примесных элементов. СЭМ-исследование позволило определить анализ образца в виде стружки. А также на образец проводился элементное картирование поверхности образца с

помощью энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС). Результаты выявили, что в исследуемом образце преимущественно содержит медь, а также, обнаружение палладия указывает что в образце присутствуют редкоземельные элементы. Найденные данные могут быть полезны для создания более термостойких электронных компонентов, и в дальнейшем их использовании.

Ключевые слова: сим-карта, медный порошок, фазовый состав, сканирующая электронная микроскопия, электродисперсионная спектроскопия, рентгенофазовый дифрактометр.

Введение

В мировой практике до сих пор осуществляется ряд исследований, направленных на разработку и внедрение нетрадиционных методов переработки электронных отходов в промышленном масштабе. Поэтому разрабатывается способ правильной переработки плат сим-карт и извлечения из них полезных металлов. Изучение микроструктуры и фазового состава платы сим-карты поможет выявить и определить дефекты и пороки структуры, чтобы в дальнейшем исправить их. Отработанные печатные платы (ОПП) имеют неотъемлемую ценность благодаря содержанию драгоценных металлов. Для эффективной переработки ОПП необходимо извлечь драгоценные металлы. Так как в них содержатся достаточное количество металлов, таких как, золото, медь, серебро и другие, то переработка сим-карт сразу становится выгодным для всех.

Исследователи в работе [1] изобрели доступный метод извлечения золота и других ценных металлов из электронных отходов: сим-карт, печатных плат, картриджей для принтеров. До сих пор их переработка была настолько неэкологичной. Переработка отработанного электронного оборудования затруднена тем, что процесс разделения на компоненты требует много энергии и агрессивных химикатов. Но сим-карты и картриджи содержат множество металлов, которые с трудом добываются в природе и могли бы быть использованы повторно. Поэтому ученые ищут недорогие и нетоксичные способы выделения металлов из бывшего оборудования. Новый метод представляет собой недорогой процесс выщелачивания и извлечения металлов, среди которых золото, никель, медь и серебро. В нем используются, по словам авторов, экологически чистые и безопасные реагенты. Применение им может быть найдено по аналогии и в производстве других продуктов. Авторы открытия продолжают работать, чтобы научиться восстанавливать из отходов палладий — он стоит дороже золота и еще более востребован в катализе.

З. М. Ахметвалиева и др. [2, с.22-26] провели исследования влияния предварительной термической обработки измельченных электронных отходов при температуре 450 °С на степень извлечения меди при последующем выщелачивании материала растворами азотной кислоты. В качестве объектов исследования были выбраны отходы электронной промышленности, в частности автомобильные микросхемы и компьютерные печатные платы. По результатам термогравиметрического и рентгенофлуоресцентного анализов установлено, что максимальная степень удаления органики и образование оксидных форм металлов наблюдаются в интервале температур 400–450 °С. Получена математическая модель процесса выщелачивания меди из электронных отходов растворами HNO_3 . Найдены оптимальные параметры проведения процесса: температура в системе 75°С, продолжительность выщелачивания 150 мин, концентрация кислоты 4 М, обеспечивающие максимальное извлечение меди в раствор (98 %).

Обработка отработанных печатных плат (ОПП) представляет собой сложную, но крайне важную задачу, обусловленную наличием в них ценных металлов, таких как золото, серебро и палладий. Существующие методы переработки ОПП разнообразны, но часто отличаются низкой эффективностью извлечения отдельных компонентов или высокой энергоемкостью. J Hazard Mater и др. [3] нашли перспективный подход, основанный на сочетании химического выщелачивания и жидкостной экстракции. Для начального выщелачивания использовалась водная вытяжка, точный состав которой, к сожалению, не указан в исходном описании, что ограничивает возможность полной оценки эффективности метода. Соотношение массы ОПП к объему выщелачивателя (1:20 г/мл) выбрано, вероятно, на основе предварительных экспериментов, направленных на оптимизацию процесса. Важно отметить, что эффективность выщелачивания сильно зависит от множества факторов, включая размер частиц ОПП (чем меньше, тем лучше), температуру, pH раствора и время контакта. В результате, серебро, обладая высокой химической стабильностью, извлекалось с впечатляющим выходом – около 98 масс.%. Это указывает на высокую эффективность выбранного выщелачивателя по отношению к серебру, и, вероятно, объясняется высокой растворимостью его солей в водных растворах. Палладий, в отличие от серебра, вел себя иначе. В процессе растворения он образовал красный осадок гексахлоропалладат(II) аммония ($\text{Pd}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_6$). Образование этого осадка – ключевой момент, позволяющий селективно отделить палладий от других металлов. Выход палладия составил 93 масс.%, что также является хорошим показателем, хотя и несколько ниже, чем для серебра. Наиболее сложной задачей является селективное извлечение золота. Для этого авторы использовали жидкостную экстракцию с использованием толуола в качестве

органического растворителя. Толуол, будучи неполярным растворителем, эффективно извлекает золото из водного раствора, предположительно, в виде комплекса с хлорид-ионами. Для получения наночастиц золота, были добавлены додеканетиол и борогидрид натрия. Применение просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМ) с дифракцией электронов в выбранной области (SAED) и определением межатомных расстояний подтвердило получение наночастиц золота с высокой степенью чистоты (97 масс.%). В заключение, предложенный метод демонстрирует перспективный подход к извлечению драгоценных металлов из ОПП, но требует дальнейшей оптимизации отдельных этапов для повышения эффективности и снижения затрат. Изучение альтернативных выщелачивающих реагентов, органических растворителей и методов получения наночастиц, например, с использованием биологических реагентов, может открыть новые возможности в этой области.

Методы, используемые в настоящее время для извлечения металлов, включают токсичные растворители и сжигание, а следовательно, выброс вредных веществ в атмосферу. Дейл Хубер [4], который занимался разработкой этого документа, отметил, что новый процесс является экономически эффективным, оказывает минимальное воздействие на окружающую среду и может быть применен для решения проблемы утилизации металлов из отслужившей электроники. Сначала на SIM-карту наносят очень тонкий слой недорогого поверхностно-активного вещества. Затем повторяют этот процесс с другим типом поверхностно-активного вещества, прежде чем погрузить SIM-карту в воду. Поверхностно-активные вещества способствуют снижению поверхностного натяжения между двумя веществами, что позволяет при воздействии ультразвуковых волн образовываться микроскопическим пузырькам. Это приводит к повышению давления и температуры (которая может достигать 4700°С), в результате чего микроструи частиц золота вылетают из SIM-карты и попадают в жидкость. Позже золото можно будет собрать и переработать.

В настоящее время имеется множество технологий, позволяющих достигать высоких уровней извлечения редкоземельных металлов из золотшлаковых отвалов, которые основаны на обработке золы сильными кислотами. Однако такие методы наносят вред окружающей среде, а кислоты являются агрессивными по отношению к большинству материалов. В этой связи технология бактериального выщелачивания выглядит достаточно привлекательно, так как она более экологически безопасна и в некоторых случаях экономически оправдана, хотя и менее эффективна. [5, с. 216; 6, с. 521; 7, с. 712]

Для повышения эффективности процесса выщелачивания золота из упорных руд и концентратов исследуются различные подходы, среди которых особое внимание уделяется интенсификации вскрытия упорной матрицы. Эта интенсификация может осуществляться с использованием химических, биологических и физических методов. В последние годы активно ведутся исследования, направленные на преодоление упорности минерального сырья с помощью таких технологий, как сверхтонкое измельчение, микроволновое облучение, электрогидравлическая обработка и магнитно-импульсная обработка. Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и недостатки, что делает их применение в зависимости от конкретных условий и характеристик обрабатываемого материала. Одним из наиболее перспективных направлений в области переработки упорного золотосодержащего сырья является бактериальное окисление. Этот метод стал особенно актуальным в последние годы, так как он позволяет эффективно извлекать золото из сложных руд и концентратов, которые традиционно трудно поддаются переработке. В настоящее время более 100 компаний и научных организаций по всему миру, включая страны такие как Южноафриканская Республика, Гана, Зимбабве, Австралия, Узбекистан, США, Бразилия, Канада, Россия и Китай, активно занимаются разработкой и внедрением процессов бактериального окисления и выщелачивания.[8, с. 36-37;9, с. 45-49]

Технология бактериального окисления привлекает внимание благодаря множеству своих достоинств. Об этом подробно сказали Крылова Л.Н. и др. В работе [10, с. 1]. Во-первых, она требует значительно меньшего расхода реагентов по сравнению с традиционными методами. Это связано с тем, что бактерии способны ускорять реакции, которые в обычных условиях протекают медленно. Во-вторых, наблюдается более высокая реакционная способность и скорость осаждения твердой фазы в бактериальных растворах, что также способствует увеличению выхода золота. Более того, бактериальное окисление позволяет ускорить окисление серы, образующейся в процессе, что дополнительно улучшает эффективность выщелачивания. Кроме того, простота обслуживания и низкие эксплуатационные и капитальные затраты делают эту технологию особенно привлекательной для горнодобывающих компаний. В условиях растущих цен на золото и увеличивающейся конкуренции на рынке, внедрение инновационных технологий, таких как бактериальное окисление, может стать ключевым фактором, способствующим повышению рентабельности и устойчивости бизнеса. Таким образом, бактериальное окисление представляет собой не только эффективный метод переработки упорных руд, но и важный шаг к устойчивому развитию горнодобывающей отрасли, позволяя минимизировать

негативное воздействие на окружающую среду и оптимизировать использование ресурсов. Таким образом, авторы работы [11, с. 177-1] вместо борьбы с пенообразованием в реакторах биоокисления, решили что, разумнее будет организовать удаление пены и провести исследования по разработке технологии ее переработки с целью извлечения ценных компонентов. Это поможет оптимизировать процесс бактериального окисления и превратить недостаток технологии биоокисления в ее новое преимущество.

В нашем случае все было несколько по-другому. Изначально плат сим-карт помещают в растворитель, который разрушает пластиковую часть. Это осуществлялось с помощью раствора Х. В результате происходит разрушение структуры пластика, и на выходе мы получаем частицы или фрагменты, которые могут быть обработаны дальше. После растворения отдельных элементов пластика и микросхем, материал перерабатывается механическим способом. В результате этого процесса образуется стружка, состоящая из мелких частиц и фрагментов различных материалов, из которых изготовлена сим-карта. Затем стружка подверглась измельчению через шаровую мельницу. Это помогло уменьшить частиц до микроскопических размеров. Таким образом, появляется порошок, который в дальнейшем будет исследован такими методами, как, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионным спектро스코пом (ЭДС), а также рентгенофазовым исследованиям через дифрактометр.

Цель работы – исследовать микроструктуру и фазовый состав, а также рентгенофазовые анализы сплавленной платы сим-карты и порошка.

Материалы и методы

Исследование микроструктуры порошка на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 4 (рисунок 1) начинается с подготовки образца. Перед тем как поместить образец в виде стружки в сканирующий электронный микроскоп, он тщательно измельчался в шаровой мельнице. Обработка ультрадисперсных порошков в различных типах мельниц (известная как механохимический синтез или механическое сплавление) дает возможность получать метастабильные фазы с уникальными свойствами, изменяя уровень энергонасыщенности системы. Эти свойства часто не достигаются при производстве сплавов другими способами. Этот процесс осуществляется с целью уменьшить слишком большие частицы сыпучего материала, чтобы в дальнейшем упростить процесс исследования. А также измельчение поможет улучшить качество снимка в микроскопе. В работе исследования были проведены с применением высокоскоростной шаровой мельницы Retsch Emax (производство Германия), изображенной на рисунке 2. Процесс измельчения в этой мельнице осуществляется благодаря высокочастотным ударам, интенсивному трению и контролируемым круговым движениям

размольного стакана. [12, с. 73-74] Образец в состоянии поставки (рисунок 2а) был измельчён на высокоскоростной шаровой мельнице Emax (рисунок 2б). Параметры измельчения: соотношение массы шаров к массе образца — 5:1; время размола — 2 часа, с изменением направления вращения мельницы каждые 30 минут; частота вращения стаканов — 600 об/мин. Измельчение проводилось с добавлением спирта, после чего образцы были высушены в универсальном сушильном шкафу SNOL 58/350. Для измельчения были использованы шары из стали ШХ15, диаметр шара 3 мм.[13]

После синтеза порошка необходимо удалить побочные продукты реакции из образца. Поэтому порошок прошел процесс высушивания с помощью сушильного шкафа SNOL 58/350. После высушивания порошок готов для последующих исследований.



Рисунок 1 – Сканирующий электронный микроскоп
TESCAN VEGA 4

После подготовки образца начинается процесс настройки вакуумной системы. Исследование СЭМ проводилось в режиме высокого вакуума. Вакуумная система запускается, и после достижения стабильного уровня давления образец готов к сканированию. Когда основные параметры установлены, оператор настраивает фокусировку и коррекцию астигматизма для получения максимально четкого изображения. Фокусировка начинается на низком увеличении, обычно 100х, чтобы изучить всю поверхность образца и выбрать интересующую область. Затем увеличение постепенно увеличивается до рабочего уровня (500–2000х) или выше для детального анализа. Коррекция астигматизма выполняется для устранения искажений, особенно при увеличениях 5000х и выше. После завершения исследования вакуумная система микроскопа медленно разгерметизируется, чтобы не повредить образец при снижении давления и образец извлекается. Экспериментально исследовались формы частиц порошка в режиме

вторичных электронов, а также в режиме обратно рассеянных электронов. [14, с. 1-2]. Также был получен ЭДС анализ образца в виде порошка. Результаты показаны на рисунках 3 и 4.

Рентгенофазовый метод анализа использовали для изучения структуры, состава порошка, полученного из платы сим-карты.[15, с.383] Рентгенофазовые исследования образцов проводили на дифрактометре X'PertPRO. Съемку дифрактограмм проводили с использованием CuK α -излучении ($\lambda=1,54060$ Å) при напряжении 40 кВ, сила тока 30 мА, время экспозиции 0,5 с; шаг съемки $\delta 2\theta \sim 0,05^\circ$ и $2\theta = 10^\circ - 80^\circ$. Расшифровка дифрактограмм проводилась с использованием программы High Score и базы данных PDF-2.



Рисунок 2 – Плата сим-карты до и после измельчения

Результаты и обсуждения

На рисунках 3 показаны результаты СЭМ изображение поверхности образца в виде порошка. В таблице 3 приведены численные значения результатов суммарного спектра карты.

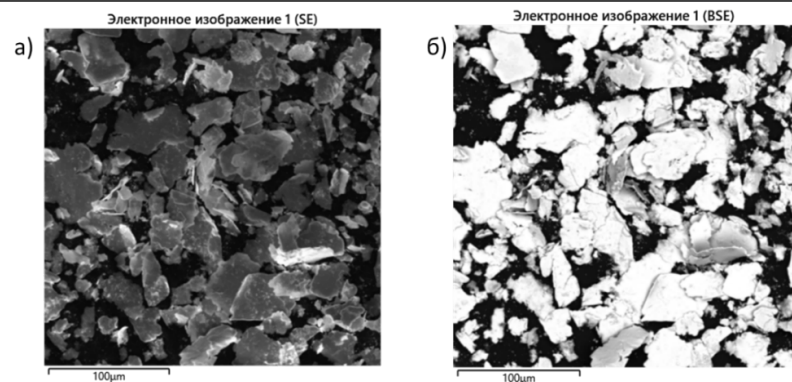


Рисунок 3 – СЭМ изображение поверхности образца в виде порошка:
а) в режиме вторичных электронов;
б) в режиме обратно рассеянных электронов

На основании электронно-микроскопических изображений (рисунок 3) было установлено, что форма частиц образца в порошковой форме в значительной степени зависит от метода их получения. Частицы могут иметь гексагональную, тетраэдрическую, сферическую, губчатую, осколочную или чешуйчатую форму. Полученные частицы – неправильной, угловатой формы, как правило, имеют размеры в диапазоне 5-80 мкм и, по всей видимости, состоят из более тонкодисперсных образований. [16, с. 45]

Элементное картирование с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) в сочетании со сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) позволило определить пространственное распределение различных элементов в порошкообразном образце.

Составное изображение (рис. 4) объединяет отдельные карты элементов и вторичное электронное изображение, наглядно демонстрируя корреляцию между морфологией частиц и их элементным составом.

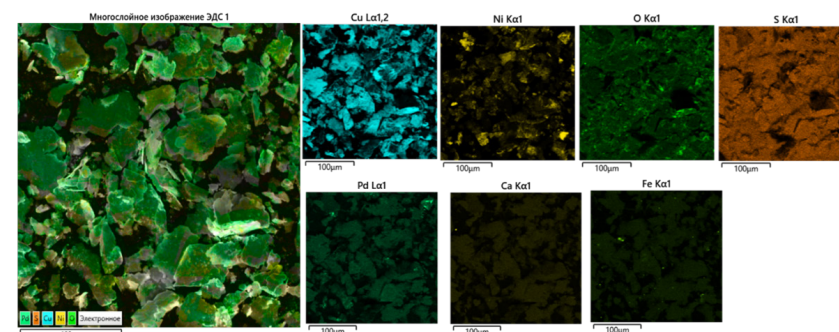


Рисунок 4 – Результат ЭДС анализа, полученный методом элементного картирования образца в виде порошка

Медь (Cu, голубой) является доминирующим элементом, присутствующим в большинстве частиц, что подтверждается высоким весовым содержанием, указанным в таблице 3. Никель (Ni, зеленый) также обнаружен в значительных количествах, причем его распределение в основном совпадает с медьсодержащими областями. Это свидетельствует о том, что образец представляет собой однородный сплав Cu-Ni в определенном масштабе.

Кислород (O, оранжевый) распределен неравномерно, с локальными областями повышенной концентрации, что может указывать на процессы окисления или образование поверхностных оксидов на отдельных частицах. Сера (S, желтый) и палладий (Pd, зеленый) обнаружены лишь в отдельных зонах. Их низкое суммарное содержание позволяет предположить, что они присутствуют в виде локализованных соединений, а не равномерно распределены по всему образцу.

В целом, элементные карты демонстрируют неоднородное распределение микроэлементов при однородном распределении Cu и Ni, что является важной информацией для оценки и прогнозирования свойств материала.

На спектре наблюдаются выраженные пики меди (Cu), что свидетельствует о ее преобладающем содержании в образце. Также отчетливо выражены пики никеля (Ni), что указывает на присутствие никельсодержащих фаз, вероятно, в составе сплава Cu-Ni.

Помимо основных элементов, на спектре присутствуют сигналы кислорода (O), что может свидетельствовать о частичном окислении поверхности частиц или наличии оксидных включений. Выявленные следовые количества серы (S) и палладия (Pd) указывают на возможное

присутствие примесных фаз или локализованных соединений в структуре материала.

Сравнение экспериментального спектра с теоретическим подтверждает соответствие элементного состава образца заявленной системе. Однако небольшие отклонения в интенсивности отдельных пиков могут быть связаны с различиями в распределении элементов на поверхности частиц, а также с эффектами взаимодействия электронного пучка с образцом.

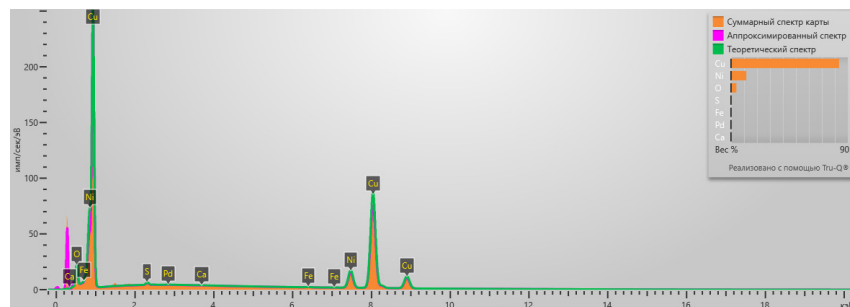


Рисунок 5 – Суммарный спектр карты ЭДС анализа образца в виде порошка

Таблица 1– Результаты элементного картирования поверхности образца в виде порошка

Элемент	Вес (%)	Сигма Вес (%)
O	4,21	0,01
S	0,37	0,00
Ca	0,03	0,00
Fe	0,16	0,00
Ni	11,83	0,01
Cu	83,25	0,01
Pd	0,15	0,01
Всего	100	

На рисунке 5 видны пики всех элементов, присутствующих в порошке. Сделанный ЭДС анализ подтверждает, что образец в виде порошка в основном состоит из меди. Вот краткое изложение основных выводов, сделанных на основе элементного анализа: Из результатов вот что мы получили, мас. %: O - 4,21, S - 0,37, Ca - 0,03, Fe - 0,16, Ni - 11,83, Cu - 83,25, Pb - 0,15. Как уже было

сказано, образец состоит преимущественно из меди, причем медь составляет более 83 % от общей массы. Никель составляет почти 12 % образца, что делает его значительным легирующим элементом. Присутствие никеля может повлиять на механические, электрические или химические свойства материала на основе меди. Кислород, сера, кальций, железо и палладий присутствуют в следовых количествах. Эти незначительные элементы могут быть примесями или намеренно добавленными легирующими элементами, присутствующими в низких концентрациях. Присутствие палладия (Pd) хоть и в малой доле, имеет большое значение.

Таблица 2 – Результаты рентгенофазового анализа образца в виде порошка

Полож. [°2θ]	Высота [имп]	FWHM слева [°2θ]	Межплоскостное расстояние [Å]	Отн. инт. [%]	Фаза
36,6104	24,08	0,4920	2,45460	2,53	-
43,4640	949,88	0,3936	2,08212	100,00	Cu
44,5556	108,78	0,1968	2,03361	11,45	Ni
50,6702	369,79	0,3936	1,80163	38,93	Cu
51,9899	43,18	0,2460	1,75896	4,55	Ni
74,2135	174,00	0,2952	1,27786	18,32	Cu

Согласно представленным данным рентгеновской дифракции (столбцы с 2θ, межплоскостным расстоянием, интенсивностью и фазовым обозначением), в образце явно обнаруживаются фазы меди (Cu) и никеля (Ni). Основная (наиболее интенсивная) линия при $2\theta \approx 43,46^\circ$ соответствует меди (интенсивность принята за 100%). Также наблюдаются рефлексы, относящиеся к никелю, в частности пики около $44,56^\circ$ и $50,67^\circ$. Это свидетельствует о том, что синтезированный нами порошок является наноматериалом.

Таблица 3 – Идентификация фаз по картам PDF-2
(Powder Diffraction File)

Номер карты в PDF-2	Название соединения	Смещ.[°2 θ]	Масштабный фактор	Хим. Формула
01-085-1326	Copper	0,000	0,642	Cu
01-070-0989	Nickel	0,000	0,093	Ni

Как мы уже упоминали, концентрация меди (Cu) и никеля (Ni) самая большая. Это видно в рентгеновской дифрактограмме образца в виде порошка (рисунок 6).

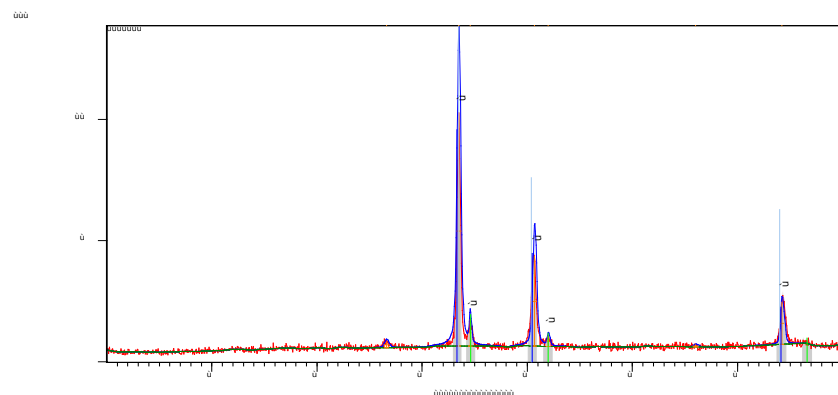


Рисунок 6 – Рентгеновская дифрактограмма образца в виде порошка

Информация о финансировании: Данное исследование было профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992854).

Выводы

В заключении образец представляет собой материал на основе меди, легированный значительным количеством никеля и лишь следовыми количествами других элементов. Также, в образце хоть и в малом количестве присутствует палладий, что свидетельствует нам о том, что даже в электронных отходах бывают редкоземельные металлы. Полученные данные отличаются высоким качеством, что позволяет с большей уверенностью делать выводы о составе образца. Внедрение этой технологии даст несомненный экономический эффект за счет дополнительного извлечения

ценных компонентов и улучшит экологическую обстановку в местах скопления техногенных отходов.[17, с.11-13]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Around the World. Alchemy of the XXI century : a way to extract gold from old SIM cards and cartridges has been found // Around the World. – 2024.
- 2 Ахметвалиева, З. М., Куленова, Н. А., Мамаяченков, С. В., Анисимова, О. С., Фокина, Е. Л. Влияние термической обработки на извлечение меди из электронных отходов // Изв. ВУЗов Цветная металлургия. – 2018. – № 2. – С. 21–27.
- 3 Park Y. J., Fray D. J. Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards // J. Hazard. Mater. – 2009. – Т. 164. – Р. 1152–1158.
- 4 Huber D. How gold is extracted from old SIM cards // Influence 2025. – 2018.
- 5 Муравьева, М. И., Булаев, А. Г., Меламуд, В. С., Кондратьева, Т. Ф. Выщелачивание редкоземельных металлов из золошлаковых отходов с использованием ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов // Микробиология. – 2015. – Т. 84, № 2. – С. 216–224.
- 6 Исупов, А. С. Рентгенофазовый анализ оксида железа, механически обработанного в шаровой мельнице // Томский политехнический университет, Томск. – 2021.
- 7 Сарычев, Г. А., Стриханов, М. Н. Развитие сырьевых и техногенных источников редкоземельных металлов, программный метод и комплексный подход к созданию мощностей по производству РЗМ // Цветные металлы. – 2012. – № 3. – С. 5–12.
- 8 Санакулов, К. С., Эргашев, У. А. Теория и практика переработки упорных золотоносных руд Кызылкума // Ташкент : Государственный научно-исследовательский институт минеральных ресурсов. – 2014. – С. 36–37.
- 9 Санакулов, К., Эргашев, У. А., Хамидов, Р. А. Современные методы переработки упорных золотоносных руд // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – № 4. – С. 45–49.
- 10 Крылова, Л. Н., Вигандт, К. А., Сароханова, Л. Е., Адамов, Е. В., Чжэн Чжихун. Преимущества и недостатки биоокислительных технологий для сульфидных концентратов // Цветные металлы. – 2013. – № 11.
- 11 Хамидов, Р. А., Нарзуллаев, Ж. Н. Перспективы раздельной переработки пенного продукта бактериального окисления золотоносных руд // Современные тенденции и инновации в науке и промышленности. – 2021. – С. 177.1–177.4.

12 Кузовникова, Л. А., Денисова, Е. А., Чеканова, Л. А. Высокодисперсные композиционные порошки – получение, исследование, применение // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 2. – С. 73–74.

13 Sat Nano. Methods for preparing nanometer powder samples for SEM imaging // Technical Articles. – 2023.

14 Кузнецов, В. Г., Курбанов, Т. А., Прокофьев, А. В. Плазмохимический синтез функциональных углеродных композиционных материалов на основе вакуумно-дугового разряда // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9. – С. 1–2.

15 Нормурадов, М. Т., Ходжиев, С. Т., Ахмедова, Л. Б., Косимов, И. О., Давлатов, М. А., Довранов, К. Т. Особенности BaTiO₃ в электронной и рентгеновской спектроскопии // BIO Web of Conferences. – 2021. – № 82(4). – С. 383.

16 Жогаштиев, Н. Т. Электронно-микроскопическое исследование углеродных порошков и их композитов // Вестник науки и практики. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 44–48.

17 Самадов, А. У., Хужакулов, Н. Б., Хужамов, У. У. Методология геотехнологического исследования отходов хранилищ гидрометаллургических заводов // Горный вестник Узбекистана. – 2019. – № 2. – С. 11–13.

REFERENCES

1 Around the World. Alchemy of the XXI century: a way to extract gold from old SIM cards and cartridges has been found // Around the World. – 2024.

2 Akhmetvalieva, Z. M., Kulenova, N. A., Mamayachenkov, S. V., Anisimova, O. S., Fokina, E. L. Vliyanie termicheskoy obrabotki na izvlechenie medi iz elektronnykh otkhodov [Effect of heat treatment on copper extraction from electronic waste] // Izv. VUZov Tsvetnaya metallurgiya. – 2018. – No. 2. – P. 21–27.

3 Park Y. J., Fray D. J. Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 164. – P. 1152–1158.

4 Huber D. How gold is extracted from old SIM cards // Influence 2025. – 2018.

5 Muravyeva, M. I., Bulaev, A. G., Melamud, V. S., Kondratyeva, T. F. Vyshchelachivanie redkozemel'nykh metallov iz zoloshlakovykh otkhodov s ispol'zovaniem atsidofil'nykh khemolitotrofnykh mikroorganizmov [Leaching of rare earth metals from ash and slag waste using acidophilic chemolithotrophic microorganisms] // Mikrobiologiya. – 2015. – Vol. 84, No. 2. – P. 216–224.

6 Isupov, A. S. Rentgenofazovyy analiz oksida zheleza, mekhanicheski obrabotannogo v sharovoy mel'nitse [X-ray phase analysis of iron oxide mechanically processed in a ball mill] // Tomsk Polytechnic University, Tomsk. – 2021.

7 Sarychev, G. A., Strikhanov, M. N. Razvitie syr'evykh i tekhnogennykh istochnikov redkozemel'nykh metallov, programmnoy metod i kompleksnyy podkhod k sozdaniyu moshchnostey po proizvodstvu RZM [Development of raw and technogenic sources of rare earth metals, software method and an integrated approach to creating REE production facilities] // Tsvetnye metally. – 2012. – No. 3. – P. 5–12.

8 Sanakulov, K. S., Ergashev, U. A. Teoriya i praktika pererabotki upornykh zolotonosnykh rud Kyzylkuma [Theory and practice of refractory gold ore processing in Kyzylkum] // State Research Institute of Mineral Resources, Tashkent. – 2014. – P. 36–37.

9 Sanakulov, K., Ergashev, U. A., Khamidov, R. A. Sovremennyye metody pererabotki upornykh zolotonosnykh rud [Modern methods of refractory gold ore processing] // Gornyy vestnik Uzbekistana. – 2020. – No. 4. – P. 45–49.

10 Krylova, L. N., Vigandt, K. A., Sarokhanova, L. E., Adamov, E. V., Zheng Zhihun. Preimushchestva i nedostatki biooksidatsionnykh tekhnologiy dlya sul'fidnykh kontsentratorov [Advantages and disadvantages of biooxidation technologies for sulfide concentrates] // Tsvetnye metally. – 2013. – No. 11.

11 Khamidov, R. A., Narzullaev, Zh. N. Perspektivy razdel'noy pererabotki pennogo produkta bakterial'nogo okisleniya zolotonosnykh rud [Prospects for separate processing of the froth product of bacterial oxidation of gold-bearing ores] // Sovremennyye tendentsii i innovatsii v nauke i promyshlennosti. – 2021. – P. 177.1–177.4.

12 Kuzovnikova, L. A., Denisova, E. A., Chekanova, L. A. Vysokodispersnyye kompozitsionnye poroshki – poluchenie, issledovanie, primeneniye [Highly dispersed composite powders – production, research, application] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2005. – No. 2. – P. 73–74.

13 Sat Nano. Methods for preparing nanometer powder samples for SEM imaging // Technical Articles. – 2023.

14 Kuznetsov, V. G., Kurbanov, T. A., Prokof'ev, A. V. Plazmokhimicheskiy sintez funktsional'nykh uglerodnykh kompozitsionnykh materialov na osnove vakuumno-dugovogo razryada [Plasma-chemical synthesis of functional carbon composite materials based on vacuum arc discharge] // Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. – 2018. – Vol. 9. – P. 1–2.

15 Normuradov, M. T., Khodzhiev, S. T., Akhmedova, L. B., Kosimov, I. O., Davlatov, M. A., Dovranov, K. T. Osobennosti BaTiO₃ v elektronnoy

i rentgenovskoy spektroskopii [Features of BaTiO₃ in electronic and X-ray spectroscopy] // BIO Web of Conferences. – 2021. – No. 82(4). – P. 383.

16 Zhogashtiev, N. T. Elektronno-mikroskopicheskoe issledovanie uglerodnykh poroshkov i ikh kompozitov [Electron-microscopic study of carbon powders and their composites] // Vestnik nauki i praktiki. – 2020. – Vol. 6, No. 3. – P. 44–48.

17 Samadov, A. U., Khuzhakulov, N. B., Khuzhamov, U. U. Metodologiya geotekhnologicheskogo issledovaniya otkhodokhranilishch gidrometallurgicheskikh zavodov [Methodology of geotechnological research of tailings storage facilities of hydrometallurgical plants] // Gornyy vestnik Uzbekistana. – 2019. – No. 2. – P. 11–13.

**Б. К. Рахадиллов¹, *А. Б. Кенесбеков², Н. М. Магазов³,
А. Е. Кусайнов⁴, А. Д. Толеужанова⁵**

^{1,2,5}PlasmaScience ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы;

^{2,3,4,5}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы

МЫС ҰНТАҒЫНЫҢ МИКРОСТРУКТУРАСЫ МЕН ФАЗАЛЫҚ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Осы жұмыста мыс ұнтағын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу барысында ұнтақтың микроструктурасы мен фазалық құрамы анықталуы қажет. Бұл үшін келесі жабдықтар қолданылады: TESCAN VEGA 4 сканирлеуші электронды микроскопы және X'PertPRO рентгенфазалық дифрактометр. Осы жұмыста SIM-карталарды қайта өңдеу процесі олардың құрамын зерттеу мақсатында талданады. Бірінші кезеңде SIM-карталардың пластикалық бөлігі арнайы X ерітіндісінде ериді, бұл олардың құрылымының бұзылуына және микросхемалардың бөлінуіне әкеледі. Одан кейін алынған материал механикалық өңдеуден өтеді, нәтижесінде SIM-картаның әртүрлі компоненттерінің фрагменттерінен тұратын жоңқа түзіледі. Кейіннен жоңқа шарлы диірменде ұсақталып, микроскопиялық өлшемдегі ұнтаққа айналады. Алынған ұнтақ тәрізді материал сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) пен энергодисперсиялық спектроскопия (ЭДС) әдістерін қолдана отырып зерттеледі. Сонымен қатар, рентгенфазалық талдау әдісі дифрактометр көмегімен жүргізіледі. Элементтік құрамды егжей-тегжейлі зерттеу барысында мыс пен оның қосылыстарының басым екені анықталды, сондай-ақ

қоспа элементтерінің бар екендігі анықталды. СЭМ-зерттеу үлгіні жоңқа түрінде талдауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, энергодисперсиялық спектроскопия (ЭДС) көмегімен үлгінің бетін элементтік карталау жүргізілді. Нәтижелер зерттелген үлгінің негізінен мыстан тұратынын, сондай-ақ палладийдің анықталуы сирек жер элементтерінің бар екенін көрсететінін айқындады. Алынған мәліметтер жоғары термотұрақты электронды компоненттерді жасауға, сондай-ақ оларды болашақта қолдану үшін пайдалы болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: SIM-карта, мыс ұнтағы, фазалық құрам, сканерлеуші электронды микроскопия, энергодисперсиялық спектроскопия, рентгенфазалық дифрактометр.

**B. K. Rakhadilov¹, *A. B. Kenesbekov²,
N. M. Magazov³, A. E. Kusaynov⁴, A. D. Toleuzhanova⁵**

^{1,2,5}PlasmaScience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

^{2,3,4,5}D. Serikbayev East Kazakhstan technical university.

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF COPPER POWDER

This study presents the results of an investigation into the copper powder obtained from SIM cards. During the research, the microstructure and phase composition of the powder's elements were analyzed. For this purpose, the following equipment was used: TESCAN VEGA 4 scanning electron microscope and X'PertPRO X-ray phase diffractometer. This study examines the recycling process of SIM cards to determine their composition. In the first stage, the plastic part of the SIM cards is dissolved in a special solution X, leading to the destruction of their structure and the separation of microcircuits. The obtained material then undergoes mechanical processing, resulting in the formation of shavings composed of fragments of various SIM card components. Next, the shavings are ground in a ball mill until they become a microscopic powder. The resulting powder material is analyzed using scanning electron microscopy (SEM) in combination with energy-dispersive spectroscopy (EDS), as well as by X-ray phase analysis using a diffractometer. A detailed examination of the elemental composition revealed the predominance of copper and its compounds, as well as the presence of impurity elements. SEM analysis allowed for the examination of the sample in the form of shavings. Additionally, elemental mapping of the sample surface was conducted

using energy-dispersive spectroscopy (EDS). The results showed that the investigated sample consists predominantly of copper, and the detection of palladium indicates the presence of rare earth elements. The obtained data may be useful for the development of more heat-resistant electronic components and their further application.

Keywords: SIM card, copper powder, phase composition, scanning electron microscopy, energy-dispersive spectroscopy, X-ray phase diffractometer.

MPHTI 29.19.16: 29.19.22: 29.19.31:

DOI

Ж. Кули^{1,2}, Н. Б. Бакранов¹, Б. Ж. Сейтов³, *Д. И. Бакранова⁴

¹«Research Group altAir nanolab», Казахстан, г. Алматы

²Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

³Международный казахско-турецкий университет
имени Х. А. Ясави, Туркестан, Казахстан

⁴SDU University, Казахстан, г. Каскелен

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4577-6510>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-7028>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

*e-mail: dinabakranova@gmail.com

СИНТЕЗ ZNO НАНОСТЕРЖНЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ ПРЕКУРСОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

В данной работе представлен синтез наностержней оксида цинка (ZnO) методом гидротермального роста с варьированием концентраций Zn^{2+} и НМТА. Исследовано влияние условий синтеза на морфологические и структурные характеристики образцов. Пять образцов были синтезированы при различных концентрациях прекурсора. Образцы охарактеризованы методами UV-Vis спектроскопии, рентгеноструктурного анализа (XRD), сканирующей электронной микроскопии (SEM) и атомной силовой микроскопии (AFM). Эти инструменты определения характеристик предоставляют нам типичную информацию о кристаллической структуре, уровне кристалличности, форме, размере, размерностных характеристиках физических, оптических свойств ZnO. С помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) и рентгеновской дифрактометрии (XRD) установлена высокая степень кристалличности полученных наноструктур. Спектры поглощения показывают заметное изменение оптических свойств в зависимости от условий синтеза. Наилучшие оптические и кристаллические характеристики показал образец при концентрации 0.03 моль/л, продемонстрировав хорошее поглощение в ультрафиолетовой (УФ) области и выраженные дифракционные

ники (100), (002), (101), соответствующие гексагональной фазе ZnO. Представленные результаты подчеркивают значимость управления параметрами синтеза для оптимизации свойств ZnO наностержней с целью их применения в приложениях фотоэлектрокатализа и оптоэлектроники.

Ключевые слова: оксид цинка, наностержни, гидротермальный синтез, фотоэлектрохимия, расщепление воды, НМТА.

Введение

Фотоэлектрохимическое (ФЭХ) расщепление воды представляет собой перспективный способ устойчивого производства водорода с использованием солнечной энергии [1,2]. Принцип работы ФЭХ-систем основан на использовании полупроводников, способных поглощать свет и создавать фотоиндуцированные носители заряда, достаточные по энергии для протекания окислительно-восстановительных реакций. Выбор подходящего материала является ключевым моментом в повышении эффективности процессов расщепления воды. Среди прочих, особый интерес вызывают недорогие, стабильные и экологически безопасные оксидные полупроводники. Однако остаются проблемы, связанные с повышением эффективности: использование длинноволновых фотонов, улучшение реакции на разных длинах волн и увеличение стабильности полупроводников [1; 2].

Основная задача – управление свойствами полупроводников, поскольку они определяют эффективность фотовозбуждения и доставки носителей заряда к поверхности расщепления воды. Модификации поверхности важны для активации материалов, улучшения разделения зарядов и повышения стабильности. Также большую роль играют снижение сопротивления и создание р–п-переходов. Точная оценка активности фотокаталитических и фотоэлектрохимических систем необходима для корректного сравнения различных подходов [3].

Одним из наиболее исследуемых материалов для ФЭХ-приложений является оксид цинка (ZnO), обладающий прямой шириной запрещенной зоны (~3,3 эВ), высокой подвижностью электронов и хорошей фоточувствительностью в ультрафиолетовой области [4]. ZnO относится к полупроводникам типа АII-BVI. В сочетании с тройными и четвертичными сплавами бинарные соединения элементов группы II (Zn, Cd, Hg) с элементами группы VI (O, S, Se, Te) формируют широкий класс полупроводников и полуметаллов с разнообразными оптоэлектронными свойствами. ZnO представляет собой широкозонный полупроводник, преимущественно кристаллизующийся в гексагональной структуре

типа вюрцита, и характеризуется прямым запрещённым переходом с шириной запрещённой зоны около 3,4 эВ, что соответствует ближнему ультрафиолетовому диапазону. Благодаря широкой запрещённой зоне ZnO прозрачен для видимого света, что делает его перспективным материалом для создания композитов для оптоэлектронных устройств и фотокатализа [5]. Особый интерес представляет морфология в виде наностержней и нанотрубок, которые, как показано в ряде работ, обладают высокой эффективностью при ФЭХ реакции за счёт направленного переноса носителей заряда и увеличенной площади поверхности [5; 6]. Кроме того, методы низкотемпературного синтеза позволяют регулировать морфологию и кристаллическую структуру наностержней [6].

Существует широкий спектр методов синтеза наночастиц ZnO, включая золь-гель метод [7], химическое осаждение из раствора (CVD) [8], химическое осаждение из газовой фазы, пиролитический метод [9], электрохимическое осаждение [10] и другие. Среди них гидротермальный синтез и электрохимическое осаждение выделяются своей относительной простотой реализации, доступностью оборудования и возможностью получения структур с высокой степенью кристалличности при сравнительно низких температурах. В данной работе описан синтез пяти образцов при различных молярных концентрациях цинкового прекурсора. Полученные материалы охарактеризованы методами UV-Vis спектроскопии, рентгеноструктурного анализа (XRD), сканирующей электронной микроскопии (SEM) и атомно силовой микроскопии (AFM). На основании анализа результатов определена оптимальная концентрация для получения наноструктур с наилучшими характеристиками.

Результаты позволяют установить связь между условиями синтеза и формированием морфологии наностержней, а также выявить оптимальные параметры, обеспечивающие улучшенные свойства ZnO для возможного применения в ФЭХ процессах [11].

Материалы и методы

Для обеспечения ориентированного роста ZnO наностержней на подложках из фторсодержащего оксида олова (FTO) предварительно наносили тонкий затравочный слой. Подложки последовательно очищали в ультразвуковой ванне в среде ацетона, затем в изопропанол и, с последующим ополаскиванием в дистиллированной воде.

Раствор для нанесения затравочного слоя готовили путём растворения 0,1 г цинк $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (далее ZnAC) в 10 мл изопропанола при температуре 70 °C с перемешиванием на магнитной мешалке до получения прозрачного раствора для достижения прозрачности. Полученный раствор наносили на поверхность подложки по 0,05мл методом spin-coating при

скорости 3000 об/мин в течение 20 секунд. Процесс повторялся 4 раза для достижения равномерного покрытия с последовательной сушкой при температуре 100 °С. Сформированные слои подвергались обжигу при 350 °С в течение 1,5 часов на воздухе.

Формирование наностержней ZnO проводился в режиме гидротермального синтеза. Коротко для ZnO#1, в 50 мл дистиллированной воды растворяли 0,439 г ZnAC и 0,280 г НМТА. Подложка затравочным слоем помещалась в стакан. Стакан помещали на магнитную мешалку с нагревом и контролем температуры (Рисунок 1). Реакцию проводили при температуре 90 °С в течение 90 минут при скорости перемешивания 150–200 об/мин. Контроль температуры осуществлялся термопарой, погружённой в раствор.

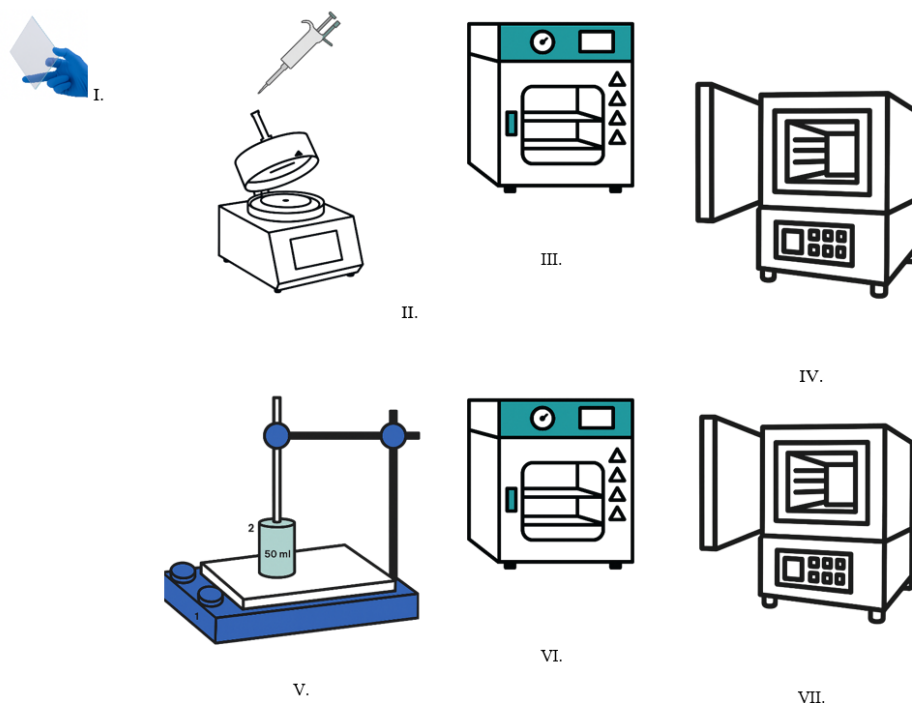


Рисунок 1 – I – Подготовка FTO-стекол (резка, очистка, обработка ультразвуком). II – Нанесение затравочного слоя методом spin-coating. III – Сушка покрытого FTO-стекла в сушильном шкафу (при температуре 100 °С, 10 мин). IV – Обжиг (отжиг) затравочного слоя в муфельной печи. V –

Установка для гидротермального синтеза: 1 – Магнитная мешалка с функцией подогрева, 2 — Реакционный стакан объёмом 50 мл, содержащий раствор ZnAC и НМТА в дистиллированной воде. VI, VII – Этапы повторной сушки и отжига после роста наноструктур

Талица 1 – содержит данные состава раствора гидротермального синтеза для пяти образцов.

Таблица 1. Молярные концентрации и массы прекурсоров, использованных для синтеза ZnO наностержней (объём раствора – 50 мл)

№ образца	М(ZnAC), моль/л	Масса ZnAC, г	М(НМТА), моль/л	М(НМТА), г
ZnO#1	0.040	0.439	0.040	0.040
ZnO#2	0.030	0.329	0.030	0.030
ZnO#3	0.020	0.219	0.020	0.020
ZnO#4	0.010	0.109	0.010	0.010
ZnO#5	0.005	0.055	0.005	0.005

По завершению синтеза образцы подвергались отжигу в муфельной печи при 350 °С в течение 90 минут.

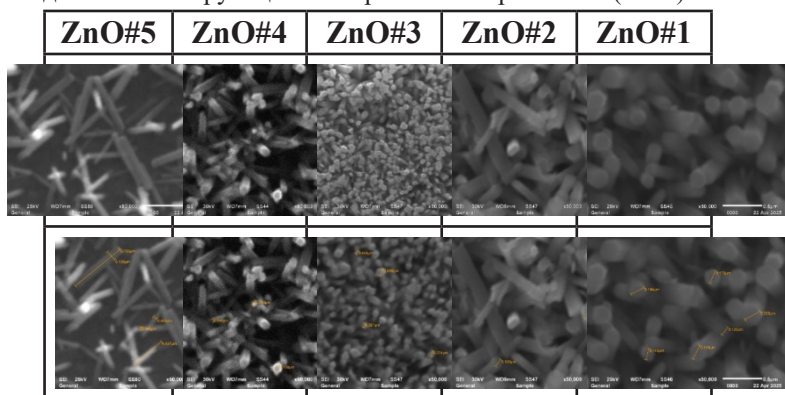
Результаты и обсуждение

Все полученные образцы были охарактеризованы с использованием комплекса аналитических методов. Топография поверхности исследована методом AFM на установке NT-MDT NTEGRA Prima. Полученные изображения демонстрируют форму и распределение наноструктур, от затравочного слоя до формирующихся наностержней ZnO. Высота затравочного слоя варьируется в диапазоне от 50–100 нм, при этом высота сформированных наностержней достигает 400–1200 нм, в зависимости от концентрации прекурсоров. XRD проводился с использованием дифрактометра Malvern PANalytical X'Pert Pro MPD (излучение CuK α , λ = 1,54056 Å, 30 кВ, 10 мА). На всех образцах наблюдались характерные дифракционные пики плоскостей (100), (002) и (101), соответствующие гексагональной кристаллической структуре ZnO типа вюрцита. Интенсивность этих пиков различалась в зависимости от молярной концентрации прекурсоров, что указывает на влияние состава раствора на кристалличность полученного материала.

Микроструктура и форма наностержней также были подтверждены методом SEM на приборе JEOL JSM-6510LA. Кроме того, оптические свойства были исследованы с использованием спектрофотометра Peak Instruments C-7200 UV-Vis (300–700 нм). Спектры показывают характерное поглощение в ультрафиолетовой области и прозрачность в видимом диапазоне.

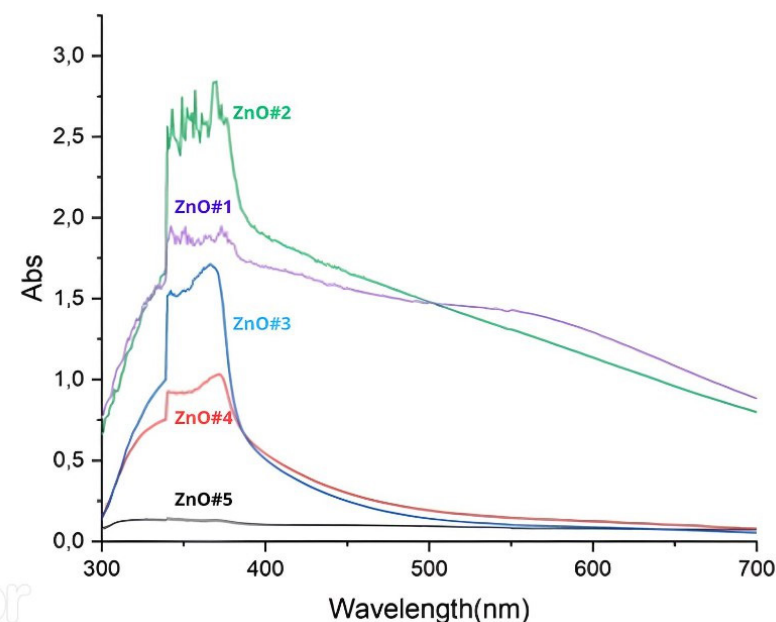
Анализ SEM снимков. Согласно Таблице 2, характеризующей морфологию поверхности пяти образцов ZnO, наблюдается формирование типичной гексагональной формы наностержней и относящиеся к одномерным наноматериалам, что подтверждает их кристаллическую природу. Однако структура заметно различается по таким параметрам, как диаметр, длина стержней и плотность покрытия на единицу площади, в зависимости от молярной концентрации прекурсоров. Для образца ZnO#1 диаметр наностержней варьируется в пределах ~100–200 нм, при этом высота по данным AFM достигает 1100–1200 нм. Образец ZnO#2 демонстрирует умеренное снижение диаметра наностержней (от 100 до 180 нм), а также диапазон высот от 400 до 1200 нм, с чуть меньшей плотностью упаковки.

Таблица 2 – Морфологические характеристики наноструктур ZnO по данным сканирующей электронной микроскопии (SEM)



В случае ZnO#3 диаметр наностержней составляет ~60–120 нм, а высота 400–600 нм. Кроме того, визуально отмечается увеличение межстержневого расстояния, что может быть связано с недостатком масс прекурсоров при синтезе. Несмотря на это, именно данный образец продемонстрировал наилучшее сочетание ультрафиолетового поглощения и прозрачности в видимом диапазоне, о чём подробно будет сказано в следующем разделе, посвящённом UV-Vis спектроскопии. ZnO#4 характеризуется наименьшими размерами: диаметр составляет 40–100 нм, высота – до 400 нм, при

этом наблюдается значительное снижение плотности наностержней на поверхности подложки. Наиболее неудовлетворительные результаты были получены для образца ZnO#5. Несмотря на наличие отдельных наностержней, их концентрация на единицу площади крайне низка, что затрудняет формирование однородного и плотного слоя. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что диаметр стержней составляет примерно 40–70 нм, а их длина варьируется в пределах 600–700 нм. Наблюдаемое морфологическое распределение указывает на то, что при крайне низкой концентрации прекурсоров значительная их часть кристаллизовалась в виде вторичного затравочного слоя, вместо формирования полноценного равномерного массива наностержней.



Оптический анализ образцов. На рисунке 2 представлены спектры оптического поглощения наностержней ZnO, синтезированных при различных концентрациях прекурсоров (ZnO#1–ZnO#5).

Рисунок 2 – Спектры поглощения (UV-Vis) наностержней ZnO, синтезированных при различных концентрациях прекурсора (ZnO#1–ZnO#5)

Все образцы демонстрируют типичное для ZnO интенсивное поглощение в ультрафиолетовом диапазоне (300–400 нм), соответствующее

широкой запрещённой зоне ($\sim 3,2\text{--}3,4$ эВ), пик поглощения ZnO обычно наблюдается в диапазоне 360–380 нм [10]. Однако интенсивность и форма спектров различаются. ZnO#3 демонстрирует оптимальный профиль: чёткое УФ-поглощение с резким спадом и низкой абсорбцией в области видимого света. Это делает его перспективным для PEC и оптических применений. ZnO#1 и ZnO#2 показывают более высокие уровни абсорбции как в УФ, так и в видимом диапазоне, что может указывать на более плотную морфологию или наличие дефектов, способствующих подповерхностному рассеянию. ZnO#5 характеризуется самым низким уровнем поглощения, что связано с отсутствием плотного наноструктурного слоя (как подтверждается SEM и AFM анализами)., ZnO#3 демонстрирует заметно оптимальную абсорбцию в УФ диапазоне и плавно переходящую прозрачность в видимом спектре (380-750 нм), что крайне важно для синтеза гетероструктур таких как ZnO/BiVO₄ [12]

Рентгеноструктурный анализ. На рисунке 3 представлены дифрактограммы пяти образцов ZnO (ZnO#1–ZnO#5), синтезированных при различных концентрациях прекурсоров.

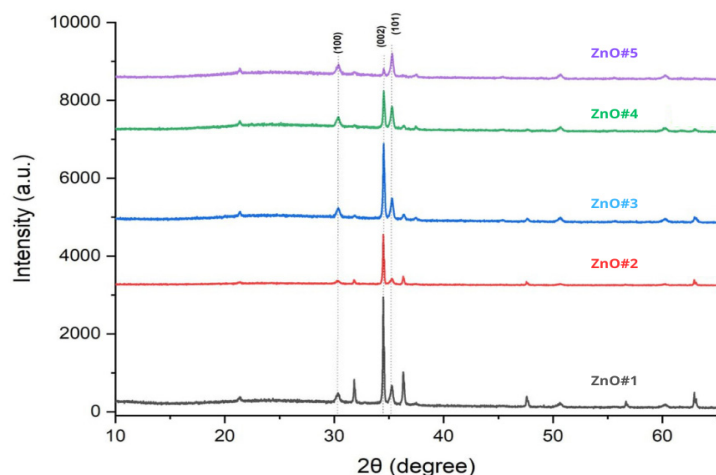


Рисунок 3 – Рентгеноструктурный анализ наностержней ZnO (ZnO#1–ZnO#5)

Во всех образцах чётко наблюдаются дифракционные пики, соответствующие плоскостям (100), (002) и (101), что свидетельствует о формировании гексагональной кристаллической структуры ZnO типа вюрцит. Кристаллическая решётка ZnO относится к пространственной группе $mc(v)$. Согласно литературным данным [13], идеальные параметры решётки составляют $a=b=0,32539$ нм и $c=0,52098$ нм, при характерном соотношении $c/a \approx 1,6333$, что подтверждает направленный рост вюрцитной фазы.

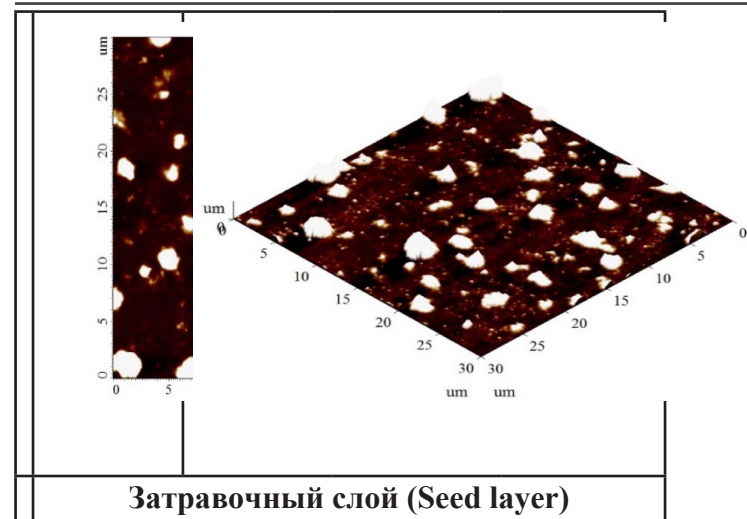
Особенно интенсивно проявляется рефлекс по плоскости (002), что указывает на предпочтительный рост наностержней вдоль оси c , перпендикулярно подложке – характерный признак направленного гидротермального синтеза. Образец ZnO#3 продемонстрировал наилучшее сочетание высокой интенсивности и узости пиков, что отражает его высокую степень кристалличности и структурной упорядоченности.

Для идентификации фазового состава использовалась база данных ICDD PDF-2 (карточка № 01-075-0576). В ней указано, что ZnO кристаллизуется в пространственной группе mc (№186) с параметрами решётки $a=b=3,243$ Å, $c=5,195$ Å и соотношением $c/a=1,602$, близким к теоретическому. Молярная масса соединения составляет 81,38 г/моль, а плотность – 5,713 г/см³.

Анализ AFM снимков. В таблице 3 представлены изображения атомно-силового микроскопа поверхности образцов ZnO#1 – ZnO#4 и затравочного слоя.

Таблица 3 – Атомно-силовые микроскопические (AFM) изображения поверхности образцов ZnO#1 – ZnO#4 и затравочного слоя (Seed layer)

ZnO#4	ZnO#3	ZnO#2	ZnO#1



Из таблицы видно, что образец ZnO#1 демонстрирует однородное покрытие с плотным массивом наноструктур. Максимальная высота зерен по шкале составляет до $\sim 0,8\text{--}1,2$ мкм, что свидетельствует о равномерном росте и хорошем распределении зерен ZnO на поверхности подложки. Образец ZnO#2 показывает более выраженную структуру с увеличенными элементами, достигающими до $650\text{--}700$ нм по высоте, а также наличием локальных агломератов. Структура выглядит упорядоченной, но несколько более грубой по сравнению с ZnO#1. Образец ZnO#3 характеризуется снижением как диаметра, так и высоты наноструктур – визуально поверхность выглядит менее плотной от этого и более высока прозрачность, что описывалась ранее. Максимальная высота структуры не превышает ~ 450 нм, что подтверждает влияние уменьшенной концентрации прекурсора на скорость роста наностержней. Образец ZnO#4 имеет наименьшую выраженность вертикальных элементов, большинство структур плоские, с высотой не более $\sim 300\text{--}350$ нм. Это свидетельствует о том, что при недостатке материала затруднен рост вытянутых наностержней, и, как следствие, поверхность становится более неоднородной. Получить атомно-силовые изображения поверхности образца ZnO#5 не удалось, что указывает на крайне низкое качество и плотность сформированного наноструктурного слоя. Этот результат подчёркивает критическую важность точного подбора концентрации прекурсоров и объёма реакционного раствора при гидротермальном синтезе. При недостаточной концентрации не формируется сплошной массив наностержней, а избыток приводит к преждевременной кристаллизации в объёме раствора, в результате чего образуются слишком

толстые, рыхлые и неконтролируемые структуры. Такие массивы, как правило, непригодны для фотоэлектрохимических применений, так как ухудшаются оптические свойства, нарушается перенос носителей заряда и повышается вероятность рекомбинации.

В таблице представлены 2D и 3D изображения затравочного слоя оксида цинка, на которых отчётливо видны изолированные зерна преимущественно конической или куполообразной формы, равномерно распределённые по поверхности подложки. Высота зерен варьируется от ~ 100 до 400 нм, при этом основная часть частиц имеет размеры в пределах $100\text{--}200$ нм. Поверхность демонстрирует выраженную нанощероховатость, что способствует активной нуклеации и направленному росту ZnO наностержней в процессе гидротермального синтеза. Однако плотность зерен на единицу площади остаётся сравнительно низкой, что указывает на неполное покрытие подложки и необходимость оптимизации условий нанесения или состава раствора. В этой связи представляется перспективным использование метода dip-coating, способного обеспечить более равномерное распределение слоя ZnO [13]. Альтернативным подходом может стать метод SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction), основанный на последовательных циклах погружения подложки в катионные и анионные растворы с промежуточной промывкой [14]. Таким образом, полученные характеристики затравочного слоя подтверждают его пригодность для направленного роста ZnO наноструктур, одновременно указывая на потенциальные пути повышения равномерности покрытия.

Фотоэлектрохимическое измерение с линейным вольтамперным сканированием. Фотоэлектрохимические измерения были выполнены методом линейного вольтамперного сканирования (PEC-LSV) в диапазоне потенциалов от 0 до $+1,0$ В относительно Ag/AgCl с использованием потенциостата/гальваностата в трёхэлектродной конфигурации. В качестве рабочего электрода использовался образец ZnO#3, представляющий собой наностержни ZnO, синтезированные на подложке ITO и изолированные эпоксидной смолой с открытой рабочей площадью 1 см^2 . В качестве противоэлектрода применялась платиновая пластина размером $0,5 \times 0,5$ см, а в качестве электрода сравнения – Ag/AgCl (KCl sat.).

Измерения проводились под естественным солнечным освещением в полевых условиях на открытом воздухе по координатам $43,2363533\text{ N}$, $76,9318693\text{ E}$ (г. Алматы, Казахстан) 29 мая 2025 года в промежутке между $12:10$ и $15:00$ по местному времени. В качестве электролита использовался $0,5\text{ M}$ раствор сульфата натрия (Na_2SO_4) в объёме 80 мл , поскольку данный электролит является химически инертным и неагрессивным по отношению к наноструктурам ZnO и показал высокую функциональность в ряде научных

работ [10,11,13-15], обеспечивая стабильную ионную проводимость в процессе фотоэлектрохимических измерений. Электропроводность раствора контролировалась до и после эксперимента с использованием кондуктометра HQ14d (CDC401): начальное значение составило 75,5 мС/см, а финальное – 75,1 мС/см. Незначительное снижение проводимости подтверждает стабильность электролита и отсутствие существенного ионного обмена или разрушения ZnO в процессе PEC-анализа.

Анализ вольтамперной характеристики продемонстрировал стабильный рост фототока в диапазоне потенциалов от 0 до 0,16 В, что указывает на надёжную фотоактивность синтезированного материала при низких анодных напряжениях. Несмотря на то, что измерения планировались до +1,0 В, дальнейшая запись данных была прервана в результате неожиданного отключения питания, в связи с чем оставшаяся часть графика отсутствует. Начальное значение тока составляло около 2,5 мА, при этом максимальный ток достигал ~4,0 мА на уровне 0,16 В, что подтверждает эффективную генерацию и транспорт фотогенерируемых носителей заряда. Наличие незначительных флуктуаций на кривой в области 0,08–0,14 В может быть связано с поверхностными неоднородностями, изменениями интенсивности освещения, например, переменная облачность или интерфейсными эффектами, возникающими на границе раздела электрод/электролит. В целом, полученные результаты указывают на работоспособность и чувствительность ZnO#3 при солнечном освещении, а также демонстрируют его перспективность для применения в фотоэлектрохимических (PEC) устройствах. Некоторые подробные детали эксперимента показаны на рисунке 4.

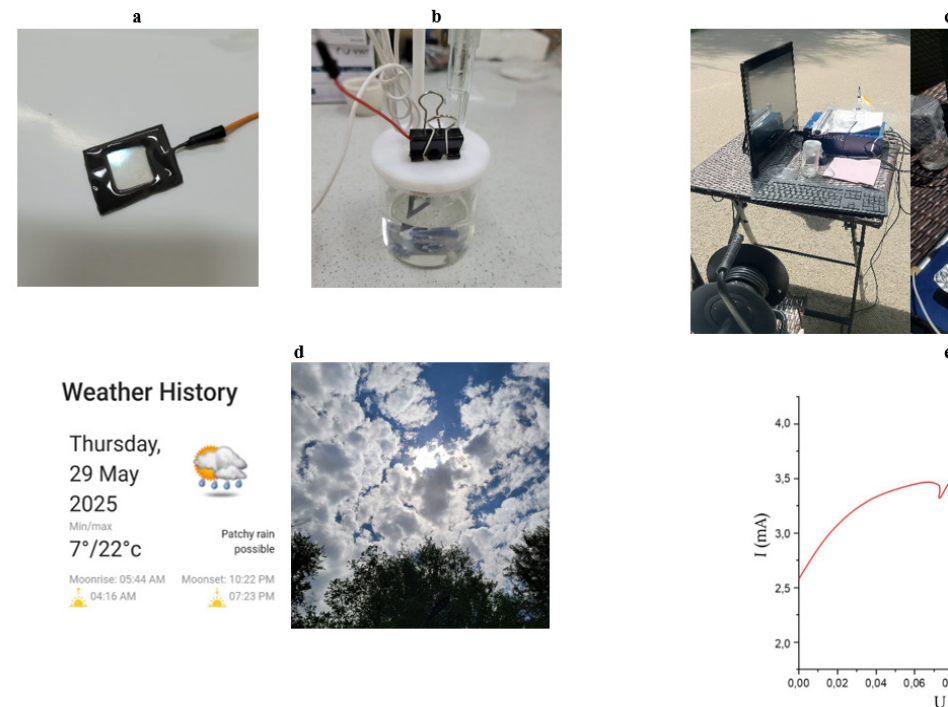


Рисунок 4 – Фотоэлектрохимическое измерение фототока под естественным солнечным освещением в полевых условиях. (а) Подготовленный рабочий электрод: наностержни ZnO#3 на подложке ИТО с площадью 1 см², изолированной эпоксидной смолой. (б) Сборка трёхэлектродной PEC-ячейки с 0,5 М раствором Na₂SO₄ в качестве электролита. (с) Общий вид экспериментальной установки: подключение потенциостата, ноутбука и фотоэлектрохимической ячейки в условиях открытого воздуха. (д) Метеоусловия в день эксперимента (29 мая 2025 г., г. Алматы, Казахстан): частичная облачность, температура от 7 до 22 °С. (е) Полученная вольтамперная характеристика ZnO#3

Информация о финансировании.

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23490626 «Исследование и разработка фотоелектродов ZnO/BiVO₄ и Cu₂O/ZnO для создания высокоэффективных tandemных светопроводящих

систем производства водорода»), Авторы заявляют, что финансовая поддержка была получена для исследования, авторства и/или публикации данной статьи.

Выводы

В рамках настоящего исследования проведено комплексное изучение влияния молярной концентрации прекурсоров на морфологические, кристаллические и оптические свойства наностержней ZnO, синтезированных методом гидротермального роста. Целью работы являлось получение массивов ZnO-наностержней, обладающих эффективным поглощением ультрафиолетового излучения при высокой прозрачности в видимом диапазоне, что критически важно для последующего формирования гетероструктурных фотоанодов в PEC-системах. Наилучшие характеристики были зафиксированы для образца ZnO#3, синтезированного при концентрации прекурсора 0,02 моль/л. Согласно данным XRD, данный образец демонстрировал высокую степень кристалличности с выраженными пиками по плоскостям (100), (002) и (101), соответствующими гексагональной структуре ZnO. SEM и AFM микроскопия показали формирование плотного и однородного массива наностержней с диаметром ~60–120 нм и длиной 400–600 нм. Спектроскопия поглощения в УФ-видимой области выявила резкое поглощение в диапазоне 360–380 нм и низкое поглощение в области 400–800 нм, что указывает на прозрачность в видимой области спектра. Фотоэлектрохимическое измерение (PEC-LSV) показало фототок 2,5 мА при 0 В и достижение максимального значения ~4,0 мА при 0,16 В, несмотря на преждевременное завершение сканирования вследствие отключения питания. Полученные результаты подтверждают, что снижение концентрации исходных реагентов позволяет точно настраивать морфологию и свойства ZnO-наноструктур, обеспечивая их высокую пригодность для использования в фотокаталитических и фотоэлектрохимических устройствах.

Помимо оксида цинка, значительное внимание уделяется висмут ванадату (BiVO_4) – полупроводнику с узкой запрещенной зоной (~2,4 эВ), что делает его активным в видимом диапазоне солнечного света. BiVO_4 демонстрирует хорошие фотокаталитические характеристики, особенно при модификации поверхности или в гетероструктурах [12,16]. Однако его недостаточная проводимость и рекомбинация зарядов требуют дополнительных подходов к модификации. Сочетание ZnO и BiVO_4 либо сравнение их свойств представляет интерес для оценки их перспектив в ФЭХ-системах [17; 18].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Hisatomi, T., Kubota, J., & Domen, K. (2014). Recent advances in semiconductors for photocatalytic and photoelectrochemical water splitting. *Chemical Society Reviews*, 43(22), 7520–7535.
- 2 Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238, 37–38.
- 3 Chen, X., Li, C., Grätzel, M., Kostecki, R., & Mao, S. S. (2012). Nanomaterials for renewable energy production and storage. *Chemical Society Reviews*, 41(23), 7909–7937.
- 4 Baruah, S., & Dutta, J. (2009). Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. *Science and Technology of Advanced Materials*, 10(1), 013001.
- 5 Klingshirn, C. (2007). ZnO: From basics towards applications. *physica status solidi (b)*, 244(9), 3027–3073.
- 6 Keem, K., Kim, H., Kim, G. T., Choe, M., Park, W., & Lee, J. (2004). Photovoltaic properties of ZnO nanorod array grown on Si substrates. *Applied Physics Letters*, 84(24), 4376–4378.
- 7 Arya, S., Mahajan, P., Mahajan, S., Khosla, A., Datt, R., Gupta, V., & Oruganti, S. K. (2021). Influence of processing parameters to control morphology and optical properties of Sol-Gel synthesized ZnO nanoparticles. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 10(2), 023002.
- 8 Abdulrahman, A. F., Ahmed, S. M., Ahmed, N. M., & Almessiere, M. A. (2020). Enhancement of ZnO nanorods properties using modified chemical bath deposition method: effect of precursor concentration. *Crystals*, 10(5), 386.
- 9 Rabeel, M., Javed, S., Khan, R., Akram, M. A., Rehman, S., Kim, D. K., & Khan, M. F. (2022). Controlling the wettability of ZnO thin films by spray pyrolysis for photocatalytic applications. *Materials*, 15(9), 3364.
- 10 D. (2021). Branched and unbranched ZnO nanorods grown via chemical vapor deposition for photoelectrochemical water-splitting applications. *Ceramics International*, 47(7), 9785–9790.
- 11 Manzano, C. V., Philippe, L., & Serrà, A. (2022). Recent progress in the electrochemical deposition of ZnO nanowires: synthesis approaches and applications. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 47(5), 772–805.
- 12 Ramos, P. G., Sánchez, L. A., & Rodríguez, J. M. (2022). A review on improving the efficiency of photocatalytic water decontamination using ZnO nanorods. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 102(1), 105–124.
- 13 Liaqat, M., Younas, A., Iqbal, T., Afsheen, S., Zubair, M., Kamran, S. K. S., & Wong, L. S. (2024). Synthesis and characterization of ZnO/ BiVO_4

nanocomposites as heterogeneous photocatalysts for antimicrobial activities and waste water treatment. *Materials Chemistry and Physics*, 315, 128923.

13 Sharma, D. K., Shukla, S., Sharma, K. K., & Kumar, V. (2022). A review on ZnO : Fundamental properties and applications. *Materials Today : Proceedings*, 49, 3028-3035.

14 Caballero-Güereca, C. E., Cruz, M. A., Luévano-Hipólito, E., & Torres-Martínez, L. M. (2023). Transparent ZnO thin films deposited by dip-coating technique: Analyses of their hydrophobic properties. *Surfaces and Interfaces*, 37, 102705.

15 Santhamoorthy, A., Srinivasan, P., Krishnakumar, A., Rayappan, J. B. B., & Babu, K. J. (2021). SILAR-deposited nanostructured ZnO thin films: effect of deposition cycles on surface properties. *Bulletin of Materials Science*, 44(3), 188.

16 Kong, H., Gupta, S., Pérez-Torres, A. F., Höhn, C., Bogdanoff, P., Mayer, M. T., & Abdi, F. F. (2024). Electrolyte selection toward efficient photoelectrochemical glycerol oxidation on BiVO₄. *Chemical Science*, 15(27), 10425-10435.

17 Park, Y., McDonald, K. J., & Choi, K. S. (2013). Progress in bismuth vanadate photoanodes for use in solar water oxidation. *Chemical Society Reviews*, 42(6), 2321-2337.

18 Ma, Y., Wang, X., Jia, Y., Chen, X., Han, H., & Li, C. (2014). Titanium dioxide-based nanomaterials for photocatalytic fuel generations. *Chemical Reviews*, 114(19), 9987-10043.

Ж. Құли^{1,2}, Н. Б. Бакранов¹, Б. Ж. Сейітов³, Д. И. Бакранова^{4*}

¹« Research Group altAir nanolab», Алматы, Қазақстан

²Satbayev University, Алматы, Қазақстан

³Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан

⁴SDU University, Қаскелең, Қазақстан

**ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ РЕАКЦИЯНЫҢ АҒЫМДАҒЫ
ТЫҒЫЗДЫҒЫН ЖОҒАРТУ ҮШІН ТҮРЛІ ПРЕКУРСОРЛАР
КОНЦЕНТРАЦИЯЛАРЫНДА ZnO НАНОӨЗЕКШЕЛЕРІН СИНТЕЗІ.**

Бұл жұмыста біз Zn²⁺ және HMTA концентрациялары әртүрлі гидротермиялық өсу әдісімен мырыш оксиді (ZnO) наноторларының синтезін ұсынамыз. Синтез шарттарының үлгілердің морфологиялық және құрылымдық сипаттамаларына әсері зерттеледі. Бес үлгі әртүрлі прекурсорлар концентрацияларында синтезделді. Үлгілер UV-Vis спектроскопиясы, рентгендік дифракция (XRD), сканерлеуші электронды микроскопия (SEM)

және атомдық күшті микроскопия (AFM) арқылы сипатталды. Бұл сипаттама құралдары бізге ZnO-ның кристалдық құрылымы, кристалдық деңгейі, пішіні, өлшемі, физикалық, оптикалық қасиеттерінің өлшемдік сипаттамалары туралы типтік ақпаратты береді. Атомдық күш микроскопиясы (AFM) және рентгендік дифрактометрия (XRD) алынған нанокұрылымдардың кристалдылығының жоғары дәрежесін анықтады. Абсорбциялық спектрлер синтез шарттарына байланысты оптикалық қасиеттердің айтарлықтай өзгеруін көрсетеді. Үздік оптикалық және кристалдық сипаттамаларды үлгі 0,03 моль/л концентрацияда көрсетті, ультракүлгін (УК) аймағында жақсы сіңіруді және ZnO гексагональды фазасына сәйкес келетін айқын дифракциялық шыңдарды (100), (002), (101) көрсетті. Ұсынылған нәтижелер фотоэлектрокатализде және оптоэлектроникада қолдану үшін ZnO наноторларының қасиеттерін оңтайландыру үшін синтез параметрлерін бақылаудың маңыздылығын атап көрсетеді.

Кілтті сөздер: мырыш оксиді, наноторлар, гидротермиялық синтез, фотоэлектрохимия, суды бөлу, HMTA.

Zh. Kuli^{1,2}, N. B. Bakranov¹, B. Zh. Seitov³, D. I. Bakranova^{4*}

¹»Research Group altAir nanolab», Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

⁴SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

**SYNTHESIS OF ZNO NANORODS AT VARIOUS PRECURSOR
CONCENTRATIONS TO ENHANCE THE CURRENT DENSITY OF
PHOTOELECTROCHEMICAL REACTION.**

In this paper, we present the synthesis of zinc oxide (ZnO) nanorods by hydrothermal growth method with varying concentrations of Zn²⁺ and HMTA. The effect of synthesis conditions on the morphological and structural characteristics of the samples is investigated. Five samples were synthesized at different precursor concentrations. The samples were characterized by UV-Vis spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM). These characterization tools provide us with typical information about the crystal structure, crystallinity level, shape, size, dimensional characteristics of physical, optical properties of ZnO. Atomic force microscopy (AFM) and X-ray diffractometry (XRD) revealed a high degree of crystallinity of the obtained nanostructures. The absorption spectra show a noticeable change in the optical properties depending on the synthesis conditions. The best optical

and crystalline characteristics were shown by the sample at a concentration of 0.03 mol/L, demonstrating good absorption in the ultraviolet (UV) region and pronounced diffraction peaks (100), (002), (101), corresponding to the hexagonal phase of ZnO. The presented results emphasize the importance of controlling the synthesis parameters for optimizing the properties of ZnO nanorods for their use in photoelectrocatalysis and optoelectronics.

Keywords: zinc oxide, nanorods, hydrothermal synthesis, photoelectrochemistry, water splitting, HMTA.

FTAMP 27.29.41

<https://doi.org/>

***Б. Ж. Сағындықов¹, Ж. Бимұрат²**

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ
ұлттық техникалық зерттеу
университеті (Satbayev University),
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²Д. А. Қонаев атындағы тау-кен институты,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

*e-mail: b.sagindykov@satbayev.university

ВАРИАЦИЯЛЫҚ ИТЕРАЦИЯ ӘДІСІН СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕРДІ ШЕШУГЕ ҚОЛДАНУ

Мақалада вариациялық итерация әдісі дифференциалдық теңдеулерді, оның ішінде сызықтық және сызықтық емес есептерді жуықтап шешу үшін қолданылады. Әдістің негізгі идеясы қарастырылып отырған дифференциалдық теңдеуді белгілі бір функционалмен байланыстырып, функционалды минимизациялау есебіне келтіруге негізделген. Содан кейін қарастырылып отырған есеп итерациялық әдістің көмегімен шешіледі. Сонымен бірге әрбір итерациялық қадамда шешім жақсартылып отырады, әсіресе сызықтық емес дифференциалдық теңдеулерді шешуде. Шешімнің жинақтылығын арттыру мақсатында шектеулі вариация және түзету (коррекция) функционалы ұғымдары қолданылды. Жұмыста коррекция функционалы берілген дифференциалдық теңдеудің шешімін жақсартатын итерациялық түзету формуласы ретінде қарастырылды. Ал коррекция функционалына енгізілетін Лагранж көбейткіші берілген дифференциалдық теңдеудегі сызықтық емес мүшені есепке алу үшін енгізілді. Тұрақты немесе функция түрінде анықталатын Лагранж көбейткішін табу вариациялық итерация әдісінің негізгі өзекті мәселесі. Лагранж коэффициенті коррекция функционалын минимизациялау үшін қажет. Ол жуық шешімдер тізбегінің аналитикалық дәл шешімге тезірек жинақталуына

айтарлықтай әсер етеді. Мақалада Лагранж көбейткішін анықтау үшін вариациялық принцип қолданылды. Вариациялық итерация әдісінің нәтижелері мен шектеулері сызықтық және сызықтық емес дифференциалдық теңдеулердің жуық шешімдерін табуда нақты мысалдарды талдау арқылы қарастырылды.

Кілтті сөздер: вариациялық итерация әдісі, коррекция функционалы, Лагранж көбейткіші, шектеулі вариация, дифференциалдық теңдеу.

Кіріспе

Көптеген сызықтық емес дифференциалдық теңдеулердің аналитикалық шешімін табу өте қиын, тіпті ондай шешімді табу мүмкіндігі болмауы да мүмкін. Қазіргі уақытта көптеген сызықтық емес теңдеулердің жуық шешімдері вариациялық итерация әдісін қолдану арқылы табылады.

Ж. Н. Не [1, 699–708-бб.] мақаласында алғаш рет сызықтық емес есептерге арналған жаңа аналитикалық әдіс – вариациялық итерация әдісінің идеясын тұжырымдады. Бұл әдіс арқылы табылатын жуық шешімдер басқа сандық әдістерге қарағанда нақты шешімдерге өте жылдамдық жақындайтыны анықталды. [2, 115–123-бб.] мақалада сызықтық және сызықтық емес қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесіне қолданылатын вариациялық итерация әдісінің модификациясы қарастырылған [3, 884-бб.] мақалада вариациялық итерация әдісінің негізгі ұғымдары, атап айтқанда жалпы Лагранж көбейткіші, коррекция функционалы және шектеулі вариация ұғымдары қарапайым тілде түсіндіріледі. Бұл мақалада вариациялық итерация әдісінің кейбір негізгі тұжырымдары, теориясы және қолдану мысалдары қарастырылған [4, 205–211-бб.] монографияда вариациялық итерация әдісінің қолданылуы туралы кеңірек ақпарат берілген [5, 10–12 -бб.] мақалада вариациялық итерация әдісінің көмегімен сызықтық емес осцилятордың тербеліс теңдеуін жүйелі түрде шешу қарастырылған. [6, 1–2-бб.] мақалада сызықтық емес дифференциалдық теңдеулердің ерекше класын құрған Якопо Франческо Риккати туралы айтылады. Төменде Риккати теңдеуі мен вариациялық итерация әдісінің байланысы мен оларды шешу жолдары қарастырылады. Қаржылық математиканың көптеген есептері сызықтық емес дифференциалдық теңдеулерге келтіріледі. [7, 343–355-бб.] жұмыста қаржылық математикалық қойылымдағы теңдеулерді шешу үшін вариациялық итерация әдісі қолданылды.

Материалдар мен әдістері

Есептің қойылымы және вариациялық итерация әдісінің алгоритмі

Вариациялық итерация әдісі дифференциалдық теңдеулерді, оның ішінде мақалада сызықтық немесе сызықтық емес есептерді жуықтап шешу үшін қолданылады. Әдістің негізгі идеясын түсіну үшін жалпы түрде берілген

$$Ly(x) + Ny(x) = q(x) \quad (1)$$

сызықтық емес теңдеуді қарастырайық, мұнда L және N – сәйкесінше сызықтық және сызықтық емес операторлар; $q(x)$ – берілген үзіліссіз дифференциалданатын функция.

(1) теңдеуді шешу үшін

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) + \int \lambda(t) [Ly_n(t) + Ny_n(t) - q(t)] dt, \quad (2)$$

түзету (коррекция) функционалы қарастырылады, мұнда λ – вариациялық принципке негізделген теория арқылы тиімді түрде анықталатын жалпы Лагранж көбейткіші, ал $y_n(x)$ – n -ші жуық шешім. Мұндағы тұрақты немесе функция түрінде таңдалатын Лагранж көбейткіші λ вариациялық итерация әдісінің негізгі элементі болып табылады. Бұл коэффициент итерацияны түзету үшін қолданылады және әдістің нәтижелілігіне айтарлықтай әсер етеді. Вариациялық принцип бойынша коррекция функционалын максимизациялау немесе минимизациялау үшін белгілі бір жағдайды қанағаттандыратын мәнді табу керек.

Осы жағдайда Лагранж көбейткішін анықтау үшін біз функционалға қатысты стационарлық жағдайды пайдаланамыз.

(2) теңдеудің құрамына кіретін $\tilde{y}_n$ шектеулі вариацияны білдіреді, яғни $\delta \tilde{y}_n = 0$. Вариациялық итерация әдісінде вариацияны шектеу нақты шешімге тезірек жету үшін қолданылады.

Алдымен бірінші ретті сызықтық дифференциалдық теңдеуді қарастырайық:

$$\frac{dy}{dx} + p(x)y = q(x), \quad y(0) = a.$$

Сызықтық теңдеудің жалпы шешімі

$$y(x) = e^{-\int p(x) dx} \left(C + \int q(x) e^{\int p(x) dx} dx \right)$$

теңдігі арқылы табылатыны қарапайым дифференциалдық теңдеулер теориясынан белгілі.

Енді вариациялық итерация әдісі бойынша сызықтық теңдеудің нақты шешімге ұмтылатын жуық шешімін табайық. Ол үшін сызықтық теңдеудің түзету функционалын

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) + \int_0^x \lambda(x, t) \left[\frac{dy_n}{dt} + p(t)y_n(t) - q(t) \right] dt \quad (3)$$

түрде жазамыз.

(3) коррекция функционалын n -ші $y_n(x)$ жуық шешімге қатысты стационарлық ету үшін $\delta y_n(0) = 0$ шартын пайдаланамыз, өйткені $y(0) = a$, бұдан $\delta y_n(0) = \delta a = 0$. Сонда

$$\begin{aligned} \delta y_{n+1}(x) &= \delta y_n(x) + \delta \int_0^x \lambda(x, t) \left[\frac{dy_n}{dt} + p(t)y_n(t) - q(t) \right] dt = \\ &= \delta y_n(x) + \int_0^x \lambda(x, t) \left[\frac{d\delta y_n}{dt} + p(t)\delta y_n(t) \right] dt = \delta y_n(x) + \lambda(x, t)\delta y_n(t) \Big|_{t=x} + \\ &\quad + \int_0^x \left(-\frac{\partial \lambda(x, t)}{\partial t} + p(t)\lambda(x, t) \right) \delta y_n(t) dt = 0. \end{aligned}$$

Бұдан біз

$$-\frac{\partial \lambda(x, t)}{\partial t} + p(t)\lambda(x, t) = 0 \quad (4)$$

түрінде анықталатын Эйлер-Лагранж теңдеуін және

$$1 + \lambda(t, t) = 0 \quad (5)$$

теңдігі арқылы анықталатын табиғи шекаралық шартты аламыз.

Нәтижелер және талқылау

Нақты мысалдар арқылы вариациялық итерация әдісінің сызықтық және сызықтық емес дифференциалдық теңдеулерді шешуде қолданылуын көрсетейік.

1-мысал. Сызықтық дифференциалдық $y' + y = e^x$ теңдеуі берілсін дейік. Осы теңдеудің бастапқы $y(0) = 1$ шартын қанағаттандыратын дербес шешімі

$$y(x) = e^{-x}(x+1)$$

түрде табылады. Енді осы есептің нақты шешімге ұмтылатын жуық шешімін табу үшін вариациялық итерация әдісін қолданайық. Ол үшін берілген

$$y'(x) = e^{-x} - y(x)$$

теңдеуін интегралдай отырып,

$$y(x) = y(0) + \int_0^x (e^{-t} - y(t)) dt$$

интегралдық теңдеуіне көшеміз. Бастапқы шарт бойынша $y(0) = 1$. Сонда жоғарыдағы теңдеу

$$y(x) = 1 + \int_0^x (e^{-t} - y(t)) dt$$

түрде жазылады. Вариациялық итерация әдісі бойынша берілген теңдеудің $y_n(x)$ жуық шешімі

$$y_{n+1}(x) = 1 + \int_0^x (e^{-t} - y(t)) dt \quad (6)$$

түрде жазылады.

Дербес шешім белгілі болғандықтан бастапқы (нөлінші) жуықтауды $y_0(x) = e^{-x}$ түрде аламыз.

Өрі қарай $y_0(x)$ -ті (6) жуықтау итерациялық формуласына қоя отырып, келесі жуық шешімдердің тізбегін анықтаймыз:

$$1\text{-итерация: } y_1(x) = 1 + \int_0^x (e^{-t} - e^{-t}) dt = 1.$$

$$2\text{-итерация: } y_2(x) = 1 + \int_0^x (e^{-t} - 1) dt = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} - \frac{x^4}{24} + \frac{x^5}{120} - \dots$$

$$3\text{-итерация: } y_3(x) = 1 + \int_0^x (e^{-t} - 2 + t + e^{-t}) dt = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{12} + \frac{x^5}{60} - \dots$$

$$4\text{-итерация: } y_4(x) = 4 - 3x + x^2 - \frac{1}{6}x^3 - 3e^{-x} = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{8} + \frac{x^5}{40} - \dots$$

5-итерация:

$$y_5(x) = 5 - 4x + \frac{3}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{24}x^4 - 4e^{-x} = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{8} + \frac{x^5}{30} - \dots$$

6-итерация:

$$y_6(x) = 6 - 5x + 2x^2 - \frac{1}{2}x^3 + \frac{1}{12}x^4 - \frac{1}{120}x^5 - 5e^{-x} = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{8} + \frac{x^5}{30} - \dots$$

Есептің дәл шешімі $y(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} y_n(x) = e^x(x+1)$, өйткені $y = e^x(x+1)$ функциясын $x=0$ нүктесінің маңайында Тейлор қатарына жіктесек,

$$e^x(x+1) = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{8} + \frac{x^5}{24} - \dots$$

жіктелуін аламыз.

2-мысал. Бастапқы $y(0)=1$, $y'(0)=-1$ шарттарын қанағаттандыратын

$$y'' - 4xy' - 4y = 8x \quad (7)$$

біртекті емес екінші ретті айнымалы коэффициентті сызықтық дифференциалдық теңдеудің дербес шешімін табайық.

Шешуі. (7) теңдеудің жалпы шешімі екі шешімнің қосындысынан тұрады:

$$y(x) = y_0(x) + y_*(x),$$

мұнда $y_0(x)$ – біртекті теңдеудің жалпы шешімі, ал $y_*(x)$ – біртекті емес теңдеудің қайсыбір дербес шешімі. Дербес шешімді $y_*(x) = ax + b$ түрінде іздейміз және оны (7) теңдеуге қойып, $a = -1$, $b = 0$ параметрлерін анықтаймыз. Сонымен $y_*(x) = -x$.

Енді біртекті теңдеудің, яғни

$$y'' - 4xy' - 4y = 0 \quad (8)$$

теңдеуінің жалпы шешімін табу үшін алдымен оның бір дербес шешімін $y_1(x) = e^{ax^2}$ түрінде іздейік. Сонда

$$y_1'(x) = e^{ax^2} \cdot 2ax, \quad y_1''(x) = e^{ax^2} \cdot 4a^2x^2 + e^{ax^2} \cdot 2a.$$

Бұдан (8) теңдеу

$$(4a^2 - 8a)x^2 + (2a - 4) = 0 \text{ немесе } \begin{cases} 4a^2 - 8a = 0, \\ 2a - 4 = 0 \end{cases}$$

жүйе түрінде жазылады. Нәтижесінде біртекті теңдеудің бір дербес шешімі

$y_1(x) = e^{2x^2}$ түрде анықталады. Әрі қарай сызықтық тәуелсіз $y_2(x)$ дербес шешімді табу үшін Лиувилль формуласын пайдаланамыз [8, 7-9 бб.; 9, 14-17 бб.; 10, 80-83 бб.]:

$$\begin{vmatrix} y_1(x) & y_2(x) \\ y_1'(x) & y_2'(x) \end{vmatrix} = Ce^{-\int \frac{a_1(x)}{a_0(x)} dx}, \quad (9)$$

мұнда $a_0(x) = 1$, $a_1(x) = -4x$, $y_1(x) = e^{2x^2}$ және $y_1'(x) = e^{2x^2} \cdot 4x$.

Екінші дербес шешімді табу үшін (9) теңдікті ашып жазамыз:

$$y_2'(x) - 4xy_2(x) = C, \quad (10)$$

мұнда C – тұрақты. (10) теңдеу сызықтық теңдеу және оның шешімі

$$y_2(x) = e^{2x^2} \left(D + C \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

түрде табылады, мұнда D – тұрақты. Демек (7) теңдеудің жалпы шешімі

$$y(x) = C_1 y_1(x) + C_2 y_2(x) - x$$

түрде анықталады, мұнда C_1, C_2 – кез келген тұрақтылар. Әрі қарай бастапқы шарттарды қанағаттандыратын дербес шешімді табамыз:

$$\begin{cases} C_1 y_1(0) + C_2 y_2(0) = 1, \\ C_1 y_1'(0) + C_2 y_2'(0) - 1 = -1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} C_1 + C_2 y_2(0) = 1, \\ C_2 y_2'(0) = 0. \end{cases}$$

Бұдан $C_2 = 0$, $C_1 = 1$. Демек дербес шешім, яғни (7) теңдеудің дәл нақты шешімі

$$y(x) = e^{2x^2} - x \quad (11)$$

түрде табылды.

Енді 2-мысалдың жуық шешімін вариациялық итерация әдісінің көмегімен табайық. Алдымен m -ші ретті жай дифференциалдық теңдеу берілсін дейік:

$$y^{(m)} + f(y, y', y'', \dots, y^{(m-1)}) = f(x),$$

мұнда m – теңдеудің реті. Осы теңдеу үшін Коши есебінің қойылымын қарастырайық:

$$y(0) = \beta_0, \quad y'(0) = \beta_1, \quad \dots, \quad y^{(m-1)}(0) = \beta_{m-1}.$$

Мұндай қойылымдағы есептер үшін Лагранж көбейткіші

$$\lambda = \frac{(-1)^m}{(m-1)!} (t-x)^{m-1} \quad (12)$$

формуласы арқылы анықталады. Бұл көбейткіштің мәні шешімнің дәлдігін қамтамасыз ету үшін тиімді түрде таңдалады. Біздің жағдайымызда $m = 2$.

Сондықтан Лагранж көбейткіші $\lambda = t - x$ түрде табылады. Бастапқы (нөлдік) жуықтау үшін кез келген функцияны таңдауға болады. Алайда оны

$$y_0(x) = y(0) + y'(0)x + \frac{1}{2!}y''(0)x^2 + \dots + \frac{1}{(m-1)!}y^{(m-1)}(0)x^{m-1}$$

түрде таңдау нақты шешімге жетуге көмектеседі. Біздің жағдайда: $y_0(x) = 1 - x$.

(7) теңдеудің сәйкес итерациялық формуласы

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) + \int_0^x (t-x)[y_n''(t) - 4ty_n'(t) - 4y_n - 8t]dt, \quad n \geq 0$$

теңдігі арқылы анықталады. Осы формулаға сүйене отырып, біз келесі итерациялық жуықтаулардың тізбегін табамыз:

$$y_0(x) = 1 - x,$$

$$y_1(x) = y_0(x) + \int_0^x (t-x)[y_0''(t) - 4ty_0'(t) - 4y_0 - 8t]dt = 1 - x + 2x^2,$$

$$y_2(x) = y_1(x) + \int_0^x (t-x)[y_1''(t) - 4ty_1'(t) - 4y_1 - 8t]dt = 1 - x + 2x^2 + 2x^4,$$

$$y_3(x) = y_2(x) + \int_0^x (t-x)[y_2''(t) - 4ty_2'(t) - 4y_2 - 8t]dt = 1 - x + 2x^2 + 2x^4 + \frac{4}{3}x^6,$$

$$y_4(x) = y_3(x) + \int_0^x (t-x)[y_3''(t) - 4ty_3'(t) - 4y_3 - 8t]dt = 1 - x + 2x^2 + 2x^4 + \frac{4}{3}x^6 + \frac{2}{3}x^8,$$

$$\dots$$

$$y_n(x) = 1 - x + 2x^2 + 2x^4 + \frac{4}{3}x^6 + \frac{2}{3}x^8 + \frac{4}{15}x^{10} + \dots$$

Есептің дәл шешімі $y(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} y_n(x) = e^{2x} - x$.

3-мысал. $y' = y^2 - 2e^x y + e^{2x} + e^x$, $y(0) = 2$ (13)
теңдеуі берілсін дейік. Коши есебінің шешімін табайық.

Шешуі. Қарастырылып отырған теңдеу Риккати теңдеуі деп аталады. Риккати теңдеуінің қандай да бір дербес шешімі белгілі болса, онда оның жалпы шешімін квадратуралардың көмегімен табуға болады.

Риккати теңдеуі ең қарапайым және ең қызықты бірінші ретті сызықтық емес дифференциалдық теңдеулердің бірі болып саналады. Бұл теңдеу математика мен физиканың көптеген салаларында кездеседі. Маңызды инженерлік қолданбалардан басқа Риккати теңдеуінің жаңа қолдану аймақтары қаржылық математика сияқты салаларды да қамтиды.

Берілген (13) теңдеудің дербес шешімін $y_1(x) = ae^x$ түрінде іздейік. Теңдеуге қоя отырып,

$$ae^x = a^2 e^{2x} - 2ae^{2x} + e^{2x} + e^x$$

теңдігіне көшеміз. Ұқсас мүшелерінің коэффициенттерін теңестіре отырып, а параметрін анықтайтын

$$e^x : a = 1; \quad e^{2x} : 2a - a^2 = 1$$

жүйені аламыз. Бұдан $a = 1 \Rightarrow y_1(x) = e^x$. Одан әрі $y = y_1(x) + z(x) = e^x + z(x)$ алмастыруын жасаймыз және оны (13) теңдеуге

қоямыз. Нәтижесінде айнымалылары ажыратылатын $\frac{dz}{dx} = z^2$ теңдеуін

аламыз және оның жалпы шешімі $z = \frac{1}{C-x}$ немесе $y = e^x + \frac{1}{C-x}$ түрде

табылады, мұнда C – кез келген тұрақты.

Сонымен бастапқы шартты қанағаттандыратын (13) Риккати теңдеуінің шешімі

$$y(x) = e^x + \frac{1}{1-x} \quad (14)$$

түрде жазылады.

Енді (13) Риккати теңдеуін вариациялық итерация әдісімен шығарайық. Бұл теңдеу үшін коррекциялық функционал

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) + \int_0^x \lambda(t)[y_n'(t) - y_n^2(t) + 2e^t y_n(t) - e^{2t} - e^t]dt,$$

мұнда $y_n(x)$ – n -ші жуықтау, ал $\lambda(t)$ – вариациялық параметр, ол әдетте $\lambda(t) = -1$ деп алынады.

Көп жағдайда нөлінші жуықтау ретінде $y_0(x) = 2$ бастапқы шарты алынады.

Бірінші итерация:

$$y_1(x) = y_0(x) - \int_0^x (y_0'(t) - y_0^2(t) + 2e^t y_0(t) - e^{2t} - e^t) dt =$$

$$= 2 - \int_0^x (-4 + 4e^t - e^{2t} - e^t) dt = \frac{9}{2} + 4x - 3e^x + \frac{1}{2}e^{2x} = 2 + 2x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{5x^4}{24} + \frac{13x^5}{120} + \dots$$

Екінші итерация:

$$y_2(x) = y_1(x) - \int_0^x (y_1'(t) - y_1^2(t) + 2e^t y_1(t) - e^{2t} - e^t) dt =$$

$$= 12 + \frac{113}{4}x + 36x^2 + 16x^3 + (-17 - 32x - 24x^2)e^x +$$

$$+ (8 + 25x + 4x^2)e^{2x} - (1 + 3x)e^{3x} + \frac{1}{4}xe^{4x} = 1 + 2x + \frac{3}{2}x^2 + \frac{5}{6}x^3 + \frac{13}{12}x^4 + \dots$$

Ескерту. Жоғарыдағы итерацияларда $0 < x < 1$. Нақты итерация санын анықтау үшін $y_n(x)$ жуық шешімін аналитикалық

$$y(x) = e^x + \frac{1}{1+x} = 2 + 2x + \frac{3}{2}x^2 + \frac{7}{6}x^3 + \frac{25}{24}x^4 + \dots$$

шешімімен салыстыра отырып есептеу керек.

Келесі қадамда 3-мысалды модификацияланған вариациялық итерация әдісін қолдана отырып жазамыз. Жалпы түрде

$$L[y(x)] + N[y(x)] = f(x) \quad (15)$$

дифференциалдық теңдеуі берілсін дейік, мұнда L – сызықтық оператор,

$N[y(x)]$ – сызықтық емес оператор, y – берілген функция.

(15) теңдеуді шешу үшін

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) + \int_{x_0}^x \lambda(t) [Ly_n(t) + N\tilde{y}_n(t) - f(t)] dt, \quad (16)$$

түзету функционалы (коррекциялық функционал) құрастырылады, мұндағы $y_n(x)$ – n -ші жуықтау, ал $\lambda(t)$ – Лагранж көбейткіші деп аталатын вариациялық параметр.

(16) түзету функционалының құрамына кіретін $\tilde{y}_n(t)$ таңбасы функцияның өзгеруі шектелген дегенді білдіреді, яғни $\delta\tilde{y}_n(t)$ вариациясы нөлге тең.

Енді 3-мысалға қайта оралайық:

$$y' + 2e^x y - y^2 = e^{2x} + e^x, \quad y(0) = 2. \quad (17)$$

(17) теңдеу сызықтық емес қарапайым бірінші ретті дифференциалдық теңдеу. Бұл есепті шешу үшін (16) итерациялық формуланы пайдаланамыз. Мұнда $L[y(x)] = y' + 2e^x y$, $N[y(x)] = -y^2(x)$, $f(x) = e^{2x} + e^x$. Жоғарыда

3-мысал үшін Лагранж көбейткішін $\lambda = -1$, ал бастапқы нөлінші жуықтауды $y_0(x) = 2$ деп алдық.

Әрі қарай итерация қадамдарын қысқарту мақсатында түзету функционалын

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) + \int_0^x \lambda(t) (y_n'(t) + 2e^t y_n(t) - \tilde{y}_n^2(t) - e^{2t} - e^t) dt \quad (18)$$

түрде қарастырайық.

(18) теңдеудің құрамына кіретін $\lambda(t)$ Лагранж көбейткіші итерацияны түзету үшін қолданылады, яғни дәл нақты аналитикалық шешімге жинақталу процесін тездету немесе қателікті азайту үшін таңдалады. Енді осы коэффициентті табу үшін (18) түзету функционалының вариациясын тауып, нөлге теңестіреміз (стационарлық жағдай). Сонымен қатар шектеулі өзгерістерді қолданамыз:

$$\delta y_{n+1}(x) = \delta y_n(x) + \delta \int \lambda(t) [y_n'(t) + 2e^t y_n(t)] dt =$$

$$= \delta y_n(x) + \delta \left(\lambda(t) y_n(t) \Big|_{t=x} - \int_0^x y_n(t) \lambda'(t) dt \right) + \int_0^x 2e^t \lambda(t) \delta y_n(t) dt =$$

$$\delta y_n(x) + \lambda(x) \delta y_n(x) - \int_0^x (\lambda'(t) - 2e^t \lambda(t)) \delta y_n(t) dt \equiv 0,$$

$$\delta \tilde{y}_n^2(t) = 0 \quad \text{және} \quad \delta(e^{2t} + e^t) = 0.$$

Одан әрі (19) тепе-теңдіктен

$$1 + \lambda(t) \Big|_{t=x} = 0, \quad [\lambda'(t) - 2e^t \lambda(t)] \Big|_{t=x} = 0$$

стационарлық шарттарын аламыз.

Екінші теңдеу айнымалылары ажыратылатын бірінші ретті дифференциалдық теңдеу. Бұдан жақсартылған Лагранж көбейткіші $\lambda = e^{2e^x}$ түрде табылады. Нәтижесінде

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) - e^{2e^x} \int_0^x e^{-2e^t} (y_n'(t) + 2e^t y_n(t) - y_n^2(t) - e^{2t} - e^t) dt \quad (20)$$

итерациялық формуланы аламыз.

Модификацияланған вариациялық әдіс үшін итерациялық формула

$$y_{n+1}(x) = y_n(x) - \lambda(x) \int \lambda^{-1}(x) R_n(x) dx$$

түрде жазылады, мұнда $R_n(x)$ – қалдық функция.

(20) формула бойынша бірінші итерацияны есептейік:

$$y_1(x) = 2 - e^{2x} \int_0^x e^{-2t} (y_0'(t) + 2e^t y_0(t) - y_0^2(t) - e^{2t} - e^t) dt, \quad \text{мұнда} \quad y_0'(t) = 0.$$

Сонда бірінші жуықтау

$$y_1(x) = 2 - e^{2x} \int_0^x e^{-2t} (3e^t - 4e^t) dt = 2 + 2x + \frac{3x^2}{2} + \frac{5x^3}{6} + O(x^4)$$

(21) теңдігімен анықталады, өйткені мұнда

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + O(x^4);$$

$$e^{-2e^x} = e^{-2(1+x+\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{6}+O(x^4))} = e^{-2} e^{-2x} \cdot e^{-x^2} \cdot e^{-x^3/3} \approx e^{-2} \left(2 - 2x + x^2 + \frac{x^3}{3} \right).$$

Демек модификацияланған вариациялық әдіс вариациялық әдіске қарағанда аналитикалық шешімге тезірек жақындайды.

Компьютер көмегімен шешімді табу

Вариациялық әдіспен есепті шешу алгоритмі (1-сурет):

1 Есептің қойылымы

Бастапқы теңдеуді немесе теңдеулер жүйесін анықтау.

Шекаралық шарттарға сәйкес келетін немесе бастапқы шарттарын беру.

2 Инициализация

Қажетті символдық айнымалыларды (мысалы, және) sympy кітапханасы арқылы анықтау.

бастапқы жуықтауын беру (немесе тағайындау).

3 Итерациялық процесті құру

Әр қадамда:

Ағымдағы жуықтаудың туындысын есептеу (егер қажет болса).

Вариациялық теңдеуге сәйкес интегралданатын өрнекті құру.

Берілген аралық бойынша, мысалы, , өрнекті интегралдау.

Жаңарту ережесін қолдана отырып, -ті есептеу (мысалы, ағымдағы жуықтауға интегралды қосу немесе алу).

4 Итерациялық процесс

Қажетті дәлдікке жету үшін n итерациялар санын беру.

-ке негізделген рекурренттік формула арқылы -ті есептеу.

5 Символдық өңдеу

Әр қадамдағы нәтижені sp.simplify() көмегімен жеңілдету.

6 Нәтижелерді шығару

Әр n-қадам үшін -ті сақтау және көрсету (-ден N-ге дейін)

Алгоритмнің тиімділігін көрсету мақсатында 3-мысалда келтірілген есеп негізінде Python тілінде бағдарламалық код әзірленді.

Жұмыс барысында алынған нәтижелер:

1) алғашқы нөлдік жуықтауды еркін таңдауға және оның құрамына кіретін тұрақтыларды бастапқы шарттар арқылы анықтауға болатыны көрсетілді;

2) вариациялық итерация әдісін қолдану арқылы нақты шешімді алуға болатыны көрсетілді;

3) түзету функционалында шектеулі вариацияларды қолдану еркшеліктері қарастырылды;

4) түзету функционалының стационарлық жағдайына қатысты әртүрлі Лагранж көбейткіштері анықталды;

5) вариациялық итерация әдісі мен модификацияланған вариациялық әдістердің арасындағы ерекшеліктер анықталды;

6) сызықтық емес дифференциалдық теңдеуді шешуде модификацияланған вариациялық әдістің тиімділігі көрсетілді.

7) Python тілінде вариациялық итерация әдісімен шешімді табу мысалы көрсетілді.

```
import sympy as sp

def variational_method_solver(n, y_0, integrand_func):
    """
    Вариациялық әдіспен есепті итерациялық шешу.

    :param n: Итерациялар саны.
    :param y_0: Бастапқы жуықтау  $y_0(x)$ .
    :param integrand_func: Интегралданатын өрнекті қайтаратын функция.
    :return: Әр қадамға арналған  $y_n(x)$  шешімдері бар сөздік.
    """
    # Айнымалыларды анықтау
    x, t = sp.symbols('x t')

    # Инициализация
    y_prev = y_0
    equations = {0: y_0}

    for i in range(1, n + 1):
        # Интегралданатын өрнекті есептеу
        integrand = integrand_func(y_prev, x, t)

        # Өрнекті интегралдау
        integral = sp.integrate(integrand, (t, 0, x))

        #  $y_{n+1}$  жаңарту
        y_next = y_prev + integral # Жаңарту ережесін өзгертуге болады
        equations[i] = sp.simplify(y_next)

        # Келесі итерацияға көшу
        y_prev = y_next

    return equations

# Айнымалыларды анықтау
x, t = sp.symbols('x t')

# Бастапқы жуықтау
y_0 = sp.simplify(2) #  $y(0) = 2$ 

# Интегралданатын өрнек
def integrand_func(y_n, x, t):
    # Берілген дифференциалдық теңдеудің оң жағын анықтаймыз
    diff_eq_rhs = y_n**2 - 2 * sp.exp(t) * y_n + sp.exp(2*t) + sp.exp(t)
    # Өрнекті интегралдау үшін  $y_n'(x)$  және  $diff\_eq\_rhs$  айырмасын қолданамыз
    y_n_derivative = sp.diff(y_n, x) #  $y_n'(x)$ 
    return y_n_derivative - diff_eq_rhs

# Итерациялар саны
n = 5

# Шешім
results = variational_method_solver(n, y_0, integrand_func)

# Нәтижелерді шығару
for i in range(n + 1):
    print(f"y_{i}(x) =", results[i])
```

1-сурет. Вариациялық әдіспен есепті шешу алгоритмі

Қорытынды

Нәтижелер көрсеткендей вариациялық итерация әдісі мен модификацияланған вариациялық әдіс сызықтық және сызықтық емес қарапайым дифференциалдық теңдеулердің сандық шешімін табуда қуатты математикалық құрал болып табылады.

Бұл әдістерді бастапқы шарттарды қанағаттандыратын сызықтық және сызықтық емес қарапайым дифференциалдық теңдеулерді шешуге қолдандық. Жұмыс барысында 1-2 итерация арқылы алынған жуықтаулар нақты шешімдерге жылдам жинақталатыны көрсетілді. Демек аналитикалық шешімдері табыла бермейтін инженерлік қойылымдағы есептерді шешуде вариациялық итерация әдісі басқа сандық есептерге қарағанда тиімдірек әдіс болады деген ойдамыз.

Пайдаланылған деректер тізімі

He, J. H. Variational iteration method – a kind of non-linear analytical technique: Some examples [Текст] // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 1999. – Vol. 34, № 4. – p. 699–708.

He, J. H. Variational iteration method for autonomous ordinary differential systems [Текст] // Applied Mathematics and Computation. – 2000. – Vol. 118, № 2–3. – p. 115–123.

He, J. H. Variational iteration method – some recent results and new interpretations [Текст] // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2007. – Vol. 207, № 1. – p. 3–17.

He, J. H. Non-perturbative methods for strongly nonlinear problems [Текст]. – Berlin : dissertation.de-Verlag im Internet GmbH, 2006.

Moghim, M., Hejazi, F. S. A. Variational iteration method for solving generalized Burger-Fisher and Burger equations [Текст] // Chaos, Solitons & Fractals. – DOI: 10.1016/j.chaos.2006.03.0331.

Jacopo Francesco Riccati [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Riccati>.

Boyle, P. P., Tian, W. and Guan, F. The Riccati Equation in Mathematical Finance [Текст] // Journal of Symbolic Computation. – 2002. – Vol. 33. – p. 343–355. – DOI: 10.1006/jsco.2001.0508.

Сагиндыков, Б. Ж., Мекебай, Н. А., Турусбекова, Б. С. Дифференциальные уравнения третьего порядка с переменными коэффициентами [Текст] // Satbayev University. – 2020. – № 42–1 (42). – С. 7–9.

Сагиндыков, Б. Ж., Имангазина, Г. Нахождение частного решения дифференциального уравнения с переменными коэффициентами [Текст] // Лучшая студенческая статья 2018 : сб. ст. XV Междунар. науч.-исслед. конкурса / отв. ред. Гуляев Г. Ю. – М. : МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 14–17.

Сағындықов, Б. Ж. Қарапайым дифференциалдық теңдеулер және Matlab : оқу құралы [Текст]. – Алматы : ЖШС Лантар Трейд, 2021. – 212 б.

References

He, J. H. Variational iteration method – a kind of non-linear analytical technique: Some examples [Text] // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 1999. – V. 34, No. 4. – P. 699–708.

He, J. H. Variational iteration method for autonomous ordinary differential systems [Text] // Applied Mathematics and Computation. – 2000. – Vol. 118, No. 2–3. – P. 115–123.

He, J. H. Variational iteration method – some recent results and new interpretations [Text] // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2007. – Vol. 207, No. 1. – P. 3–17.

He, J. H. Non-perturbative methods for strongly nonlinear problems [Text]. – Berlin : dissertation.de-Verlag im Internet GmbH, 2006.

Moghim, M., Hejazi, F. S. A. Variational iteration method for solving generalized Burger-Fisher and Burger equations [Text] // Chaos, Solitons & Fractals. – In press. – DOI: 10.1016/j.chaos.2006.03.0331.

Jacopo Francesco Riccati [Electronic resource]. – Access mode : <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Riccati>.

Boyle, P. P., Tian, W., Guan, F. The Riccati Equation in Mathematical Finance [Text] // Journal of Symbolic Computation. – 2002. – Vol. 33. – P. 343–355. – DOI: 10.1006/jsco.2001.0508.

Sagindykov, B. Zh., Mekebay, N. A., Turusbekova, B. S. Differentsial'nye uravneniya tret'ego poryadka s peremennymi koeffitsientami [Third-order differential equations with variable coefficients] [Text] // Satbayev University. – 2020. – No. 42–1 (42). – P. 7–9.

Sagindykov, B. Zh., Imangazina, G. Nakhozhdenie chastnogo resheniya differentsial'nogo uravneniya s peremennymi koeffitsientami [Finding a particular solution of a differential equation with variable coefficients] [Text] // Luchshaya studenteskaya stat'ya 2018 : sb. st. XV Mezhdunar. nauch.-issled. konkursa / otv. red. Gulyaev G. Yu. – Moscow : MCNS «Nauka i Prosveshchenie», 2018. – P. 14–17.

Sagindykov, B. Zh. Qarapaim differentsialdyq teńdeuler jáne Matlab: oqý quraly [Ordinary differential equations and Matlab : textbook] [Text]. – Almaty: ZhShS Lantar Treid, 2021. – 212 p.

01.03.23 ж. баспаға түсті.

01.03.23 ж. түзетулерімен түсті.

25.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Б. Ж. Сағиндыков¹, Ж. Бимура²

¹Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева
(Satbayev University),

Республика Казахстан, г. Алматы;

²Институт горного дела имени Д. А. Кунаева,

Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 01.03.23.

Поступило с исправлениями 01.03.23.

Принято в печать 25.02.24.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВАРИАЦИОННОЙ ИТЕРАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье вариационно-итерационный метод применяется для приближенного решения дифференциальных уравнений, включая линейные и нелинейные задачи. Основная идея метода основана на связывании рассматриваемого дифференциального уравнения с некоторым функционалом и сведении его к задаче минимизации функционала. Затем рассматриваемая проблема решается с помощью итерационного метода. При этом решение улучшается с каждой итерацией, особенно при решении нелинейных дифференциальных уравнений. Для повышения сходимости решения использованы понятия ограниченной вариации и функционала коррекции. В работе функционал коррекции рассматривался как итерационная формула коррекции, улучшающая решение заданного дифференциального уравнения. Множитель Лагранжа, введенный в функционал коррекции, был введен для учета нелинейного члена в данном дифференциальном уравнении. Нахождение множителя Лагранжа, определяемого как константа или функция, является ключевой проблемой в методе вариационной итерации. Коэффициент Лагранжа необходим для минимизации функционала коррекции. Это существенно влияет на более быструю сходимость ряда приближенных решений к аналитически точному решению. В статье использован вариационный принцип для определения множителя Лагранжа. Результаты и ограничения метода вариационной итерации были исследованы путем анализа конкретных примеров поиска приближенных решений линейных и нелинейных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: вариационный итерационный метод, функционал коррекции, множитель Лагранжа, ограниченная вариация, дифференциальное уравнение.

<https://doi.org/>

*B. Sagindykov¹, Zh. Bimurat²

¹Kazakh National Research
Technical University named after K. I. Satpayev
(Satbayev University),

Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Mining Institute named after D. A. Kunaev,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 01.03.23.

Received in revised form 01.03.23.

Accepted for publication 25.02.24.

APPLICATION OF THE VARIATIONAL ITERATION METHOD FOR SOLVING NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS

This paper applies the variational iteration method to approximate solutions of differential equations, including both linear and nonlinear problems. The core idea of the method is based on associating the given differential equation with a certain functional and reducing the problem to a functional minimization task. The problem is then solved iteratively, with each iteration improving the solution, particularly in the case of nonlinear differential equations. To enhance the convergence of the solution, the concepts of bounded variation and correction functional are utilized. In this study, the correction functional is considered as an iterative correction formula that refines the solution of the given differential equation. The Lagrange multiplier introduced into the correction functional accounts for the nonlinear term in the differential equation. Finding the Lagrange multiplier, defined as a constant or a function, is a key issue in the variational iteration method. The Lagrange multiplier is needed to minimize the correction functional. It significantly affects the faster convergence of a series of approximate solutions to an analytically exact solution. The variational principle is employed to determine the Lagrange multiplier. The effectiveness and limitations of the variational iteration method are investigated through the analysis of specific examples of approximate solutions for linear and nonlinear differential equations.

Keywords: variational iteration method, correction functional, Lagrange multiplier, bounded variation, differential equation.

G. M. Baisal¹, *E. O. Kutkeldiyeva², A. K. Kozybay³

^{1,3}Abai Kazakh National Pedagogical University,
Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Kazakh National Women's

Teacher Training University,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0990-0892>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6754-2280>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4043-7771>

*e-mail: gulnazym_mm@mail.ru

DEVELOPING SCIENTIFIC LITERACY IN GRADE 8 THROUGH TEACHING «STEADY ELECTRIC CURRENT» UNIT

This article examines the development of students' scientific literacy through the instruction of the «Direct Electric Current» unit within the 8th grade physics curriculum. Furthermore, it provides an analysis of effective strategies and tools aimed at enhancing scientific literacy in students.

The article characterizes scientific literacy as a student's ability to explain natural phenomena, draw conclusions based on evidence, and apply scientific knowledge in everyday life. The aim of the research is to identify methodological features of fostering scientific literacy among students in lower secondary school. In accordance with this aim, the following research objectives were established: 1) To analyze scientific and methodological literature relevant to the research topic, as well as the regulatory and legal documents related to general secondary education approved by the Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan; 2) To identify and analyze the opportunities for developing scientific literacy among school students.

In order to identify the issue of developing students' scientific literacy in school physics education, a methodological approach based on the analysis and synthesis of scientific and methodological research was employed.

In the course of the research, scientific and methodological materials were analyzed, synthesized, and systematized in order to identify the methodological features of developing students' scientific literacy. The

methodological features identified through the study can be implemented in teachers' professional practice and offer a valuable contribution to pedagogical practice.

Keywords: physics, direct electric current, scientific literacy, teaching methodology, physics curriculum.

Introduction

In the current education system, fostering students' scientific literacy has become one of the key objectives. Scientific literacy refers to a student's ability to understand the surrounding world from a scientific perspective, to analyze scientific data, make evidence-based decisions, and to explain physical phenomena encountered in everyday life through scientific reasoning. From this perspective, teaching physics at school plays a crucial role not only in developing students' subject-specific knowledge but also in enhancing their scientific thinking and functional literacy [1].

The content of the «Natural Sciences» educational area is implemented through subjects such as «Science», «Physics», «Chemistry», «Biology», and «Geography». The content of the «Physics» subject aims to:

- Develop functional knowledge and skills, including planning, analyzing and processing information, interpreting, systematizing, working according to algorithms, conducting research, enhancing practical and experimental skills, and the ability to evaluate and formulate conclusions;
- Deepen understanding of fundamental concepts, laws, theories, and principles that underpin the current scientific worldview, as well as the methods of scientific inquiry and the comprehensive study of nature, which help students grasp both global and local challenges facing humanity;
- Promote ecological awareness, scientific, project-based, and spatial thinking;
- Support professional orientation of learners in the field of natural sciences [2].

Subject-specific outcomes are characterized by their practical orientation and functionality. Accordingly, these outcomes reflect students' ability to apply their knowledge, skills, and competencies in recognizing, explaining, and investigating observable physical phenomena in real-life contexts.

Teaching students to apply their knowledge and skills in practice is one of the primary objectives of physics education. However, challenges still persist regarding students' ability to transfer their knowledge and skills to new contexts. This issue is evident in the findings of various international educational assessments [3]. Scientific literacy effectively reflects the practical application of science-related knowledge, including knowledge in physics.

Scientific literacy is recognized as one of the key objectives of physics education at the lower secondary level, as outlined in the State Compulsory Standard of Basic Education [2] and the model curriculum for the subject «Physics» for grades 7–9 at the basic secondary education level [4]. Nevertheless, it can be observed that methodological recommendations related to the development of scientific literacy in physics instruction still require further improvement.

The scientific inquiry-based approach, considered a didactic foundation [5; 6], can be viewed as an effective tool for developing scientific literacy. However, such an approach should be complemented by the characteristics of scientific literacy tasks presented in the format of various international assessments aimed at evaluating students' knowledge. Moreover, the proposed methodology should focus on identifying the place and role of such tasks within the curriculum content. In this regard, the aim of the study is formulated as follows: to identify the methodological features of developing scientific literacy among students in school settings.

Materials and methods

To identify the methodological features of developing scientific literacy among students in basic school, a research methodology based on the analysis and synthesis of scientific and methodological studies was employed. Additionally, a survey was conducted among physics teachers to determine the key factors influencing the development of scientific literacy in basic secondary education.

Results and discussion

According to the definition used by PISA, scientific literacy refers to an individual's ability to engage with science-related issues as a responsible citizen and their interest in scientific ideas concerning socially significant problems [7]. Integrating PISA-type tasks into physics education can be considered an innovation that enables students to develop a deeper and more comprehensive understanding of physics [8]. However, it is essential that the current teaching methodologies be adapted to align with PISA standards by incorporating a more practice-oriented approach—without compromising the fundamental nature of physical science education [9].

By analyzing the learning objectives outlined in the model curriculum for the subject «Physics» for Grade 8 at the level of basic secondary education [4], we can identify those that align with the competencies of scientific literacy. The results of this analysis are presented in Table 1.

Table 1 – Competencies and Learning Objectives Characterizing Scientific Literacy

Contents of Scientific Literacy Competency	Learning Objectives of the Grade 8 Physics Curriculum Corresponding to Scientific Literacy Competencies
Explains scientific constructs: - uses appropriate scientific literacy competence to explain phenomena; - uses models and evidence in explanations; employs knowledge introduced by scientists to predict outcomes of personal and social issues or phenomena	- 8.3.1.4 Describe and analyze the states of matter based on the molecular-kinetic theory - 8.4.1.2 Explain the causes of friction and thermal phenomena - 8.4.1.4 Explain the law of conservation of electric charge - 8.4.2.1 Describe a direct current circuit; measure current, voltage, and resistance - 8.5.1.3 Explain the relationship between an object's internal energy and its temperature
Understands and evaluates the characteristics of scientific investigations: - formulates the purpose of a given investigation; - proposes or evaluates a scientific approach to investigating a given problem; - formulates a hypothesis and suggests ways to test it; - describes and evaluates the methods used by scientists to ensure the reliability of data and the accuracy of explanations.	- 8.3.2.1 describe methods of changing the internal energy of a body; - 8.3.2.8 investigate the law of conservation and transformation of energy in thermal phenomena; - 8.1.3.2 identify factors affecting the conduct of an experiment; - 8.3.2.17 explain the meaning of the first law of thermodynamics; - 8.3.2.21 suggest ways to improve heat engines; - 8.1.3.1 collect, analyze and record data from experiments, accounting for measurement errors; - 8.4.3.2 explain the characteristics of a magnetic field; - 8.4.3.7 explain the phenomenon of electromagnetic induction; - 8.5.1.10 compare the measured value of the refractive index with tabulated values and evaluate the experimental results.
Describes data and uses scientific evidence to draw conclusions: - analyzes, describes, and draws appropriate conclusions based on data; - converts data from one form to another; - evaluates evidence obtained from various sources in a scientific context.	- 8.3.2.16 explain the dependence of the boiling temperature on external pressure; - 8.4.2.4 determine electric current and voltage in an electric circuit; - 8.4.2.5 graph and explain the volt-ampere characteristics of a metal conductor at constant temperature; - 8.4.2.10 identify the laws of parallel connection of conductors through experiments; - 8.4.2.9 derive the laws of series connection of conductors through experiments; - 8.4.2.10 identify the laws of parallel connection of conductors through experiments; <i>(repeated in original)</i> - 8.4.2.11 apply Ohm's law to parts of circuits in series and parallel connections to perform circuit calculations; - 8.4.2.16 describe electric current in metal conductors and its dependence on temperature; - 8.4.3.1 describe the basic properties of magnets and represent magnetic fields using field lines; - 8.5.1.9 determine the refractive index of glass through experimentation; - 8.5.1.14 determine the focal length and optical power of a thin lens; - 8.5.1.16 construct simple optical devices (periscope, camera obscura).

It can be concluded that the learning objectives presented in Table 1 correspond to the content of scientific literacy competencies. Therefore, methodical tools directed at achieving these objectives can contribute

to the development of students' scientific literacy. These tools may include tasks specifically designed to foster scientific literacy. The content of such tasks is based on problem situations derived from real life. In this context, while studying the section «Direct Electric Current» in the model curriculum for the subject «Physics» for Grade 8 of the basic secondary education level, the use of tasks related to scientific literacy is proposed.

Context is one of the main conditions that determines whether a task is intended for developing scientific literacy. This is because scientific literacy reflects a student's ability to apply knowledge in real-life situations. The presence of a context involving a problem-based situation answers the question of why scientific knowledge might be necessary. Tasks that lack context leave this question unanswered, thereby undermining the effort students put in [10].

When teaching the section «Direct Electric Current» in middle school, it is possible to offer tasks to students in two categories:

1) Tasks with multiple-choice answers. These assess students' knowledge of physical concepts, quantities, laws, principles, and postulates.

2) Short-answer tasks assess the following skills:

- understanding the meaning of physical concepts, quantities, laws, principles, and postulates;

- applying learned knowledge in solving basic physics problems;

- distinguishing scientific theories from assumptions and making conclusions based on experimental results;

- giving examples of the practical application of physics knowledge.

3) Extended-response tasks assess the following skills:

- describing and explaining physical phenomena, object properties, and experimental results;

- applying learned knowledge in solving complex physics problems;

- applying acquired knowledge in practical activities and everyday life.

Task 1. Figure 1 shows an example of a task with a short answer.

The diagram shows a device that can be used to investigate how the voltage across a rheostat depends on the current flowing through it when the movable part of the rheostat is shifted **from right to left**. At the bottom of the diagram, graphs are presented that were plotted based on the measurements obtained for two different voltage sources.

Select the two conclusions that correspond to the results of these experiments and write the numbers of the correct conclusions into the table at the bottom. Assume the voltmeter is ideal.

- 1) At a current of 12 A, the voltmeter shows the value of the EMF.
- 2) The short-circuit current is equal to 12 A.
- 3) In the second experiment, the resistance of the resistor decreased rapidly.
- 4) In the second experiment, the EMF is 2 times less than in the first.
- 5) In the first experiment, the EMF is 5 V.

Answer:

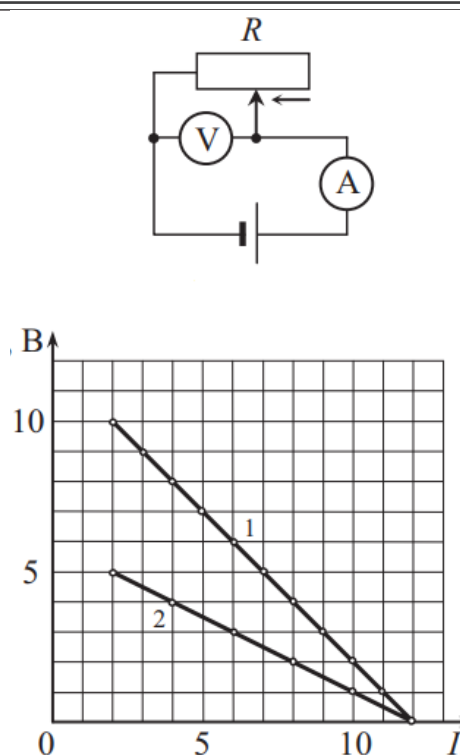


Figure 1 – An example of a task involving multiple-choice answers

Task 2. The PHET platform provides a virtual laboratory <https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>. The laboratory work «Investigating the dependence of current strength on voltage in a circuit» should be completed. The tasks given on page 279 of the [11] textbook must be carried out. The results obtained using the virtual laboratory and actual equipment should be compared, and a conclusion should be drawn.

Task 3. Consider one or two household electrical appliances. Find their nominal power according to the specifications. Calculate the work done by the current in the appliances over 10, 15, and 40 minutes. Draw a conclusion.

Conclusions

The educational program for physics at the middle school level is designed to achieve the goals outlined in the curriculum. The main objective of teaching the physics course is to establish a scientific worldview in students, fostering an understanding of the natural sciences, the development of observational skills, and the ability to solve practical problems in real life through analysis of natural phenomena.

The main tasks of teaching the subject are:

- To teach students the fundamental laws and principles underlying the modern physical understanding of the world, as well as scientific methods of nature study;
- To develop students' intellectual, informational, communicative, and reflective culture, and to build skills in performing physical experiments and conducting research work;
- To cultivate a responsible attitude toward learning and research activities;
- To apply acquired skills in the use of natural resources, the protection of the environment, and ensuring a safe life for individuals and society.

One way to address these tasks is by integrating tasks focused on scientific literacy into the physical education system. These tasks may be based on new problematic situations that can be analyzed with the knowledge acquired by the students.

References

- 1 Назарбаев Зияткер мектептері ДББҰ. Физика 8-сыныпқа арналған оқу бағдарламасы [Мәтін]. – Астана : НЗМ, 2019. – 56 б.
- 2 Негізгі білім берудің мемлекеттік жалпыға міндетті стандарты [Мәтін] // Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министрінің 2022 жылғы 3 тамыздағы № 348 бұйрығы [Электрондық ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029031#z306>
- 3 PISA для школ [Текст]. [Электрондық ресурс]. – https://taldau.edu.kz/ru/int_material/pisa
- 4 Негізгі орта білім беру деңгейінің 7–9-сыныптарына арналған «Физика» оқу пәні бойынша үлгілік оқу бағдарламасы [Текст]. // Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министрінің 2022 жылғы 16 қыркүйектегі № 399 бұйрығы [Электрондық ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767#z203>
- 5 Разумовский, В. Г. Физика в школе. Научный метод познания и обучение [Текст]. – М. : ВЛАДОС, 2004. – 463 с.
- 6 Разумовский, В. Г., Сауров, Ю. А., Синенко, В. Я. Деятельность моделирования как фундаментальная учебная деятельность [Текст]. // Сибирский учитель. 2013. – № 2(87). – С. 5–16.

7 Пентин, А. Ю., Ковалева, Г. С., Давыдова, Е. И., Смирнова, Е. С. Состояние естественнонаучного образования в российской школе по результатам международных исследований TIMSS и PISA [Текст]. // Вопросы образования. – 2018. – № 1. – С. 79–109.

8 Mamajonov, X. A. The Role of Pisa Exercises in Teaching Physics [Text]. // International Journal of Scientific Trends. – 2023. – Vol. 2. – № 12. – P. 63–66.

9 Сиддикова, Ш. А. Особенности заданий международных исследований PISA и TIMSS [Текст]. // Academic Research in Educational Sciences. – 2022. – № 1(3). – С. 837–847.

10 Пентин, А. Ю., Никифоров, Г. Г., Никишова, Е. А. Основные подходы к оценке естественнонаучной грамотности [Текст]. // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2019. – Т. 1. – № 4(61). – С. 80–97.

11 Закирова, Н. А., Аширов, Р. Р. Жалпы білім беретін мектептің 8-сыныбына арналған оқулық [Мәтін]. – Астана : «Арман-ПВ» баспасы, 2018. – 304 б.

References

1 Nazarbaev Ziyatker mektepteri DBBU. Fizika 8-synypqa arналған оқу bagdarlamasy [AEO «Nazarbaev Intellectual Schools». Physics curriculum for 8th grade] [Text]. – Astana : NZM, 2019. – 56 p.

2 Negizgi orta bilim berudin memlekettik zhalpyga mindetti standarty [State Compulsory Standard of Basic Secondary Education] [Text]. Order of the Minister of Education of the Republic of Kazakhstan No. 348, dated August 3, 2022 [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029031#z306>

3 PISA dlya shkol [PISA for schools] [Text]. [Electronic resource]. – https://taldau.edu.kz/ru/int_materialy/pisa

4 Negizgi orta bilim beru dengejiniń 7–9-synypтарына арналған «Fizika» оқу pani bojynsha ulgilik оқу bagdarlamasy [Standard Curriculum for the Subject «Physics» for Grades 7–9 of Basic Secondary Education] [Text]. Order of the Minister of Education of the Republic of Kazakhstan № 399 dated September 16, 2022 [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767#z203>

5 Razumovsky, V. G. Fizika v shkole. Nauchnyj metod poznaniya i obuchenie [Physics in School : The Scientific Method of Knowledge and Learning] [Text]. – Moscow : VLADOS, 2004. – 463 p.

6 Razumovsky, V. G., Saurav, Yu. A., Sinenko, V. Ya. Deyatel'nost' modelirovaniya kak fundamental'naya uchebnaya deyatel'nost' [The activity of modeling as a fundamental educational activity] [Text]. // Sibirskij uchitel'. 2013. – № 2(87). – P. 5–16.

7 Pentin, A. Yu., Kovaleva, G. S., Davydova, E. I., Smirnova, E. S. Sostoyanie estestvennonauchnogo obrazovaniya v rossijskoj shkole po rezul'tatam mezhdunarodnyh issledovaniy TIMSS i PISA [Science Education in Russia According to the Results of the TIMSS and PISA International Studies.] [Text]. // Educational Studies Moscow. – 2018. – № 1. – P. 79–109.

8 Mamajonov, X. A. The Role of Pisa Exercises in Teaching Physics [Text]. // International Journal of Scientific Trends. – 2023. – Vol. 2, № 12. – P. 63–66.

9 Siddikova, Sh. A. Osobennosti zadaniy mezhdunarodnyh issledovaniy PISA i TIMSS [Features of the Tasks in International Studies PISA and TIMSS] [Текст]. // Academic Research in Educational Sciences. – 2022. – № 1(3). – P. 837–847.

10 Pentin, A. Yu., Nikiforov, G. G., Nikishova, E. A. Osnovnye podhody k ocenke estestvennonauchnoj gramotnosti [Main Approaches to Assessing Scientific Literacy] [Text]. // Domestic and Foreign Pedagogy. – 2019. – Vol. 1. – № 4(61). – P. 80–97.

11 Zakirova, N. A., Ashirov, R. R. Zhalpy bilim beretin mekteptin 8-synybyna arналған оқулық [Textbook for the 8th grade of general education school] [Text]. – Astana : «Arman-PV» Publishing House, 2018. – 304 p.

Received 01.03.23.

Received in revised form 01.03.23.

Accepted for publication 25.02.24.

Г. М. Байсал¹, *Э. О. Куткелдиева², А. Қ. Қозыбай³

^{1,3}Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

²Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

01.03.23 ж. баспаға түсті.

01.03.23 ж. түзетулерімен түсті.

25.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

8-СЫНЫПТА «ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ» ТАРАУЫН ОҚЫТУДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ҒЫЛЫМИ ЖАРАТЫЛЫСТАНУ САУАТТЫЛЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Мақалада 8-сыныптағы физика пәнінің «Тұрақты электр тогы» тарауын оқыту арқылы оқушылардың ғылыми жаратылыстану сауаттылығын қалыптастыру жолдары қарастырылады. Сонымен қатар, оқушылардың бойында ғылыми жаратылыстану сауаттылығын қалыптастырудың тиімді тәсілдері мен құралдарына талдау жасалынады.

Мақалада ғылыми сауаттылық оқушының табиғи құбылыстарды түсіндіру, дәлелдерге сүйеніп ой қорыту және ғылыми білімді күнделікті өмірде қолдану қабілеті ретінде сипатталады. Зерттеу мақсаты – негізгі мектепте оқушылардың ғылыми жаратылыстану сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік ерекшеліктерін айқындау. Зерттеу мақсатына сәйкес келесі міндеттер қойылды: 1) зерттеу тақырыбына қатысты ғылыми-әдістемелік материалдарды, сондай-ақ Қазақстан Республикасының Оқу-ағарту министрлігі бекіткен негізгі орта білім беруге қатысты нормативтік-құқықтық құжаттарды талдау; 2) мектеп оқушыларының ғылыми жаратылыстану сауаттылығын қалыптастырудың мүмкіндіктерін анықтау және талдау.

Мектепте физиканы оқытуда оқушыларының ғылыми жаратылыстану сауаттылығын қалыптастыру мәселесін айқындау үшін ғылыми-әдістемелік зерттеулерді талдау және жинақтау негізіндегі әдіснамалық тәсіл қолданылды.

Зерттеу барысында оқушылардың бойында ғылыми жаратылыстану сауаттылықты қалыптастырудың әдістемелік ерекшеліктерін айқындау мақсатында ғылыми-әдістемелік материалдар талданып, жинақталып, бір жүйеге келтірілді. Зерттеу барысында айқындалған оқушылардың ғылыми жаратылыстану сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік ерекшеліктері мұғалімнің іс-әрекетінде қолданылуы мүмкін және педагогикалық практикаға құнды үлес қосады.

Кілтті сөздер: физика, тұрақты электр тогы, ғылыми жаратылыстану сауаттылық, оқыту әдістемесі, физика, оқу бағдарламасы.

Г. М. Байсал¹, *Э. О. Куткелдиева², А. Қ. Қозыбай³

^{1,3}Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Республика Казахстан, г. Алматы;
²Казахский национальный женский педагогический университет, Республика Казахстан, г. Алматы.
Поступило в редакцию 01.03.23.
Поступило с исправлениями 01.03.23.
Принято в печать 25.02.24.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ РАЗДЕЛУ «ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК» В 8 КЛАССЕ

В статье рассматриваются подходы формирования естественно-научной грамотности школьников при обучении разделу физики «Постоянный электрический ток» в 8 классе. Также анализируются эффективные приемы и средства формирования естественно-научной грамотности обучающихся на уроках физики.

В статье естественно-научная грамотность описывается как способность ученика объяснять природные явления, делать выводы на основе доказательств и применять научные знания в повседневной жизни. Цель исследования – определить методические особенности формирования естественно-научной грамотности школьников в основной школе. В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи: 1) провести анализ научно-методических материалов по теме исследования, а также нормативно-правовых документов, утвержденных Министерством просвещения Республики Казахстан, касающихся основного среднего образования; 2) выявление и анализ возможностей формирования естественно-научной грамотности у школьников.

Для выявления проблемы, связанной с формированием естественно-научной грамотности школьников при обучении разделу физики, использован методологический подход, основанный на анализе и обобщении научно-методических исследований.

В ходе исследования с целью определения методических особенностей формирования естественно-научной грамотности у

школьников были проанализированы, собраны и систематизированы научно-методические материалы.

Выявленные в ходе исследования методические особенности формирования естественно-научной грамотности у школьников могут быть применены в деятельности учителя и внесут ценный вклад в педагогическую практику.

Ключевые слова: физика, постоянный электрический ток, естественно-научная грамотность, методика преподавания, учебная программа.

<https://doi.org/>

***А. Б. Искакова¹, А. С. Сәрсенбек²**

¹Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Абай атындағы Қазақ ұлттық
педагогикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8938-2195>

*e-mail: anar_is@mail.ru

ОРТА МЕКТЕПТЕ ФИЗИКАДАН ЗЕРТХАНАЛЫҚ САБАҚТАРДЫ ЖҮРГІЗУДЕГІ ТРАНСПӘНДІК ТҰҒЫР

Мақалада транспәндік тұғырдың әдіснамасы, білім беру жүйесі мен ғылымдағы жағдайы қарастырылады. Білім беру мазмұнын жаңарту мәселесін жүзеге асырудағы транспәндік тұғырды қолданудың әдістемелік мүмкіндіктеріне, ерекшеліктеріне көңіл бөлінеді. Зерттеу мақсаты – орта мектепте физикадан зертханалық сабақтарды жүргізудегі транспәндік тұғырды қолданудың әдістемелік ерекшеліктерін айқындау. Зерттеу мақсатына сәйкес келесі міндеттер қойылды: 1) зерттеу тақырыбына қатысты ғылыми-әдістемелік материалдарды, сондай-ақ Қазақстан Республикасының Оқу-ағарту министрлігі бекіткен жалпы орта білімге қатысты нормативтік-құқықтық құжаттарды талдау; 2) физикадан зертханалық сабақтарды ұйымдастыруда транспәндік тұғырды қолдану әдістемесін ұсыну.

Орта мектепте физиканы оқытуда транспәндік тұғырды қолдануға қатысты мәселені анықтау үшін ғылыми-әдістемелік зерттеулерді талдау және жинақтау негізіндегі әдіснамалық тәсіл қолданылды. Орта мектепте физикадан зертханалық сабақтарды жүргізуде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейін анықтау мақсатында мұғалімдерден сауалнама алынды.

Зерттеу барысында: 1) орта мектепте физиканы оқытуда транспәндік тұғырды қолданудың әдістемелік ерекшеліктері айқындалды; 2) мектеп мұғалімдері арасында жүргізілген сауалнамаға сәйкес пәнаралық байланыстың мүмкіндіктері

нақтыланды. Зерттеу барысында берілген транспәндік тұғырды физиканы оқытуда қолдануға қатысты берілген әдістемелік ұсыныстар мұғалімнің шеберлігін шыңдауға мүмкіндік береді және педагогикалық практикаға құнды үлес қосады.

Кілтті сөздер: физика, информатика, Electronics Workbench, транспәндік тұғыр, когнитивтік сұлба, когнитивтік сұлбаларды көшіру.

Кіріспе

Білім беру жүйесінің заманауи талаптары оқушылардың тек білім көлемін арттырып қана қоймай, оларды шығармашылықпен ойлай алатын, алған білімін өмірде қолдана білетін, жан-жақты тұлға ретінде қалыптастыруға бағытталған. Жалпы орта білім беру келесі мақсаттарды көздейді [1]:

- білімді функционалдықпен және шығармашылықпен қолдану;
- сын тұрғысынан ойлау;
- зерттеу жұмыстарын жүргізу;
- ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану;
- коммуникацияның түрлі тәсілдерін қолдану;
- топта және жеке жұмыс жасау білігі;
- мәселелерді шешуі және шешім қабылдау.

Көрсетілген мақсаттарға сәйкес оқу процесінің мазмұнын өзгерту, жетілдіру білім беру жүйесінің басты міндеттері болып табылады. Демек, білім беру мазмұнына жаңа әдістер мен технологияларды енгізу қажеттілігі туындап отыр. Сол себепті, әртүрлі пәндердің арасындағы мазмұндық және әдістемелік байланысты қамтамасыз ету арқылы оқу үрдісін интеграциялау әдісін қолдануды білім беру мазмұнын жаңарту мәселесін шешудің бір жолы ретінде қарастыруға болады. Орта мектепте физиканы оқытуда транспәндік тұғырды қолдануды оқу үрдісін интеграциялауды жүзеге асырудың дидактикалық шарты ретінде қарастыруға болады.

Қарастырылған мәселелерге байланысты зерттеу мақсаты келесі түрде айқындалды: орта мектепте физикадан зертханалық сабақтарды жүргізудегі транспәндік тұғырды қолданудың әдістемелік ерекшеліктерін айқындау. Зерттеу мақсатына сәйкес келесі міндеттер қойылды: 1) зерттеу тақырыбына қатысты ғылыми-әдістемелік материалдарды, сондай-ақ Қазақстан Республикасының Оқу-ағарту министрлігі бекіткен жалпы орта білімге қатысты нормативтік-құқықтық құжаттарды талдау; 2) физикадан зертханалық сабақтарды ұйымдастыруда транспәндік тұғырды қолдану әдістемесін ұсыну.

Материалдар мен әдістері

Орта мектепте физиканы оқытуда транспәндік тұғырды қолдану мәселесін айқындау үшін ғылыми-әдістемелік зерттеулерге талдау жүргізу және оларды жалпылау негізінде ғылыми мәселені анықтау әдіснамасы қолданылды. Орта мектепте физикадан зертханалық сабақтарды жүргізуде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейін анықтау мақсатында физика мұғалімдері арасында сауалнама жүргізілді. Сауалнама <https://forms.gle/MEE3RptftuyRtFyx8> түрінде таратылды.

Нәтижелер және талқылау

Зертханалық сабақтар физика пәнін оқытудың маңызды компоненттерінің бірі болып табылады. Олар оқушылардың теориялық білімдерін практикада қолдануына, зерттеу жүргізу қабілеттерін дамытуға, бақылау, өлшеу, қорытынды жасау сияқты дағдыларын қалыптастыруға ықпал етеді. Егер орта мектепте физиканы оқыту процесі транспәндік принцип негізінде ұйымдастырылса, онда оқушылар тек физикалық түсініктер мен заңдарды біліп қана қоймай, сонымен физика бойынша алған білімдерін басқа пәндердегі білімдерімен ұштастыра алатын болады. Демек, транспәндік принципке тән болатын бір пәннің когнитивтік сұлбаларын басқа пәннің когнитивтік сұлбаларына көшіру жүзеге асырылатын болады [2, 227-б.]. Мәселен, қозғалыс заңдарын зерттегенде математикалық графиктерді пайдалану, температура мен жылу алмасуды талдағанда химиялық процестерді ескеру, электр тізбектерін құрастыруда техникалық сауаттылықты дамыту іс-әрекеттері осындай интеграцияланған тәсілдің нақты көріністері болып табылады.

Транспәндік тұғыр – бұл білім берудің дәстүрлі пәнаралық байланыстан [3] да тереңірек деңгей, ол пәндер арасындағы шекараларды жойып, білім алушыларға әлемді біртұтас жүйе ретінде тануға мүмкіндік береді [4; 5; 6; 7]. Сондай-ақ, транспәндік тұғырды оқу процесінде қолдану жаратылыстану-математикалық бағыттағы пәндер үшін аса маңызды, өйткені бұл пәндер бір-бірімен тығыз байланыста дамып, табиғаттың әртүрлі құбылыстарын кешенді түрде түсіндіруге мүмкіндік береді [8].

Транспәндік тұғырдың әдіснамасы П.М. Гуреевтің [9], Е. Г. Гребенщиковааның [10], оның білім берудегі Л.В. Екшембаеваның және т.б. [11], ғылымдағы жағдайы А. Л. Кудряшовтың [12], М. С. Мокийдің [13] авторлардың еңбектерінде егжей-тегжейлі зерттеліп қарастырылған.

Физика жаратылыстану ғылымдарының негізі ретінде көптеген басқа ғылым салаларымен өзара байланысты. Атап өтетін болсақ, механика заңдары математика және геометриямен, термодинамика химиямен, ал электр және магнетизм тараулары информатика және техника салаларымен тығыз байланыста. Сондықтан физика сабақтарында транспәндік тұғырды

қолдану оқушылардың ойлау көкжиегін кеңейтіп, олардың пәнге деген қызығушылығын арттырады, сондай-ақ ғылымдар арасындағы табиғи үйлесімді түсінуге көмектеседі.

Қойылған мақсат-міндеттерге байланысты орта мектепте физикадан зертханалық сабақтарды ұйымдастыруда транспәндік тұғырды қолдану әдістемесі ұсынылады. Қазіргі таңда орта мектепте физикадан зертханалық жұмыстарды ұйымдастыруда нақты приборлармен қатар виртуалды зертханаларды қолдану мүмкіндігі кең. Electronics Workbench бағдарламасының негізіндегі виртуалды зертханаларды қолданудың әдістемелік ерекшеліктерін қарастырайық. Мектепте физика пәнін оқытуда Electronics Workbench немесе оның аналогы Multisim модельдеудің электрондық жүйесін принципіалды электр сұлбасын, электрондық компоненттердің шартты белгілерін көрсетуде, жеке электрлік компоненттермен қатар күрделі сұлбалардың жұмыс істеу принциптерін түсіндіруде, алынған өлшеулердің нәтижелерін талдауда, білім алушылардың электр сұлбаларын жинау дағдылары мен біліктерін дамыту үшін, білімдерді бағалауда, практикумдар мен зертханалық жұмыстарды жүргізуде қолдануға болады.

Мектепте Electronics Workbench жүйесін келесі зертханалық жұмыстарды орындауда [14] қолдануға болады:

- «Электр тізбегін құрастыру және оның әртүрлі бөліктеріндегі ток күшін өлшеу»;
- «Тізбек бөлігі үшін ток күшінің кернеуге тәуелділігін зерттеу»;
- «Өткізгіштерді тізбектей қосуды зерделеу»;
- «Өткізгіштерді параллель қосуды зерделеу»;
- «Өткізгіштерді аралас жалғауды оқып үйрену»;
- «Ток көзінің электр қозғаушы күші мен ішкі кедергісін анықтау»;
- «Шамның қыл сымының, резистордың және жартылай өткізгіш диодтың вольтамперлік сипаттамасы».

[15] оқулығында берілген «Өткізгіштерді аралас жалғауды оқып үйрену» зертханалық жұмысын Electronics Workbench жүйесін қолдану арқылы орындау әдістемесін келесі түрде ұсынамыз.

Жұмыстың мақсаты: өткізгішті шунт, қосымша кедергі, кернеу бөлгіш ретінде жалғауды үйрену.

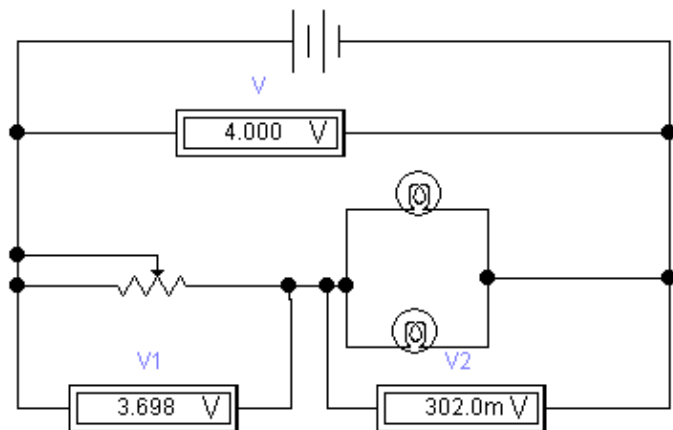
Құрал-жабдықтар: 4 В тұрақты ток көзі, 3,5 В (2,5 В) екі шам, 15–50 Ом айнымалы резистор, үш вольтметр, кілт.

Тапсырма 1. Қосымша кедергі ретінде айнымалы резисторды жалғау. Тапсырманы орындау реті:

- 1) Electronics Workbench модельдеудің электрондық жүйесін қосыңыз;

2) құрал-жабдықтар панелінде ток көзі, айнымалы резистор, резистор, кілт, шам, вольтметр шартты белгілерін тауып, оларды бағдарламаның жұмыс тақтасына орналастырыңыз;

3) жұмыс тақтасындағы компоненттерді тышқанның көмегімен 1-суретте келтірілген сұлбаға сәйкес жалғаңыз;



Сурет 1 – Өткізгіштерді аралас жалғау сұлбасы

4) айнымалы резисторға тышқанмен курсорды жақындатып, оған екі рет шертіңіз. Ашылған терезеде кедергінің мәнін 15 Ом өзгертіңіз;

5) 4 пунктті тұрақты ток көзі, шамдар үшін орындап, оларға зертханалық жұмыста берілген мәндерді беріп өзгертіңіз;

6) Electronics Workbench модельдеудің электрондық жүйесінің оң жақ шетіндегі батырманы қосып, сұлбаны іске қосыңыз;

7) алынған нәтижелерді 1-кестеге жазыңыз.

Кесте 1 – Нәтижелерді толтыру кестесі

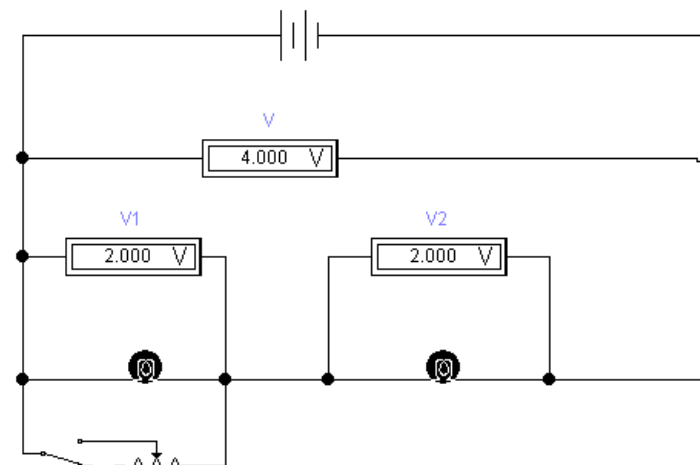
№ тәжірибе	Өлшенді			Есептелді
	U_1, B	U_2, B	U, B	$U_1 + U_2, B$
1				
2				
3				

8) қорытынды жасаңыз.

Тапсырма 2. Айнымалы резисторды уақытша шунт ретінде жалғау.

1) Electronics Workbench модельдеудің электрондық жүйесінің жұмыс тақтасындағы компоненттерді тышқанның көмегімен 1-суретте келтірілген сұлбаға сәйкес жалғаңыз;

2) кілт ашық және жабық болған кездегі вольтметрдің көрсеткіштерін 2-кестеге жазыңыз. Кілтті ашық және жабық күйге келтіру үшін пернетақтадағы «пробел» батырмасын бассаңыз болады.



Сурет 2 – Өткізгіштерді аралас жалғау сұлбасы

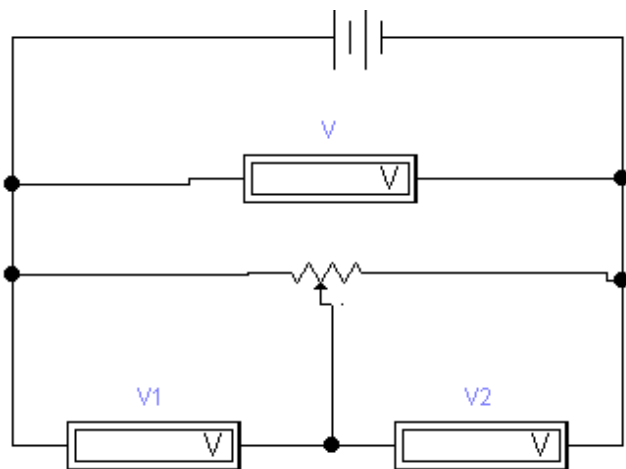
Кесте 2 – Нәтижелерді толтыру кестесі

№ тәжірибе	Кілттің күйі	Өлшенді			Есептелді
		U_1, B	U_2, B	U, B	$U_1 + U_2, B$
1	Ашық				
2	Жабық				

3) қорытынды жасаңыз.

Тапсырма 3. Айнымалы резисторды кернеу бөлгіш ретінде жалғау.

1) Electronics Workbench модельдеудің электрондық жүйесінің жұмыс тақтасындағы компоненттерді тышқанның көмегімен 3-суретте келтірілген сұлбаға сәйкес жалғаңыз;



Сурет 3 – Айнымалы резисторды кернеу бөлгіш ретінде жалғау сұлбасы

2) резистордың 15 Ом, 30 Ом, 50 Ом мәндерінде вольтметрлердің көрсеткіштерін 3-кестеге жазыңыз;

Кесте 3 – Нәтижелерді толтыру кестесі

№ тәжірибе	Резистордың мәндері, Ом	Өлшенді			Есептелді
		$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U, \text{В}$	$U_1 + U_2, \text{В}$
1	15				
2	30				
3	50				

3) қорытынды жасаңыз.

Орта мектептің оқу процесінде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейін анықтау мақсатында мұғалімдер арасында сауалнама жүргізілді. «Оқу процесінде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейі» сауалнамасында келесі сұрақтар қамтылды:

1 Өз пәніңіз және «Информатика» пәндерінің интеграциясы екі сала бойынша білімдер деңгейін арттыруға мүмкіндік береді деп ойлайсыз ба?

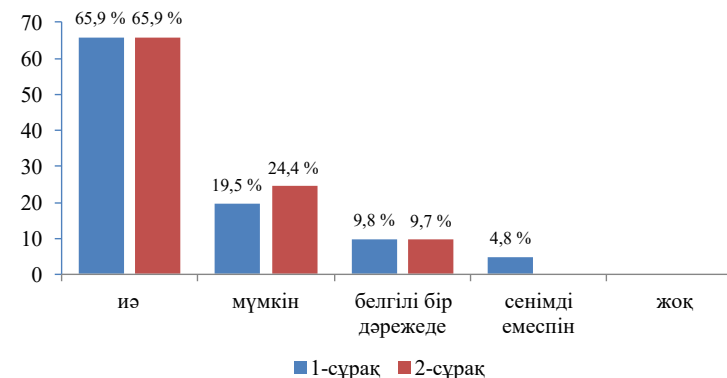
2 Пәндік интеграция пәнді игеруге қолайлы орта жасауға мүмкіндік береді ме?

3 Қандай педагогикалық технологиялар пәндік интеграцияның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді?

«Оқу процесінде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейі» атты сауалнамаға Алматы қаласы, Алматы облысы мектептері мұғалімдері арасынан барлығы 50 респондент қатысты. Сауалнама онлайн форматта <https://forms.gle/MEE3RptftuyRtFyx8> сілтемесі түрінде респонденттер арасында таратылды.

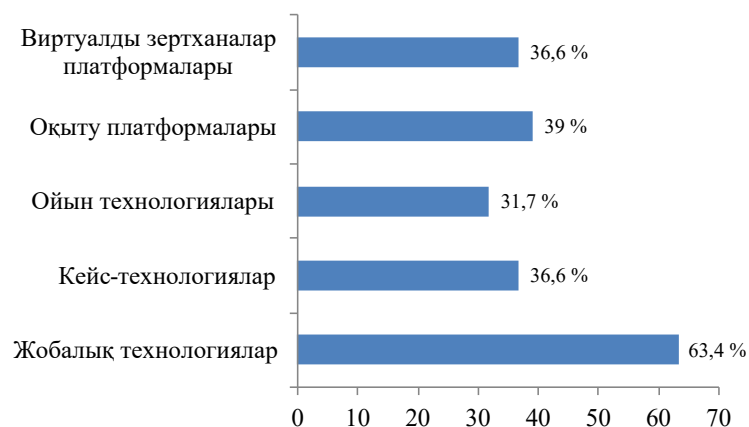
«Оқу процесінде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейі» сауалнамасына байланысты 1-ші және 2-ші сұрақтарға респонденттердің берген жауаптарының нәтижесі 4-суретте берілген диаграммада келтірілген.

Мектеп мұғалімдері арасында жүргізілген сауалнамаға берілген жауаптардың сапалы талдауына сәйкес респонденттердің басым бөлігі, яғни 65,9% «Физика» және «Информатика» пәндерінің интеграциясы екі сала бойынша білімдер деңгейін арттыруға мүмкіндік береді деп санайды. Респонденттердің дәл осы бөлігі пәнаралық интеграция физика пәнін игеруге қолайлы орта жасауға мүмкіндік беретіндігіне сеніммен жауап берді.



Сурет 4 – Мектеп мұғалімдері арасында жүргізілген сауалнама нәтижесі

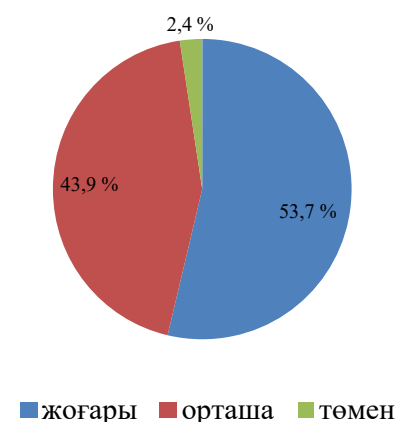
Сонымен қатар, респонденттер пәнаралық интеграцияның тиімділігін арттыру мақсатындағы педагогикалық технологиялардың ішіндегі жобалық технологиялардың үлесі басым екендігін білдірді. Респонденттердің осы мәселеге қатысты берген жауаптарының нәтижесі 5-суретте келтірілген.



Сурет 5 – Пәнаралық интеграцияның тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін педагогикалық технологиялар

6-суретте сәйкес респонденттердің 36,6 % пәнаралық интеграцияны жүзеге асыруға мүмкіндік беретін педагогикалық технологиялардың қатарынан виртуалды зертханаларды көрсеткен. Демек, жоғарыда ұсынылған физикадан зертханалық жұмыстарды транспәндік тұғырды қолдану арқылы жүргізу әдістемесіне деген қажеттіліктің бар екендігі респонденттердің берген жауабы дәлелдейді.

Дегенменде, орта мектепте физиканы оқыту процесінде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейіне қатысты сұраққа сәйкес респонденттердің 2,4 % бөлігі «төмен» деген нұсқаны таңдаған. Бұған көптеген факторлар әсер етуі мүмкін, солардың ішінде мектептерде инфрақұрылымның жеткіліксіздігі, әдістемелік сүйемелдеудің жеткілікте деңгейде болмауы және т.б. Осы мәселеге қатысты сауалнаманың нәтижелері 6-суретте берілген.



Сурет 6 – Оқу процесінде пәнаралық байланысты жүзеге асыру деңгейі

Қорытынды

Қарастырылып отырған мәселеге байланысты жүргізілген зерттеу барысында: 1) орта мектепте физиканы оқытуда транспәндік тұғырды қолданудың әдістемелік ерекшеліктері айқындалды; 2) мектеп мұғалімдері арасында жүргізілген сауалнамаға сәйкес пәнаралық байланыстың мүмкіндіктері нақтыланды; 3) транспәндік тұғырды қолдану арқылы физикадан зертханалық жұмысты жүргізу әдістемесі ұсынылды.

Қорыта келгенде, физикадан зертханалық жұмыстарды транспәндік тұғырды қолдану арқылы жүргізу оқыту сапасын арттыруға, оқушылардың білімін тереңдетуге, оларды ғылым мен техника салаларына бейімдеуге, ғылымға деген қызығушылықтарын арттыруға, сыни ойлауға мүмкіндік береді. Демек, транспәндік тұғырдың білім беру жүйесі мен ғылымға беретін мүмкіндіктерін зерттеу жұмыстары өз жалғасын табу қажет.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1 Жалпы орта білім берудің мемлекеттік жалпыға міндетті стандарты [Мәтін] // Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министрінің 2022 жылғы 3 тамыздағы № 348 бұйрығы (23.01.2025 ж. өзгертулермен) [Электрондық ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029031#z530>

2 Нурумжанова, К. А., Искакова, А. Б., Каирбаева, А. К. Развитие предпринимательского мышления студентов технических специальностей на основе применения трансдисциплинарного дидактического контента

спекурса по физике [Мәтін] // Перспективы науки и образования. – 2022. – № 4(58). – С. 225–242.

3 **Мамбетакуннов, Э.** Дидактические функции межпредметных связей в формировании у учащихся естественнонаучных понятий [Мәтін]. – Бишкек : Университет, 2015 – 328 с.

4 **Горбунов, В. И., Евдокимова, О. К., Римонди, Д., Андреев, В. В.** Формирование трансдисциплинарных знаний у студентов технических направлений вузов [Мәтін] // Science for Education Today. – 2019 – № 1(9) – С. 172–187.

5 **Искакова, А. Б.** Экономикадағы физикалық модельдер [Мәтін]. – Павлодар: Toraighyrov University, 2019. – 73 б.

6 **Schmidt, L., Pröpper, M.** Transdisciplinarity as real-world challenge: a case study on a North-South collaboration [Мәтін] // Sustainability Science. – 2017. – Vol. 12. – P. 365–379.

7 **McGregor, S. L. T., Volckman, R.** Transdisciplinarity in Higher Education, Part 7 : Conclusion [Мәтін] // Integral Leadership Review. – 2011. – № 11(3).

8 **Киященко, Л. П.** Феномен трансдисциплинарности – опыт философского анализа [Мәтін] // Santalka. Filosofia. – 2006. – № 1(14). – С. 17–37.

9 **Гуреев, П. М.** Современная наука и методология трансдисциплинарности [Мәтін] // Вестник университета. – 2013. – № 1. – С. 172–180.

10 **Гребенщикова, Е. Г.** Философско-методологическое обоснование трансдисциплинарной парадигмы в биоэтике: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора философских наук [Мәтін]. – М. : Институт философии РАН. – 2012 – 44 с.

11 **Кудряшов, А. Л.** Становление методологии научных исследований и трансдисциплинарности [Мәтін] // Academy Journal. – 2018. – № 9(11). – С. 9–24.

12 **Екшембаева, Л. В., Мусатаева, М. Ш., Дюсенова, Д. С.** Трансдисциплинарность как один из ответов образования на вызовы современной реальности [Мәтін] // Известия Казахского университета международных отношений и мировых языков имени Абылай хана. – 2024. – № 1(72). – С. 44–58.

13 **Мокий, М. С., Мокий, В. С.** Трансдисциплинарность в высшем образовании: экспертные оценки, проблемы и практические решения [Мәтін] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 1–12.

14 Жалпы білім беру ұйымдарына арналған жалпы білім беретін пәндердің, бастауыш, негізгі орта және жалпы орта білім деңгейлерінің таңдау курстарының үлгілік оқу бағдарламалары [Мәтін] // Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министрінің 2022 жылғы 16 қыркүйектегі №

399 бұйрығы (05.11.2024 ж. өзгертулермен). – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767>

15 **Закирова, Н. А., Аширов, Р. Р.** Физика: учеб. для 10 кл. естественно-математического направления общеобразовательных шк. [Мәтін]. – Нур-Султан : Издательство «Арман-ПВ», 2019. – 336 с.

References

1 Zhalpy orta bilim berudin memlekettik zhalpyga mindetti standarty [State Compulsory Standard of Basic Secondary Education] [Text]. Order of the Minister of Education of the Republic of Kazakhstan No. 348, dated August 3, 2022 (as amended on 01/23/2025) [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029031#z530>

2 **Nurumzhanova, K. A., Iskakova, A. B., Kairbayeva, A. K.** Razvitie predprinimatel'skogo myshleniya studentov tekhnicheskikh special'nostej na osnove primeneniya transdisciplinarnogo didakticheskogo kontenta speckursa po fizike [Development of entrepreneurial thinking of students of technical specialties based on the use of transdisciplinary didactic content of a special course in physics] [Text]. In Perspectives of Science and Education. – 2022. – № 4 (58). – P. 225–242

3 **Mambetkunov, E.** Didakticheskie funkicii mezhpredmetnyh svyazey v formirovanii u uchashchihsya estestvennonauchnyh ponyatij [Didactic functions of interdisciplinary connections in the formation of natural science concepts among students] [Text]. Bishkek: Universitet, 2015 – 328 p.

4 **Gorbunov, V. I., Evdokimova, O. K., Rimondi, G., Andreev, V. V.** Formirovanie transdisciplinarnykh znanij u studentov tekhnicheskikh napravlenij vuzov [Acquiring transdisciplinary knowledge by engineering students of Russian universities] [Text]. In Science for Education Today. – 2019. – № 1(9). – P. 172–187.

5 **Iskakova, A. B.** Ekonomikadagy fizikalıyq model'der [Physical models in economics] [Text]. – Pavlodar: Toraighyrov University, 2019. – 73 p.

6 **Schmidt, L., Pröpper, M.** Transdisciplinarity as real-world challenge: a case study on a North-South collaboration [Text]. In Sustainability Science. – 2017. – Vol. 12. – P. 365–379.

7 **McGregor, S. L. T., Volckman, R.** Transdisciplinarity in Higher Education, Part 7 : Conclusion [Text]. In Integral Leadership Review. – 2011. – № 11(3).

8 **Kiyashchenko, L. P.** Fenomen transdisciplinarnosti – opyt filosofskogo analiza [The phenomenon of transdisciplinarity – the experience of philosophical analysis] [Text]. In Santalka. Filosofia. – 2006. – № 1(14). – P. 17–37.

9 **Gureev, P. M.** Sovremennaya nauka i metodologiya transdisciplinarnosti [Modern science and methodology of transdisciplinarity] [Text]. In University Bulletin. – 2013. – №1. – P. 172–180.

10 **Grebenshchikova, E. G.** Filosofsko-metodologicheskoe obosnovanie transdisciplinarnoj paradigmy v bioetike: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora filosofskih nauk [Philosophical and methodological substantiation of the transdisciplinary paradigm in bioethics: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy] [Text]. – Moscow : Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences. – 2012 – 44 p.

11 **Kudryashov, A. L.** Stanovlenie metodologii nauchnyh issledovanij i transdisciplinarnosti [Formation of research methodology and transdisciplinarity] [Text]. In Academy Journal. – 2018. – № 9(11). – P. 9–24.

12 **Ekshembeeva, L. V., Mussatayeva, M. S., Dyussenova, D. S.** Transdisciplinarnost' kak odin iz otvetov obrazovaniya na vyzovy sovremennoj real'nosti [Transdisciplinarity as one of the answers of Education to the Challenges of Modern Reality] [Text]. In Bulletin of Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages. – 2024. – № 1(72). – P. 44–58.

13 **Mokiy, M. S., Mokiy, V. S.** Transdisciplinarnost' v vysshem obrazovanii: ekspertnye ocenki, problemy i prakticheskie resheniya [Transdisciplinarity in higher education: expert assessments, problems and practical solutions] [Text]. In Modern problems of science and education. – 2014. – № 5. – P. 1–12.

14 Zhalpy bilim beru ujymdaryna arnalgan zhalpy bilim беретін пәндерін, bastauysh, negizgi orta zhane zhalpy orta bilim dengejlerinin tandau kurstarynyn ulgilik oqu bagdarlamalary [Standard curricula for general education subjects and elective courses at the levels of primary, basic secondary and general secondary education] [Text]. Order of the Minister of Education of the Republic of Kazakhstan dated September 16, 2022 No. 399 (as amended on 05.11.2024.). – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767>

15 **Zakirova, N. A., Ashirov, R. R.** Fizika: ucheb. dlya 10 kl. estestvenno-matematicheskogo napravleniya obshcheobrazovatel'nyh shk. [Physics: textbook for the 10th grade of the natural-mathematical direction of secondary schools] [Text]. – Nur-Sultan : Publishing house «Arman-PV», 2019. – 336 p.

01.03.23 ж. баспаға түсті.

01.03.23 ж. түзетулерімен түсті.

25.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. Б. Исакова¹, А. С. Сәрсенбек²

¹Торайғыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Казахский национальный
педагогический университет имени Абая,
Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 01.03.23.

Поступило с исправлениями 01.03.23.

Принято в печать 25.02.24.

ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗИКЕ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ НА ОСНОВЕ ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНОГО ПОДХОДА

В статье рассматривается методология трансдисциплинарного подхода, а также его состояние в системе образования и науке. Уделено внимание на методические возможности и особенности применения трансдисциплинарного подхода в реализации вопросов обновления содержания образования.

Цель исследования – определить методические особенности применения трансдисциплинарного подхода в проведении лабораторных занятий по физике в средней школе. В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи: 1) анализ научно-методических материалов, относящихся к теме исследования, а также нормативно-правовых документов, утвержденных Министерством просвещения Республики Казахстан в области общего среднего образования; 2) предложение методики применения трансдисциплинарного подхода в организации лабораторных занятий по физике.

Для определения вопроса о применении трансдисциплинарного подхода в обучении физике в средней школе использовался методологический подход, основанный на анализе и обобщении научно-методических исследований. С целью определения уровня реализации межпредметных связей в проведении лабораторных занятий по физике в средней школе была проведена анкета среди учителей.

В ходе исследования: 1) были определены методические особенности применения трансдисциплинарного подхода в обучении физике в средней школе; 2) согласно анкете, проведенной среди школьных учителей, были уточнены возможности межпредметных

связей. В ходе исследования предложенные методические рекомендации по применению трансдисциплинарного подхода в обучении физике позволят совершенствовать мастерство учителя и вносят ценный вклад в педагогическую практику.

Ключевые слова: физика, информатика, Electronics Workbench, трансдисциплинарный подход, когнитивная схема, перенос когнитивных схем.

*A. B. Iskakova¹, A. S. Sarsenbek²

¹Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Abai Kazakh National
Pedagogical University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 01.03.23.

Received in revised form 01.03.23.

Accepted for publication 25.02.24.

CONDUCTING LABORATORY CLASSES IN PHYSICS IN SECONDARY SCHOOL BASED ON A TRANSDISCIPLINARY APPROACH

The article discusses the methodology of the transdisciplinary approach, as well as its status in the education system and science. Attention is given to the methodological possibilities and features of applying the transdisciplinary approach in addressing issues related to the renewal of educational content.

The aim of the research is to identify the methodological features of applying the transdisciplinary approach in conducting laboratory classes in physics in secondary school. In accordance with the research aim, the following tasks were set: 1) analysis of scientific and methodological materials related to the research topic, as well as normative legal documents approved by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan in the field of general secondary education; 2) proposing a methodology for applying the transdisciplinary approach in organizing laboratory classes in physics.

To address the issue of applying the transdisciplinary approach in teaching physics in secondary school, a methodological approach was used, based on the analysis and synthesis of scientific and methodological research. To determine the level of implementation of interdisciplinary

connections in conducting laboratory classes in physics in secondary school, a survey was conducted among teachers.

In the course of the research: 1) the methodological features of applying the transdisciplinary approach in teaching physics in secondary school were identified; 2) according to a survey conducted among school teachers, the possibilities for interdisciplinary connections were clarified. The proposed methodological recommendations for applying the transdisciplinary approach in teaching physics will enhance teachers' skills and make a valuable contribution to pedagogical practice.

Keywords: physics, computer science, Electronics Workbench, transdisciplinary approach, cognitive schema, transfer of cognitive schemas.

<https://doi.org/>

***Л. И. Теняева¹, А. Д. Қажмұрат²**

^{1,2}Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6461-8336>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0979-1582>

*e-mail: tenyaeva80@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ С МОДУЛЕМ

Современное развитие и активное использование информационных технологий обеспечивают новый подход к реализации принципа наглядности в обучении математике. Применение различных инновационных цифровых инструментов становится доступным и эффективным средством при создании учебного материала и его визуализации, что позволяет сделать процесс изучения более доступным для восприятия, интерактивным и личностно-ориентированным. Поэтому исследования, направленные на изучение и применение возможностей информационных технологий в образовательном процессе, стали наиболее актуальными в условия современного образования. В статье представлены исследования использования возможностей программы WolframAlpha и облачной платформы WolframCloud, в которых используются технологии искусственного интеллекта, как эффективного инструмента в методике изучения темы «Уравнения, содержащие переменную под знаком модуля». Целью исследования является обоснование эффективности графического метода решения уравнений средствами WolframAlpha и WolframCloud. В работе показаны примеры визуализации решений уравнений с модулем и параметром, которые позволяют показать практическую полезность графического способа решения.

Представленная работа является результатом участия в семинаре «Искусственный интеллект в учебном процессе» в Торайғыров университете. Учебный материал был апробирован

на занятиях с обучающимися факультета Foundation Торайғыров университета.

Ключевые слова: уравнения с модулем, графический метод, визуализация, искусственный интеллект, информационные технологии, WolframAlpha, WolframCloud.

Введение

Продолжающийся процесс развития информационных технологий оказывает огромное влияние на различные аспекты современного общества. Одной из перспективных областей их применения является образование. Информационные технологии вносят новые методики и подходы в образовательный процесс, поэтому исследования по использованию искусственного интеллекта, как инструмента в обучении, наиболее актуальны на сегодняшний день. Так же актуальность обусловлена потребностями обучающихся, так как применение информационных ресурсов делает образовательный процесс адаптивным, индивидуализированным и обеспечивает понимание и усвоения учебного материала. Внедрение искусственного интеллекта позволяет сделать процесс обучения более эффективным и удобным, как для преподавателя, так и для обучающегося [1]. А поскольку инструменты и технологии продолжают быстро развиваться, необходимо учиться пользоваться ими и быть готовыми освоить новые [2].

Цель статьи: исследовать возможности использования программ WolframAlpha [3] и WolframCloud [4], как инструментов визуализации и интерактивности при обучении математике на примере изучения графического метода решения уравнений, содержащих неизвестную величину под знаком модуля.

Материалы и методы

Исследования по применению информационных технологий и искусственного интеллекта отражено во многих научных работах. Так, автор Дробахина А. Н. в статье систематизирует сведения о применении искусственного интеллекта в образовании, выделяя цель и функции, освещая перспективные направления, преимущества и риски [1]. Авторы Холмс У., Бялик М., Фейдел Ч. раскрывают в своей книге теоретические и практические аспекты интеграции искусственного интеллекта в процесс преподавания и обучения [2]. В работе Бабкиной А. А., Андрюшечкиной Н. А. описаны некоторые приложения, доступные обучающимся, для решения математических задач, где применяется искусственный интеллект. Одним из таких приложений является WolframAlpha, способное решать сложные математические задачи и графические функции с пошаговым решением [5].

Ученый Дьяконов В. П. в публикации подробно излагает особенности и возможности программы WolframAlpha, которая является вычислительной поисковой системой, способной выполнять вычисления любой сложности, выдавать текст решения, строить графики функций и корней уравнений, формировать различные 2D- и 3D-фигуры, рисунки и фотографии [6]. В работе Петкова Е., описана современная вычислительная система WolframCloud – облачная среда, доступная в веб-браузере и через мобильное приложение. Для начала работы в WolframCloud необходимо создать учетную запись и перейти к редактору Wolfram Notebook [7]. После написания запроса или команды в ячейку ввода пользователь получит результат, который можно визуализировать или продолжить дальнейший анализ или исследование. Важным преимуществом работы в этой платформе является, что публикациями Wolfram Notebook можно делиться с другими участниками учебного процесса или получать доступ к ним через интернет. Экспорт результата в PDF-файл, дает преподавателю возможности улучшить создание учебного материала.

Автор Синчуков А. В. в своей работе раскрывает основные механизмы принципа наглядности в обучении математики на основе технологий WolframAlpha, которые позволяют создавать визуализации различных уровней сложности [8].

Для работы в WolframCloud необходимо пройти стандартную процедуру регистрации. После входа в систему создается новый документ – *New Wolfram|Alpha Notebook*, предназначенный для работы.

Важно отметить, что в WolframCloud существует несколько уровней доступа к публикации. Для работы с материалами устанавливается публичный уровень доступа для неавторизованных пользователей. Благодаря этому, обучающимся онлайн доступен материал, подготовленный преподавателем через их мобильные устройства.

Зная, как выглядит график функции рассмотрим решение уравнения графическим способом. Для этого в новом документе в строке ввода вводим команду для построения графиков функций и (рисунок 1). Так как от значения зависит количество корней и существование решения, поэтому применим интерактивный подход, при котором обучающиеся смогут наглядно наблюдать, как меняется решение с изменением значения . Для этого дописываем команду для изменения в пределах от -4 до 4 (пределы изменения указываются произвольно).

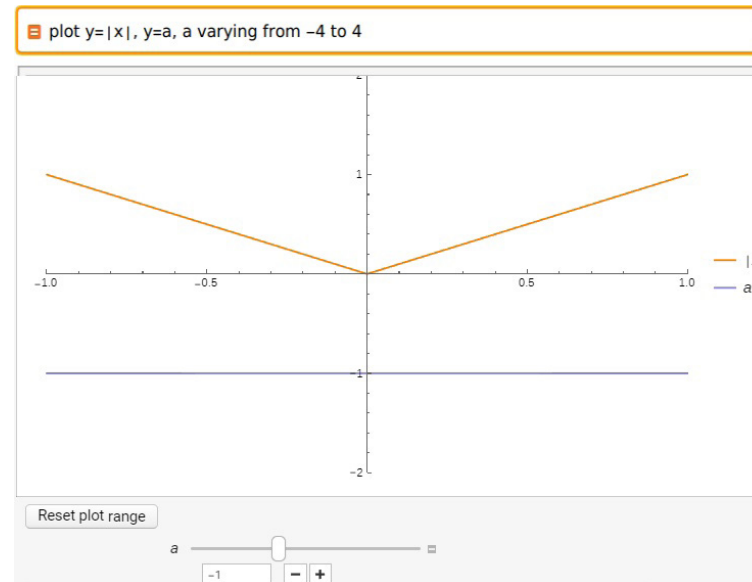


Рисунок 1 – Графическое решение уравнения

Из рисунка 1 видно, что, задавая различные значения в указанном интервале получаем, что:

1 если прямая пересекает график в двух точках и следовательно уравнение имеет два решения и ;

2 если , то только одно решение ;

3 если , то пересечения графиков нет, уравнение не имеет решения.

Задача 1.

Найдите корни уравнения [9, с. 46].

Решение. Найдем корни модулей , , которые будут разбивать числовую ось на три промежутка , , и в каждом из этих промежутков решим уравнение, то есть перейдем к решению совокупности следующих систем:

тогда

Первая система не имеет решения, из второй системы получаем корень уравнения, решением третьей системы является луч. Объединив результаты получим решение уравнения: .

Теперь перейдем к решению уравнения в системе WolframAlpha. Для этого достаточно на мобильных устройствах в интернет-браузере ввести WolframAlpha. Здесь нужно понимать, что решением (корнем уравнения) будет являться пересечение (или его отсутствие) графиков функций. Перепишем данное уравнение в равносильном ему виде: .

В строку ввода программы запишем уравнение. На рисунке 2 представлен результат решения и его геометрическая интерпретация.

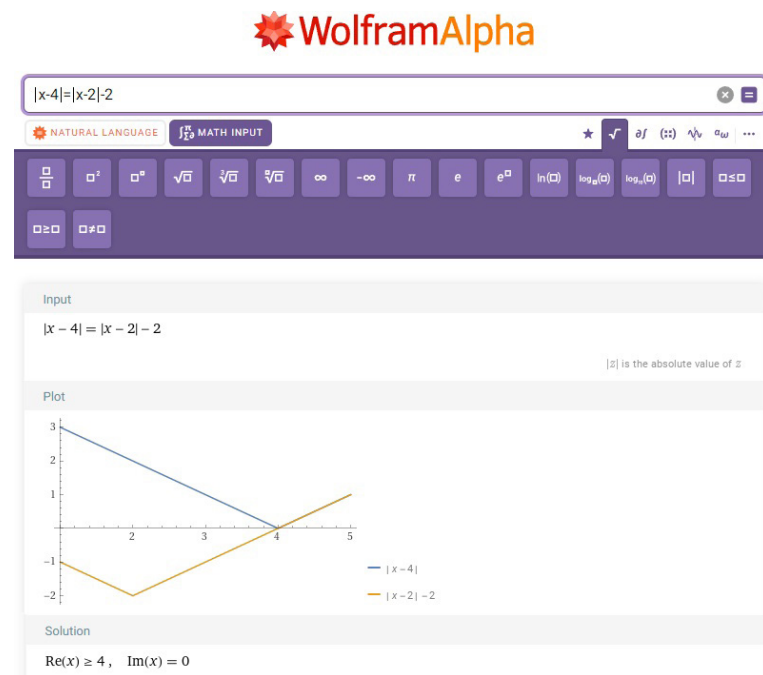


Рисунок 2 – Решение задачи 1

Проведем анализ графического решения. По рисунку видно, что пересечение графиков функций, , происходит в точке и далее графики переходят в один. Поэтому нужно обратить внимание на то, что правые ветви графиков при будут совпадать.

Таким образом, решением уравнения будет являться луч .

Ответ: .

Заметим, что для более сложных уравнений и уравнений с параметрами графический метод в WolframAlpha не доступен в базовой версии. Поэтому решения следующих примеров было проведено в системе WolframCloud.

Задача 2. Решить уравнение [10, с. 60].

Решение. В строке ввода введем уравнение. После выберем команду solve|Wolfram|Alpha results. Программой будет представлено решение уравнения и его визуализация (рисунок 3).

Проведем анализ представленного решения. Чтобы решить графическим методом уравнение, нужно построить графики функций и . Пересечение их будет в точке с периодом , .

Ответ: , .

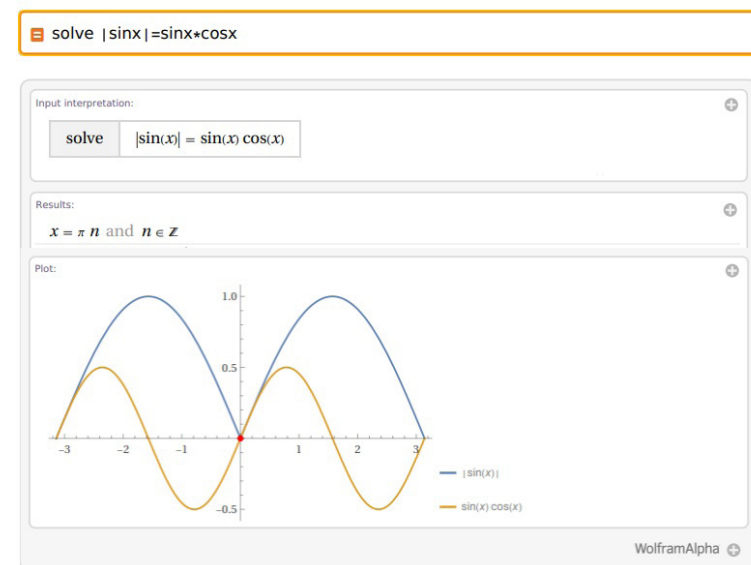


Рисунок 3 – Решение задачи 2

Задача 3. Решить уравнение [11, с.78].

Решение. Сначала преобразуем уравнение

Таким образом, решением будет пересечение прямой и параболы, исключая корни уравнения, и .

Из рисунка 4 видно, что имеет три корня, среди которых .

Ответ: .

Input interpretation:

solve $x + 3 = 2|x^2 + 5x + 6|$

Results:

$$x = -3$$

$$x = -\frac{5}{2}$$

$$x = -\frac{3}{2}$$

Plot:

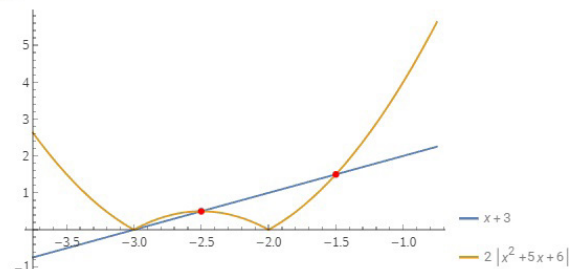


Рисунок 4 – Решение задачи 3

Задача 4. Найдите все значения параметра , при каждом из которых уравнение имеет три корня [10, с. 157].

Решение. Алгоритм решения уравнений с параметром будет отличаться от выше рассмотренного решения. На рисунке 4 представлено решение уравнения, но графической интерпретации его не будет.

solve $||x| - 3 + a| = 4$

Input interpretation:

solve $||x| - 3 + a| = 4$

Solution over the reals:

$$x = \pm(7 - a) \text{ and } a < -1$$

$$x = \pm(-a - 1) \text{ and } a < -1$$

$$x = \pm 8 \text{ and } a = -1$$

$$x = 0 \text{ and } a = -1$$

$$x = \pm(7 - a) \text{ and } -1 < a < 7$$

$$x = 0 \text{ and } a = 7$$

WolframAlpha

Рисунок 5 – Решение задачи 4

Для визуализации необходимо провести дополнительную работу. В строку ввода вводим команду для построения графиков функций и , согласно предыдущему результату (рисунок 5), зададим условия изменения параметра и переменной (рисунок 6).

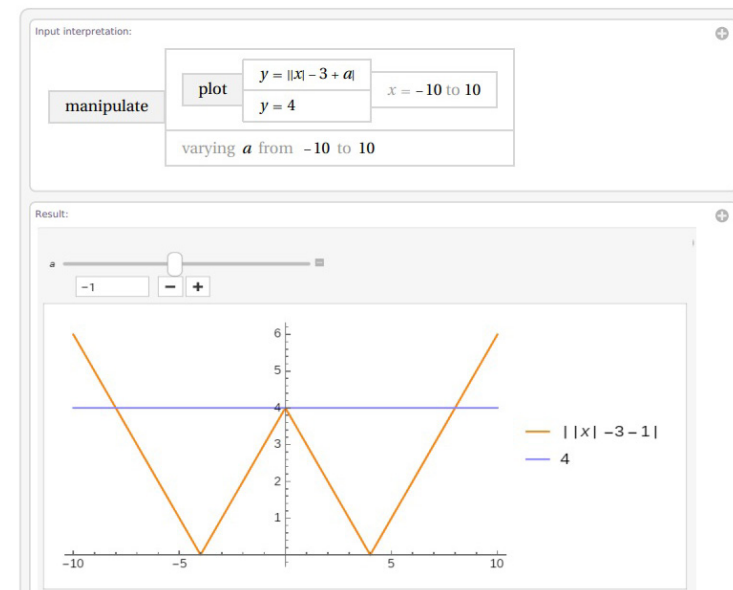


Рисунок 6 – Графическое решение задачи 4

В результате получаем интерактивную модель решения уравнения. Меняя значения параметра, наблюдаем количество точек пересечения графиков функций, то есть количество корней уравнения или отсутствие таковых. На рисунке 6 видно, что уравнение будет иметь три корня только при.

Ответ: .

Результаты и обсуждение

Как правило, уравнения с модулем решают алгебраическим методом и для этого есть ряд преимуществ: получение точного ответа решения; экономия времени; решение уравнений любой сложности. Графический же метод более трудоемкий, а решение может быть неочевидным, так как требует от обучающихся умений, которые опираются на знание темы «Преобразования графиков функций». Проводимые построения могут приводить к неточным или приближенным ответам. Но использование этого метода позволяет обучающимся наглядно представить решение, способствуют лучшему пониманию свойств функций и их преобразований.

Для повышения эффективности решения уравнений с модулем графическим методом требует применения различных технических инструментов для построения графиков. Способность визуализировать решения математических задач программой WolframAlpha и возможность создавать сложные графики платформой WolframCloud являются полезными средствами для выполнения этой задачи.

Выводы

Проведенные исследования показали, что использование информационных технологий при обучении математике помогают обучающимся решать сложные задачи, способствуют развитию визуального мышления, технологической грамотности. Преподавателю позволяют улучшить процесс подготовки к занятиям, минимизировать время на создание учебного материала. Особенно актуальным, в настоящее время, становится использование различных информационных технологий при применении дистанционной формы обучения, которая требует инновационных подходов к организации учебного процесса.

Список использованных источников

1 Дробахина, А. Н. Информационные технологии в образовании : искусственный интеллект // Проблемы современного педагогического образования. – 2021. – № 70-1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-obrazovanii-iskusstvennyy-intellekt>

2 Холмс, У., Бялик, М., Фейдел, Ч. Искусственный интеллект в образовании : Перспективы и проблемы для преподавания и обучения [Текст]. – М. : Альпина ПРО, 2022. – 304 с.

3 WolframAlpha [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wolframalpha.com/>

4 Wolfram Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wolframcloud.com/>

5 Бабкина, А. А. Андрюшечкина, Н. А. Применение искусственного интеллекта в математике // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. – № 11–2(86). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-matematike>.

6 Дьяконов, В. «Профессор математики WolframAlpha» в интернет-облаке и в кармане пиджака // Компоненты и Технологии. 2014. – № 11(160). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/professor-matematiki-wolfram-alpha-v-internet-oblake-i-v-karmane-pidzhaka>.

7 Petkov, E. Wolfram Cloud: Cloud-based development platform for computations, analysis, visualizations, and programming e-Book [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/323799680_WOLFRAM_CLOUD_Cloudbased_development_platform_for_computations_analysis_visualizations_and_programming_e-Book

8 Синчуков, А. В. Реализация принципа наглядности обучения математике на основе технологий WolframAlpha // Трансформация механико-математического и IT-образования в условиях цифровизации : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию мех.-мат. фак., Минск, 26–27 апр. 2023 г. В 2 ч. Ч. 1 / Белорусский государственный университет; редкол. : Н.В. Бровка (гл. ред.) и др. – Минск : БГУ, 2023. – С. 130-134. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/299431>

9 Абылкасымова А. Е., Кучер, Т. П., Корчевский, В. Е., Жумагулова, З. А. Алгебра и начала анализа : учебник для 10 кл. естественно-математического направления общеобразовательных школ. Ч. 1 [Текст]. – Алматы : Мектеп, 2019. – 240 с.

10 Далингер, В. А. Математика : задачи с модулем : учебное пособие [Текст]. – М. : Юрайт, 2023. – 364 с.

11 Шахмейстер, А. Х. Уравнения : учебное пособие [Текст]. – СПб. : Виктория плюс, 2021. – 264 с.

References

1 **Drobakhina, A. N.** Informatsionnye tekhnologii v obrazovanii : iskusstvennyi intellekt [Information Technologies in Education : Artificial Intelligence] // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. – 2021. – No. 70-1. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-obrazovanii-iskusstvennyi-intellekt>

2 **Kholms, U., Bialik, M., Feidel, Ch.** Iskusstvennyi intellekt v obrazovanii: perspektivy i problemy dlya prepodavaniya i obucheniya [Artificial Intelligence in Education: Prospects and Challenges for Teaching and Learning] [Text]. – Moscow : Alpina PRO, 2022. – 304 p.

3 WolframAlpha [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.wolframalpha.com/>

4 Wolfram Cloud [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.wolframcloud.com/>

5 **Babkina, A. A., Andryushechina, N. A.** Primenenie iskusstvennogo intellekta v matematike [Application of Artificial Intelligence in Mathematics] // Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2023. – No. 11–2 (86). – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-matematike>

6 **D'yakov, V.** «Professor matematiki WolframAlpha» v internet-oblake i v karmane pidzhaka [«Professor of Mathematics WolframAlpha» in the Cloud and in the Jacket Pocket] // Komponenty i tekhnologii. – 2014. – No. 11(160). – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/professor-matematiki-wolfram-alpha-v-internet-oblake-i-v-karmane-pidzhaka>

7 **Petkov, E.** Wolfram Cloud: Cloud-based development platform for computations, analysis, visualizations, and programming e-Book [Electronic resource]. – 2018. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/323799680_WOLFRAM_CLOUD_Cloudbased_development_platform_for_computations_analysis_visualizations_and_programming_e-Book

8 **Sinchukov, A. V.** Realizatsiya printsipa naglyadnosti obucheniya matematike na osnove tekhnologii WolframAlpha [Implementation of the Principle of Visualization in Mathematics Education Based on WolframAlpha Technologies] // Transformatsiya mekhaniko-matematicheskogo i IT-obrazovaniya v usloviyakh tsifrovizatsii : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Minsk, April 26–27, 2023). – Minsk : BGU, 2023. – Part 1. – P. 130–134. – Access mode: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/299431>

9 **Abilkasymova, A. E., Kucher, T. P., Korchevskii, V. E., Zhumagulova, Z. A.** Algebra i nachala analiza : uchebnik dlya 10 kl. Estestvenno-matematicheskogo napravleniya obshcheobrazovatel'nykh shkol. Ch. 1 [Algebra and the Basics of Analysis : textbook for Grade 10 of the Natural-Mathematical

Track of General Education Schools. Part 1] [Text]. – Almaty : Mektep, 2019. – 240 p.

10 **Dalinger, V. A.** Matematika : zadachi s modulem: uchebnoe posobie [Mathematics : Problems with Modulus : textbook] [Text]. – Moscow : Yurait, 2023. – 364 p.

11 **Shakhmeister, A. Kh.** Uravneniya: uchebnoe posobie [Equations : textbook] [Text]. – St. Petersburg : Viktoriya plus, 2021. – 264 p.

Поступило в редакцию 01.03.23.

Поступило с исправлениями 01.03.23.

Принято в печать 25.02.24.

*Л. И. Теняева¹, А. Д. Қажмұрат²

^{1,2}Торайғыров университет,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.03.23 ж. баспаға түсті.

01.03.23 ж. түзетулерімен түсті.

25.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

МОДУЛЬМЕН ТЕҢДЕУЛЕРДІ ШЕШУДЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Ақпараттық технологиялардың заманауи дамуы мен белсенді қолданылуы математиканы оқытуда көрнекілік принципін іске асырудың жаңа тәсілін қамтамасыз етеді. Әр түрлі инновациялық цифрлық құралдарды қолдану оқу материалын құру және оны визуализациялау кезінде қол жетімді және тиімді құралға айналады, бұл оқу процесін қабылдауға, интерактивті және тұлғаға бағытталған етуге мүмкіндік береді. Сондықтан білім беру процесінде ақпараттық технологиялардың мүмкіндіктерін зерттеуге және қолдануға бағытталған зерттеулер қазіргі білім беру жағдайында ең өзекті болды. Мақалада «Айнымалысы модуль таңбасының ішінде берілген теңдеулер» тақырыбын зерттеу әдістемесінде тиімді құрал ретінде жасанды интеллект технологиясын қолданатын WolframAlpha бағдарламасы мен

WolframCloud бұлттық платформасының мүмкіндіктерін пайдалану бойынша зерттеулер келтірілген. Зерттеудің мақсаты-wolframalpha және wolframcloud көмегімен теңдеулерді шешудің графикалық әдісінің тиімділігін негіздеу. Жұмыста графикалық шешімнің практикалық пайдалылығын көрсетуге мүмкіндік беретін модуль мен параметрі бар теңдеулердің шешімдерін визуализациялау мысалдары көрсетілген.

Ұсынылған жұмыс Торайғыров университетіндегі «оқу үдерісіндегі жасанды интеллект» семинарына қатысудың нәтижесі болып табылады. Оқу материалы университеттің Foundation факультетінің білім алушыларымен сабақтарда сыналды.

Кілтті сөздер: модуль бар теңдеулер, графикалық әдіс, визуализация, жасанды интеллект, ақпараттық технологиялар, WolframAlpha, WolframCloud.

**L. I. Tenyaeva¹, A. D. Kazhmurat²*

*^{1,2}Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar
Received 01.03.23.*

Received in revised form 01.03.23.

Accepted for publication 25.02.24.

USE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN SOLVING ABSOLUTE VALUE EQUATIONS

Modern development and the active use of information technology provide a new approach to the implementation of the principle of clarity in teaching mathematics. The use of various innovative digital tools has become an accessible and effective means of developing and visualizing educational content, making the learning process more exciting, interactive, and student-centered. Therefore, research aimed at studying and applying the potential of information technology in education has become particularly relevant in the context of modern educational practices. This article presents a study on the use of the WolframAlpha program and the WolframCloud cloud platform, which use artificial intelligence technologies as effective tools for teaching the topic "Equations with a variable under the sign of a module." The purpose of the study is to substantiate the effectiveness of a graphical method for solving equations

using WolframAlpha and WolframCloud. The article provides examples of visualization of solutions to equations with an indication of the module and parameters, demonstrating the practical value of the graphical solution method.

The presented research is the result of participation in the seminar "Artificial Intelligence in the educational process", held at the University of Toraighyrov. The educational material was tested during classes with students of the basic faculty of the University of Toraighyrov.

Keywords: modular equation, graphical method, visualization, artificial intelligence, information technology, WolframAlpha, WolframCloud.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдилдаева Асель Асылбековна, Бизнес талдау және Big Data и.о. профессор, Ақпараттық технологиялар факультеті, Өл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: abass_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6381-9350>

Абдул Қадыр, PhD, профессор, Шукур бизнес әкімшілік университеті, Шукур қ., 65200, Пәкістан, e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

Абибулла Мадияр Габитулы, Бизнес талдау және Big Data магистрант, Ақпараттық технологиялар факультеті, Өл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: abibullam.g@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5877-1206>

Айдарбеков Нұрсұлтан Көпжасарұлы, PhD, аға оқытушы, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, Физика-техникалық ғылымдар институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: nursultan02_22.10.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

Айтжанова Мадина Есенбековна, 3-курс студенті, «Software Engineering» бакалавры, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 220576@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-0749-1775>

Акилбеков Абдираш Тасанович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессоры, техникалық физика кафедрасы, Физика-техника ғылымдары институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: akilbekov_at@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6366-6705>

Ақжолова Әлия Әбдірайымқызы, PhD, қауымд. профессор, физика кафедрасы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aaa_25.04.79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2568-503X>

Алдашева Динара Туленгалиевна, «Ақпараттық технологиялар және робототехника» мамандығы бойынша докторант, бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aldashева.dinara@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4990-4308>

Алиева Молдир Ермекбаевна, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, физика кафедрасы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: moldir-2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

Амантаева Амангүл Шалқарбайқызы, «8D05301-Физика» білім бағдарламасы бойынша докторант, физика кафедрасы, физика-математика факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: amantaeva.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1693-9085>

Ахметов Миргали Муратович, магистр ақпараттық жүйелер, Факультет «Computer science», Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sybersec.amm@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3902-9380>

Әбеннова Әсем Төлегенқызы, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Әшім Іңкәр Саятқызы, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы бойынша студент, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: inkar.ashim@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4877-1679>

Базарбек Асыл-Дастан Базарбекұлы, PhD, доцент м.а., ғарыштық техника және технологиялар кафедрасы, Физика-техника ғылымдары институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asyl.bazarbek.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6455-6142>

Байжұма Жандос Ескендірұлы, доктор PhD, Лауазымы доцент м. а., жылу физикасы және техникалық физика кафедрасы, физика-техникалық факультеті, Өл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: baizhuma.zhandos@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2151-2606>

Байкенов Мурзабек Исполович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Химиялық технология және мұнай химиясы кафедрасы, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, e-mail: murzabek_b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

Баймуханов Зейін Каирбекович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, техникалық физика кафедрасы, Физика-техника ғылымдары институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zeinb77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1734-3109>

Байсал Гүлназым Мақсатқызы, «7M01504 – Физика» білім беру бағдарламасының магистранты, «Математика, физика және информатика» факультеті, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық университеті,

Алматы қ., 050010, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulnazym_mm@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0990-0892>

Бақранов Нұрлан Болатұлы, PhD, Бас ғылыми қызметкер «Research Group altAir nanolab», Алматы қ., 050043, Қазақстан Республикасы, e-mail: bakranov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4577-6510>

Бақранова Дина Игоревна, PhD, қауымд. профессор, инженерлік және жаратылыстану факультеті, СДУ университеті, Алматы облысы, Қарасай ауданы, Қаскелең қ., 040900, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

Балгабаева Галия Серикбаевна, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Баратова Алия Амирхановна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, PhD, доцент, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, Физика-техникалық ғылымдар институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: aa.baratova@yandex.kz, baratova_aa@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7015-3567>

Бекенов Ерасыл Мейрамович, «Ақпараттық технологиялар» мамандығы бойынша магистрант, Компьютерлік ғылымдар және инженерия факультеті, Astana IT University, Астана қ., 010017, Қазақстан Республикасы, e-mail: bekenoverasy12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1772-1984>

Бекмырза Кенжебатыр Жағыпарұлы, PhD, қауымд. профессор, «Техникалық физика» кафедрасы, оқытушы-зерттеуші, Физика-техникалық ғылымдар институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: kbekmyrza@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

Бимұрат Жанар, PhD, Ғылыми қызметкер, Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты, Алматы қ., 050016, Қазақстан Республикасы, e-mail: bimuratzhanar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Бодилевский Максим Валерьевич, бакалавр, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: maksimezhe@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9774-809X>

Верецагин Роман Андреевич, бакалавр, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ehot.roman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1905-3436>

Габдушев Рашид Ерболұлы, студент, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gabdusevrasid@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8056-975X>

Гулам Али Джамро, профессоры, Физика және электроника кафедрасы, Шах Абдул Латиф Университеті, Хайрпур қ., 66020, Пәкістан, e-mail: ghulam.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0009-0007-4540-1026>

Гулам Кадир Самтио, оқытушы, Физика және электроника кафедрасы, Шах Абдул Латиф Университеті, Хайрпур қ., 66020, Пәкістан, e-mail: gqadir.samito@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0009-0005-1789-8659>

Даниярова Жанат Капсаттаровна, педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: daniyarova1957@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2455-1305>

Даулетбекова Алма Кабденовна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, техникалық физика кафедрасы, Физика-техника ғылымдары институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alma_dauletbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0048-0959>

Доктор Дидар Али Джамро, профессор, Физика және электроника кафедрасы, Шах Абдул Латиф Университеті, Хайрпур қ., 66020, Пәкістан, e-mail: deedar.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

Досанов Талгат Сапарғалиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор (доцент), Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dosto_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

Егембердиева София Шаймерденовна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: s.egemberdieva@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2418-2544>

Ермекбай Жамал, «Advanced Research and Technology group» ЖШС ғылыми қызметкері, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhamal.ermekbay@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6996-355X>

Ерниязов Бауржан Серікұлы, «Жылуэнергетика» мамандығы бойынша студент, Физика және техника факультеті, Аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: erniyazovbaurzhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6772-5695>

Жандыбаев Бекен Бақытбекұлы, «Жылуфизика және теориялық жылу техника» мамандығы бойынша докторант, Физика-техникалық факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhandybaevb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

Жарасов Самалбек Сагидуллаевич, ПМХЗ мұнай-химия зауыты, энергиямен жабдықтау және энергия тиімділігі бөлімінің бастығы, Павлодар

қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: samalbek.zharasov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8139-3284>

Жуаспаев Талгат Амангильдинович, аға оқытушы, ақпараттық технологиялар және автоматика кафедрасы, М. Дулатова атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g_talgat_a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2240-9729>

Жумабеков Алмар Жумағалиевич, философия докторы (PhD), қауымд. профессор (доцент), Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

Зейнулла Жасулан Серікұлы, докторант, Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zeizhaser@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5339-3165>

Зубеда Бхатти, профессоры, Физика және электроника кафедрасы, Шах Абдул Латиф Университеті, Хайрпур қ., 66020, Пәкістан, e-mail: zubeda.bhatti@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-3765-7458>

Исабеков Жанат Бейсембайұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Исабекова Бибігүл Бейсембайқызы, PhD, қауымд. профессор (доцент), «Computer science факультеті», Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Исимбаева Ассель Базарбаевна, аға оқытушы, Информатика магистрі, Компьютерлік ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asselbek79@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7221-6253>

Искакова Анаргүл Батырбаевна, PhD, қауымд. профессор, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: anar_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Республика Казахстан, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Кабышев Асет Маратович, PhD, оқытушы-зерттеуші, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, Физика-

техникалық ғылымдар институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: assetenu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

Кайбасова Динара Женисбековна, PhD, қауымд. профессор, Компьютерлік инженерия департаменті, Astana IT University, Астана қ., 010017, Қазақстан Республикасы, e-mail: saule_K@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7758>

Капенова Мадина Муратовна, оқытушы (ассистент), «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: madina_nur808@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9102-0359>

Касанова Асия Журсуновна, Химия мамандығы бойынша PhD докторы, қауымд. профессор, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asiyakass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9563-5521>

Кәрімова Раушан Марденқызы, PhD докторы, оқытушы зерттеуші, «Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: karimovaraushan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

Кейкиманова Меруерт Турсынхановна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: keikimanovam@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3683-5574>

Кеңесбеков Айдар Бақытбекұлы, PhD, постдокторант, «PlasmaScience» ЖШС, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aidar.94.01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

Кубенова Маржан Маликовна, оқытушы-зерттеушісі, Стандарттау және сертификаттау кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kubenova.m@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2012-2702>

Кусайнов Арыстанбек Ерланович, докторант, Д. Серікбаев атынағы техникалық университеті, 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: arys20055@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4623-4681>

Кутербеков Кайрат Атажанович, математика ғылымдарының докторы, профессор, оқытушы-зерттеуші, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы, физика- Физика- техникалық ғылымдар институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010009, Қазақстан Республикасы, e-mail: kkuterbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5421-271X>

Куткелдиева Эльзира Оразбековна, педагогика ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Физика, математика және цифрлық технологиялар»

институты, «Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті» КЕАҚ, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: elzira.kutkeldieva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6754-2280>

Кушкимбаева Бибара Жайлаубаевна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.bibara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0572-0800>

Күмісбек Мұхаммед-Әли Нұрланұлы, «Ақпараттық Жүйелер» мамандығы бойынша докторант, Ақпараттық жүйелер факультеті, «Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КЕАҚ, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: mali.kumisbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7940-2113>

Кыдыралина Лазат Муктаровна, PhD, Физика-математика ғылымдары жоғары мектебі, Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071412, Қазақстан Республикасы, e-mail: lazat_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2836-0919>

Қажмұрат Айсәнім Дәулетқызы, магистрант, Торайғыров университеті, «Computer Science» факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aisanymkazhmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-0979-1582>

Қажмұрат Қадырали Дәулетұлы, магистр ақпараттық жүйелер, Факультет «Computer science», Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: kadyralikd@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4775-5067>

Қазанғап Динмухамед Сейсенбекұлы, магистр Электротехника және компьютерлік инженерия, Инженерлік және цифрлық ғылымдар факультеті, Назарбаев Университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dimash.kazangap@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-8491-7171>

Қаласов Нұрдәулет Болатұлы, доктор PhD, Лауазымы доцент м. а., жылу физикасы және техникалық физика кафедрасы, физика-техникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: kalasov.nurdaulet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3709-5544>

Қозыбай Анарбек Қозыбайұлы, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Өнер факультеті, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық университеті, Алматы қ., 050010, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.anarbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4043-7771>

Қоштыбаев Талгат Бектасович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доценті, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті физика кафедрасы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: koshtybayev70@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

Құли Жансерік Тілеубердіұлы, Наноматериалдар және нанотехнологиялар бойынша PhD докторанты, Инженерлік бейіндегі зертхананың бас маманы, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: z.kuli@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

Магазов Нуртолеу Мағзумбекович, докторант, Д. Серікбаев атынағы техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: magazovn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9941-9199>

Манатбаев Рүстем Құсайынғазыұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, жылу физикасы және техникалық физика кафедрасы, физика-техникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: rustemmanatbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3692-2245>

Мантиева Кыздархан Аскаровна, техникалық физика мамандығы бойынша докторант, Физика-техника ғылымдары институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: askarovna_mk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0659-8173>

Мәуей Бақытбек, аға оқытушы, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bahytbek01@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

Наметкулова Райхан Жанузаковна, аға оқытушы, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nametkulova65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1658-152X>

Нәдіров Нұртас Қонысұлы, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.nadirov@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-6011-8109>

Омарова Гульден Сериковна, PhD, қауымд. профессор, Физика және нанотехнологиялар кафедрасы, Физика-техникалық факультеті, Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: guldenserikovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

Опахай Серікжан, аға оқытушысы, Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: serikjan_0707@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6789-4844>

Пудич Наталья Николаевна, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: npudich@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

Рахадиллов Бауыржан Корабаевич, PhD, қаумд. профессор, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің ғылыми жұмыстар жөніндегі проректоры, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: rakhadilovb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Ринатова Шырын Ринатовна, «Информатика педагогтерін даярлау» мамандығы бойынша магистрант, Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071400, Қазақстан Республикасы, e-mail: ios28122021@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9102-2696>

Сағындықов Бимұрат Жұмабекович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Satbayev University), Алматы қ., 050014, Қазақстан Республикасы, e-mail: b.sagindykov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Салыкова Ольга Сергеевна, қауымд. профессор, бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: solga0603@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>

Сатыбалдин Амангельды Жарлығасынович, химия ғылымдарының кандидаты, Физика-техникалық факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, e-mail: satybaldin.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Сәрсенбек Аслан Сағитұлы, «7М01504 – Физика» білім беру бағдарламасының магистранты, «Математика, физика және информатика» факультеті, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық университеті, Алматы қ., 050010, Қазақстан Республикасы, e-mail: sarsenbekaslan4@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8938-2195>

Сейтен Айжанат Болатқызы, «8D05301-Физика» білім бағдарламасы бойынша докторант, физика кафедрасы, физика-математика факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aizhanat_bolatovna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5530-1658>

Сейтов Бекболат Жуманович, PhD, Физика кафедрасының меңгерушісі, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: bekbolat.seitov@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1743-7028>

Спивак-Лавров Игорь Феликсович, Физика-математика ғылымдарының профессоры, физика кафедрасы, физика-математика факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан

Республикасы, e-mail: Spivakif@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6235-3897>

Татенов Адамбек Максutowич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доценті, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті физика кафедрасы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.tatenov1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

Темирбаева Дилара Абаевна, философия докторы (PhD), қауымд. профессор (доцент), Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dilara_7-7-7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0201-2692>

Теняева Лилия Ивановна, математика магистрі, аға оқытушы, Торайғыров университеті, «Computer Science» факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: tenyaeva80@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6461-8336>

Ткач Галина Михайловна, информатика магистрі, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, Galina_tkach_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

Толужанова Ақбота Дәулетқызы, студент, Д. Серікбаев атынағы техникалық университеті, «PlasmaScience» ЖШС, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akbotatoleuzanova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-1850-6769>

Турғанбай Мыңжігіт Досымұлы, 3-курс студенті, «Software Engineering» бакалавры, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 221964@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-1595-7894>

Тянах Сайрагул, магистр, аға оқытушы, Химиялық технология және мұнай химиясы кафедрасы, академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университетінің докторанты, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: Saika_8989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5343-4695>

Улихина Юлия Викторовна, информатика магистрі, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Фандюшин Владимир Иванович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Computer Science факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: fan.vladimir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

Чернов Артём Сергеевич, студент, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: artom100912@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-0067-4504>

Шаймерденова Кулжан Мейрамовна, техника ғылымдарының кандидаты, Физика-техникалық факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulzhan.0106@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

Шимко Елена Анатольевна, педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, «Алтай мемлекеттік университеті» ФМБЖ ББМ, Барнаул қ., 656000, Ресей Федерациясы, e-mail: eashimko65@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2756-7974>

Шормакова Асем Ноябревна, и.о доцент, Ақпараттық жүйелер факультеті, «Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КЕАҚ, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: shormakovaasem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1637-4643>

Абдилдаева Асель Асылбековна, И.о. профессор по специальности Бизнес аналитика и Big Data, Факультет информационных технологий, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: abass_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6381-9350>

Абдул Қадыр, PhD, профессор, Шукур университет бизнес администрирования, г. Шукур 65200, Пакистан, e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

Абеннова Асем Тулегеновна, старший преподаватель, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Абибулла Мадияр Габитулы, магистрант по специальности Бизнес аналитика и Big Data, Факультет информационных технологий, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: abibullam.g@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5877-1206>

Айдарбеков Нұрсұлтан Көпжасарұлы, PhD, старший преподаватель, международная кафедра «Ядерная физика, новые материалы и технологии», Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: nursultan02_22.10.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

Айтжанова Мадина Есенбековна, студент, специальность «Software Engineering», Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: 220576@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-0749-1775>

Акилбеков Абдираш Тасанович, Профессор, д.ф.-м.н., кафедра «Технической физики», Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: akilbekov_at@enu.kz , <https://orcid.org/0000-0001-6366-6705>

Ақжолова Әлия Әбдірайымқызы, PhD, ассоциированный профессор, кафедра «Физика» Казахского национального педагогического университета имени Абая, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: aaa_25.04.79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2568-503X>

Алдашева Динара Туленгалиевна, докторант по специальности «Информационные технологии и робототехника», кафедра «Программного обеспечения», Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Қостанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: aldasheva.dinara@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4990-4308>

Алиева Молдир Ермекбаевна, магистр естественных наук, старший преподаватель, кафедр «физика», Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: moldir-2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

Амантаева Амангүл Шалқарбайқызы, Доктарант по образовательной программе «8D05301-Физика», кафедра физики, физико-математический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000 Республика Казахстан, e-mail: amantaeva.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1693-9085>

Ахметов Миргали Муратович, Магистр информационных систем, Факультет «Computer science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: sybersec.amm@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3902-9380>

Ашим Іңкәр Саятқызы студент по специальности «Информационные системы», Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: inkar.ashim@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4877-1679>

Базарбек Асыл-Дастан Базарбекулы, И. о. доцена кафедры космической техники и технологий, PhD, Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: asyl.bazarbek.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6455-6142>

Байжума Жандос Ескендиорович, доктор PhD, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, кафедра теплофизики и технической физики, физико-технический факультет, должность и.о. Доцент, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: baizhuma.zhandos@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2151-2606>

Байкенов Мурзабек Исполович, Доктор химических наук, профессор, Кафедра химической технологии и нефтехимии, Карагандинский исследовательский университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, e-mail: murzabek_b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

Баймуханов Зейн Каирбекович, Ассоциированный профессор кафедры технической физики, к.ф.-м.н., Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: zeinb77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1734-3109>

Байсал Гүлназым Максатқызы, магистрант образовательной программы «7M01504 – Физика», факультет «Математики, физики и информатики», «Казахский Национальный Педагогический университет имени Абая», г.

Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: gulnazym_mm@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0990-0892>

Бакранов Нурлан Болатович, PhD, главный научный сотрудник «Research Group altAir nanolab» г. Алматы, 050043, Республика Казахстан, e-mail: bakranov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4577-6510>

Бакранова Дина Игоревна, PhD, Ассоциированный профессор SDU University, Факультет инженерии и естественных наук, Алматинская область, район Карасай, г. Каскелен, 040900, Республика Казахстан, e-mail: dinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

Балгабаева Галия Серикбаевна, ст. преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Баратова Алия Амирхановна, Доцент международной кафедры «Ядерная физика, новые материалы и технологии», кандидат физико-математических наук, PhD, Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: aa.baratova@yandex.kz, baratova_aa@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7015-3567>

Бекенов Ерасыл Мейрамович, магистрант по специальности «Информационные технологии», Факультет компьютерных наук и инженерии, Astana IT University, г. Астана, 010017, Республика Казахстан, e-mail: bekenoverasy12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1772-1984>

Бекмырза Кенжебатыр Жағыпарұлы, Ассоциированный профессор кафедры «Техническая физика», преподаватель-исследователь, PhD, Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени

Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: kbekmyrza@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

Бимурат Жанар, Научный сотрудник, PhD, Институт горного дела имени Д. А. Кунаева, г. Алматы, 050016, Республика Казахстан, e-mail: bimuratzhanar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Бодылевский Максим Валерьевич, Бакалавр, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: maksimezhe@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9774-809X>

Верещагин Роман Андреевич, Бакалавр, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: chot.roman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1905-3436>

Габдушев Рашид Ерболович, студент, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: gabdusevrasid@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8056-975X>

Гулам Кадир Самтио, Преподаватель кафедры физики и электроники Университет имени Шаха Абдула Латифа, Хайрпур, 66020, Пакистан, e-mail: gqadir.samito@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0009-0005-1789-8659>

Даниярова Жанат Капсаттаровна, кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор, факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: daniyarova1957@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2455-1305>

Даулетбекова Алма Кабденовна, Профессор кафедры технической физики, к.ф.-м.н., Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: alma_dauletbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0048-0959>

Доктор Дидар Али Джамро, Профессор кафедры физики и электроники, Университет Шаха Абдула Латифа, Хайрпур, 66020, Пакистан, e-mail: deedar.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

Досанов Талгат Сапаргалиевич, кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент), Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dosto_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

Егембердиева София Шаймерденовна, кандидат физико-математических наук, доцент, Таразский университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: s.egemberdieva@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2418-2544>

Ермекбай Жамал, Научный сотрудник ТОО «Advanced Research and Technology group», Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhamal.ermekbay@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6996-355X>

Ерниязов Бауржан Серикович, Студент по специальности «Теплоэнергетика», Факультет физики и техники, Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: erniyazovbaurzhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6772-5695>

Жандыбаев Бекен Бахытбекович, Докторант по специальности «Теплофизика и теоретическая теплотехника», Физико-технический факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, e-mail: zhandybaevb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

Жарасов Самалбек Сагидуллаевич, Павлодарский нефтехимически завод ПНХЗ, начальник отдела энергоснабжения и энергоэффективности, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: samalbek.zharasov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8139-3284>

Жуаспаев Талгат Амангильдинович, старший преподаватель, кафедра информационных технологий и автоматизации, «Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова», г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: g_talgat_a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2240-9729>

Жумабеков Алмар Жумагалиевич, доктор философии (PhD), ассоциированный профессор (доцент), Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

Зейнулла Жасулан Серікұлы, Докторант кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zeizhaser@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5339-3165>

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет Computer science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Исимбаева Ассель Базарбаевна, старший преподаватель, магистр информатики, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asselbek79@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7221-6253>

Искакова Анаргүль Батырбаевна, PhD, ассоциированный профессор, факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: anar_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

Испулов Нурлыбек Айдаргалиевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Торайғыров университет, факультет «Computer Science», Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Кабышев Асет Маратович, Преподаватель-исследователь международной кафедры «Ядерная физика, новые материалы и технологии», PhD, Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: assetenu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

Казангап Динмухамед Сейсенбекулы, Магистр Электротехника и вычислительная техника, Факультет инженерии и цифровых наук, Назарбаев

Университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: dimash.kazangap@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-8491-7171>

Кайбасова Динара Женисбековна, PhD, Ассоциированный профессор, Департамент компьютерной инженерии, Astana IT University, г. Астана, 010017, Республика Казахстан, e-mail: dinara.kaibassova@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7758>

Каласов Нурдаулет Болатович, PhD, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, кафедра теплофизики и технической физики, физико-технический факультет, должность и.о. Доцент, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: kalasov.nurdaulet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3709-5544>

Капенова Мадина Муратовна, Преподаватель (ассистент), факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: madina_nur808@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9102-0359>

Каримова Раушан Марденовна, PhD, преподаватель исследователь, PhD, қауымд. профессор, НАО «Павлодарский педагогический университет имени Ө. Марғұлан», г. Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: karimovaraushan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

Касанова Асия Журсуновна, Доктор PhD по химии, ассоциированный профессор, Факультет естественных наук, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asiyakass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9563-5521>

Кейкиманова Меруерт Турсынхановна, кандидат технических наук, доцент, Таразский университет имени М. Х. Дулати, Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: keikimanovam@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3683-5574>

Кеңесбеков Айдар Бақытбекұлы, PhD, постдокторант, ТОО «PlasmaScience», Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: aidar.94.01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

Коштыбаев Талгат Бектасович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Казахского национального женского, педагогического университета, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: koshtybayev70@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

Кубенова Маржан Маликовна, Преподаватель-исследователь кафедры Стандартизации и сертификации, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: kubenova.m@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2012-2702>

Кумисбек Мухаммед-Али Нурланулы, Докторант по специальности «Информационные Системы» Казахский национальный университет имени

Аль-Фараби, Факультет информационных систем, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: mali.kumisbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7940-2113>

Кусайнов Арыстанбек Ерланович, Докторант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, 070000, Республика Казахстан, email: arys20055@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4623-4681>

Кутербеков Кайрат Атажанович, Преподаватель-исследователь международной кафедры «Ядерная физика, новые материалы и технологии», доктор физико-математических наук, профессор, Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010009, Республика Казахстан, e-mail: kkuterbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5421-271X>

Куткелдиева Эльзира Оразбековна, магистр педагогических наук, старший преподаватель, институт «Физика, математика и цифровые технологии», Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: elzira.kutkeldieva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6754-2280>

Кушкимбаева Бибара Жайлаубаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, Таразский университет им. М.Х.Дулати, Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: k.bibara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0572-0800>

Кыдыралина Лазат Муктаровна, PhD, Университет имени Шакарима, Высшая школа физико-математических наук, г. Семей, 071412, Республика Казахстан, e-mail: lazat_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2836-0919>

Кажмұрат Айсәнім Дәулетқызы, магистрант, Торайғыров университет, Факультет «Computer Science» Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aisanymkazhymurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-0979-1582>

Қозыбай Анарбек Қозыбайұлы, доктор педагогических наук, профессор, Факультет искусств, «Казахский Национальный Педагогический университет имени Абая», г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: k.anarbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4043-7771>

Құли Жансерік Тілеубердіұлы, PhD докторант по специальности «Наноматериалы и нанотехнологии», Главный специалист Лаборатории инженерного профиля, Сатпаев университет, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: z.kuli@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

Магазов Нуртолеу Магзумбекович, Докторант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, 070000, Республика Казахстан, email: magazov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9941-9199>

Манатбаев Рустем Кусаингазыевич, Кондидат технических наук, Профессор кафедры теплофизики и технической физики, физико-технического факультета, Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: rustemmanatbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3692-2245>

Мантиева Кыздархан Аскарровна, докторант по специальности «Техническая физика», Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: askarovna_mk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0659-8173>

Мауей Бакытбек, Старший преподаватель кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: bahytbek01@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

Наметкулова Райхан Жанузаковна, старший преподаватель, Таразский университет им. М.Х.Дулати, Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: nametkulova65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1658-152X>

Нәдіров Нұртас Қонысұлы, Сеньор-лектор, Магистр технических наук, Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: n.nadirov@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-6011-8109>

Омарова Гульден Сериковна, Ассоциированный профессор кафедры физики и нанотехнологий, PhD, физико-технический факультет, Карагандинский университет имени академика Е. А.Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: guldenserikovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

Опахай Серікжан, Старший преподаватель кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: serikjan_0707@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6789-4844>

Пудич Наталья Николаевна, Старший преподаватель, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: prudich@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

Рахадиллов Бауыржан Корабаевич, PhD, ассоциированный профессор, Член правления- проректор по научной работе Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: rakhadilovb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Ринатова Шырын Ринатовна, Магистрант по специальности «Подготовка педагогов информатики», Университет имени Шакарима,

г. Семей, 071400, Республика Казахстан, e-mail: ios28122021@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9102-2696>

Сагиндыков Бимурат Жумабекович, Ассоциированный профессор, кандидат физ-мат наук, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), Алматы, 050014, Республика Казахстан, e-mail: b.sagindykov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Салыкова Ольга Сергеевна, ассоциированный профессор, кафедра программного обеспечения, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Қостанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: solga0603@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>

Сатыбалдин Амангельды Жарлыгасынович, Кандидат химических наук, Физико-технический факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, e-mail: satybaldin.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Сеитов Бекболат Жуманович, PhD, Заведующий кафедрой физики, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмета Яссави, Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: bekbolat.seitov@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1743-7028>

Сейтен Айжанат Болаткызы, Докторант по образовательной программе “8D05301-Физика”, кафедра физики, физико-математический факультет, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актобе, 030000 Республика Казахстан, e-mail: aizhanat_bolatovna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5530-1658>

Сәрсенбек Аслан Сағитұлы, магистрант образовательной программы «7M01504 – Физика», факультет «Математики, физики и информатики», «Казахский Национальный Педагогический университет имени Абая», г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: sarsenbekaslan4@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8938-2195>

Спивак-Лавров Игорь Феликсович, Профессор физико-математических наук кафедры физики, факультет физико-математики, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, город Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: Spivakif@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6235-3897>

Татенов Адамбек Максutowич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Казахского национального женского педагогического университета, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: a.tatenov1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

Темирбаева Дилара Абаевна, доктор философии (PhD), ассоциированный профессор (доцент), Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dilara_7-7-7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0201-2692>

Теняева Лилия Ивановна, магистр математики, старший преподаватель, Торайгыров университет, факультет «Computer Science», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: tenyayeva80@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6461-8336>

Ткач Галина Михайловна, магистр информатики, старший преподаватель, факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, Galina_tkach_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

Толеужанова Ақбота Дәулетқызы, студент, ТОО «PlasmaScience», Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, email: akbotatoleuzanova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-1850-6769>

Турғанбай Мыңжігіт Досымұлы, студент, специальность «Software Engineering», Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: 221964@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-1595-7894>

Тянах Сайрагул, Старший преподаватель кафедры химической технологии и нефтехимии, магистр, докторант Карагандинского исследовательского университета имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: Saika_8989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5343-4695>

Улихина Юлия Викторовна, Магистр информатики, старший преподаватель, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Фандюшин Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: fan.vladimir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

Чернов Артём Сергеевич, студент, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: artom100912@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-0067-4504>

Шаймерденова Кулжан Мейрамовна, кандидат технических наук, Физико-технический факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, e-mail: gulzhan.0106@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

Шимко Елена Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, 656000, Российская Федерация, e-mail: eashimko65@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2756-7974>

Шормакова Асем Ноябровна, и.о доцент, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Факультет информационных систем, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: shormakovaassem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1637-4643>

Abdildayeva Assel Asylbekovna, I.o. professor in Business Analytics and Big Data, Faculty of Information Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: abass_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6381-9350>

Abdul Qadir, PhD, professor, Sukkur IBA University, Sukkur 65200, Pakistan, e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

Abenova Asem Tulegenovna, senior teacher, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Abibulla Madiyar Gabituly, master's degree student in Business Analytics and Big Data, Faculty of Information technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: abibullam.g@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5877-1206>

Aidarbekov Nursultan, Senior lecturer of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», PhD, Institute of Physical and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, The Republic of Kazakhstan, e-mail: nursultan02_22.10.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1981-5416>

Aitzhanova Madina Yessenbekovna, 3rd-year student, majoring in “Software Engineering”, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 220576@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-0749-1775>

Akilbekov Abdirash Tasanovich, Professor of the Department of Technical Physics, Dr. Sci. in Physics, Institute of Physics and Technology, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akilbekov_at@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6366-6705>

Akzholova Aliya, PhD, associate professor of the Physics Department of the Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aaa_25.04.79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2568-503X>

Aldasheva Dinara Tulengaliyevna, doctoral student in «Information technology and robotics», Department of Software Engineering, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aldasheva.dinara@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4990-4308>

Aliyeva Moldir, Master of Sciences, Senior lecturer of the Physics Department of the Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: moldir-2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>

Amangeldy Zharlygassynovich Satybaldin, Candidate of Chemical Sciences, Faculty of Physics and Technology, Karagandy Research University named after

Academician E.A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan. e-mail: satybaldin.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Amantaeva Amangul Shalkarbaykyzy, Doctoral student in the educational program “8D05301-Physics”, Department of Physics, Faculty of physics and mathematics, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000 Republic of Kazakhstan, e-mail: amantaeva.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1693-9085>

Anargul Batyrbayevna Iskakova, PhD, Associate Professor, Faculty of Computer Science, NPJSC «Toraighyrov University», Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: anar_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2142-8949>

Ashim Inkar Sayatkyzy, student in «Information systems», Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: inkar.ashim@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4877-1679>

Assiya Zhursunovna Kassanova, Doctor PhD of Chemistry, associate professor, Faculty of Natural Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asiyakass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9563-5521>

Baimukhanov Zein Kairbekovich, Associate Professor of the Department of Technical Physics, PhD in Physics, Institute of Physics and Technology,

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zeinb77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1734-3109>

Baisal Gulnazym, Master's student of the educational program «7M01504 – Physics», Faculty of Mathematics, physics and computer science, «The National Pedagogical University named after Abay», Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnazym_mm@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0990-0892>

Baizhuma Zhandos Eskendiruly, doctor of PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Department of Thermophysics and Technical Physics, Faculty of Physics and Technology, city of Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: baizhuma.zhandos@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2151-2606>

Bakranov Nurlan, PhD, Main Scientific Researcher Center “Research Group altAir nanolab” Almaty, 050043, Republic of Kazakhstan, e-mail: bakranov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4577-6510>

Bakranova Dina, PhD, Associate Professor SDU University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Almaty region, Karasai district, Kaskelen city, 040900, Republic of Kazakhstan, e-mail: dinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

Balgabayeva Galiya Serikbaevna, senior teacher, Toraighyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Baratova Aliya, Associate Professor of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», candidate of physical and mathematical sciences, PhD, Institute of Physical and Technical Sciences, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, The Republic of Kazakhstan, e-mail: aa.baratova@yandex.kz, baratova_aa@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7015-3567>

Baykenov Murzabek Ispolovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology and Petrochemistry, Karaganda Buketov University, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: murzabek_b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8703-0397>

Bazarbek Assyl-Dastan Bazarbekuly, Associate Professor of the Department of Space Engineering and Technology, PhD, Institute of Physics and Technology, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asyl.bazarbek.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6455-6142>

Bekenov Yerassyl, Master's student in «Informational technologies», Faculty of Computer Science and Engineering, Astana IT University, Astana, 010017, Republic of Kazakhstan, e-mail: bekenoverasy12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1772-1984>

Bekmyrza Kenzhebatyr, Associate Professor of the «Technical Physics» Department, teacher-researcher, PhD, Institute of Physical and Technical Sciences, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, The Republic of Kazakhstan, e-mail: kbekmyrza@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8902-8736>

Bimurat Zhanar, Research Scientist, PhD, Mining Institute named after D. A. Kunaev, Almaty, 050016, Republic of Kazakhstan, e-mail: bimuratzhanar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Bodylevskiy Maxim Valerievich, Bachelor, Toraigrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: maksimezhe@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9774-809X>

Chernov Artyom Sergeevich, student, Toraigrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: artom100912@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-0067-4504>

Daniyarova Zhanat Kapsattarovna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Toraigrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: daniyarova1957@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2455-1305>

Dauletbekova Alma Kabdenovna, Professor of the Department of Technical Physics, PhD in Physics, Institute of Physics and Technology, L.N. Gumilyov

Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alma_dauletbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0048-0959>

Dossanov Talgat, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6268-3666>

Dr. Deedar Ali Jamro Professor of department of Physics and electronics, Shah Abdul Latif University, Khairpur, 66020, Pakistan, e-mail: deedar.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

Fandyushin Vladimir Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: fan.vladimir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

Gabdushev Rashid Yerbolovich, student, Toraigrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gabdusevrasid@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8056-975X>

Ghulam Qadir Samtio, Lecturer of department of Physics and electronics, Shah Abdul Latif University, Khairpur, 66020, Pakistan, e-mail: gqadir.samito@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0009-0005-1789-8659>

Ispulov Nurlybek Aidargalieovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Toraigrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, Associate Professor, Faculty of energy, «Toraigrov University», Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Issabekova Bibigul Beisembayevna, PhD, Associate Professor, Faculty of computer science, «Toraigrov University», Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Issimbayeva Assel, senior Lecturer, master of computer science, Faculty of Computer Science, Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asselbek79@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7221-6253>
k.bibara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0572-0800>

Kabyshev Asset, Teacher-researcher of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», PhD, Institute of Physical and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, The Republic of Kazakhstan, e-mail: assetenu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1472-4045>

Kaibassova Dinara, PhD, Associate Professor, Department of Computer Engineering, Astana IT University, Astana, 010017, Republic of Kazakhstan, e-mail: saule_K@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7758>

Kalasov Nurdaulet Bolatovich, doctor PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Department of Thermophysics and Technical Physics, Faculty of Physics and Technology, position of Acting Associate Professor, city of Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: kalasov.nurdaulet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3709-5544>

Kapenova Madina, Lecturer (assistant), Faculty of Computer Science, NJSC “Toraigyrov University”, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan e-mail: madina_nur808@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9102-0359>

Karimova Raushan Mardenovna, PhD, lecturer, researcher, NJSC «Margulan University», Pavlodar, 14000, Republic of Kazakhstan, e-mail: karimovaraushan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

Kazangap Dinmukhamed Seisenbekuly, Master of Electrical and Computer Engineering, Faculty School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dimash.kazangap@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-8491-7171>

Kazhmurat Aisanim Dauletqyzy, Master’s Student of Mathematics, Toraigyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aisanymkazhmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-0979-1582>

Kazhmurat Kadyrali Dauletuly, Master’s degree in Information Systems, Faculty of Computer Science, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kadyralikd@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4775-5067>

Keikimanova Meruert Tursynkhanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Taraz University named after. M.Kh., Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: keikimanovam@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3683-5574>

Kengesbekov Aidar Bakytbekuly, PhD, postdoctoral fellow, PlasmaScience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070000, The Republic of Kazakhstan, e-mail: aidar.94.01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5630-9467>

Koshtybayev Talgat, candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics of the Kazakh National Women’s Teacher Training University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: koshtybayev70@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>

Kozybay Anarbek, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Faculty of Arts, «The National Pedagogical University named after Abay», Almaty, 050010,

Republic of Kazakhstan, e-mail: k.anarbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4043-7771>

Kubenova Marzhan Malikovna, Lecturer-researcher of the Department of Standardization and Certification, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kubenova.m@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2012-2702>

Kuli Zhanserik, PhD student in Nanomaterials and Nanotechnology, Satbayev University, Chief Specialist of the Laboratory of Engineering Profile, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: z.kuli@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

Kumisbek Mukhammed-Ali Nurlanuly, PhD student in “Information Systems” NCJSC “Kazakh National University named after Al-Farabi”, Faculty of Information Systems, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: mali.kumisbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7940-2113>

Kusaynov Arystanbek Erlanovich, PhD Candidate, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070000, The Republic of Kazakhstan, email: arys20055@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4623-4681>

Kushkimbaeva Bibara Zhaylaubaevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Taraz University named after. M.Kh. Dulaty, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail:

Kuterbekov Kairat, Teacher-researcher of the International Department «Nuclear Physics, New Materials and Technologies», doctor of physical and mathematical sciences, professor, Institute of Physical and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010009, The Republic of Kazakhstan, e-mail: kkuterbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5421-271X>

Kutkeldiyeva Elzira, Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, Institute «Physics, Mathematics and Digital Technologies», NJSC «Kazakh National Women’s Teacher Training University», Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: elzira.kutkeldieva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6754-2280>

Kydyralina Lazat Muktarovna, PhD, Shakarim University, Graduate school of physical and mathematical sciences, Semey, 071412, Republic of Kazakhstan, e-mail: lazat_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2836-0919>

Magazov Nurtolu Magzumbekovich, PhD Candidate, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070000, The Republic of Kazakhstan, email: magazovn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9941-9199>

Manatbayev Rustem Kusaingazievich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Thermophysics and Technical Physics, Faculty of Physics and Technology of Al-Farabi Kazakh National University, city of Almaty,

050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: rustemmanatbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3692-2245>

Mantieva Kyzdarkhan Askarovna, PhD student in Technical Physics, Institute of Physics and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: askarovna_mk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0659-8173>

Mauey Bakytbek, Senior Lecturer, Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bahytbek01@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

Akhmetov Mirgali Muratovich, Master's degree in Information Systems, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: sybersec.amm@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3902-9380>

Nadirov Nurtas Konysuly, Senior lecturer, Master of Technical Science, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.nadirov@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-6011-8109>

Nametskulova Raikhan Zhanuzakovna, senior lecturer, Taraz University named after. M.Kh Dulaty., Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nametskulova65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1658-152X>

Omarova Gulden, Associate Professor of the Department of Physics and Nanotechnology, PhD, Faculty of Physics and Technology, Karaganda University of the name of academician E. A. Buketov, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: guldenserikovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

Opakhai Serikzhan, Senior Lecturer, Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: serikjan_0707@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6789-4844>

Pudich Natalia Nikolaevna, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008 Republic of Kazakhstan, e-mail: e-mail: npudich@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

Rakhadilov Bauyrzhan Korabayevich, PhD, associate professor, Vice-Rector for scientific affairs of East Kazakhstan university named after Sarsen Amanzholov, Ust-Kamenogorsk, 070000, The Republic of Kazakhstan, e-mail: rakhadilovb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Rinatova Shyryn Rinatovna, master's degree «Training of computer science teachers», Shakarim University, Semey, 071400, Republic of Kazakhstan, e-mail: ios28122021@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9102-2696>

Sagindykov Bimurat Zhumabekovich, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, 050014, Republic of Kazakhstan, e-mail: b.sagindykov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Sairagul Tyanakh, Senior Lecturer of the Department of Chemical Technology and Petrochemistry, Master's degree holder, PhD candidate at Karagandy Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, 100024, Republic of Kazakhstan, e-mail: Saika_8989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5343-4695>

Salykova Olga Sergeevna, Associate Professor, Department of Software Engineering, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Kostanay 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: solga0603@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>

Sarsenbek Aslan Sagituly, Master's student of the educational program «7M01504 – Physics», Faculty of Mathematics, physics and computer science, «The National Pedagogical University named after Abay», Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsenbekaslan4@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8938-2195>

Seiten Aizhanat Bolatkyzy, Doctoral student in the educational program “8D05301-Physics”, Department of Physics, Faculty of physics and mathematics, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000 Republic of Kazakhstan, e-mail: aizhanat_bolatovna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5530-1658>

Seitov Bekbolat, PhD, Head of the Department of Physics, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: bekbolat.seitov@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1743-7028>

Shaymerdenova Kulzhan Meiramovna, Candidate of Technical Sciences, Faculty of Physics and Technology, Karagandy Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan. e-mail: gulzhan.0106@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

Shimko Elena, candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, FSBEI of HE «Altai State University», Barnaul, 656000, Russian Federation, e-mail: eashimko65@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2756-7974>

Shormakova Assem Noyabrevna, acting associate professor, NCJSC “Kazakh National University named after Al-Farabi”, Faculty of Information Systems, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: shormakovaassem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1637-4643>

Spivak-Lavrov Igor Feliksovich, Professor of Physico-Mathematical Sciences, Department of Physics, Faculty of Physics and Mathematics, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Spivakif@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6235-3897>

Tatenov Adambek, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics of the Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.tatenov1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>

Temirbayeva Dilara, Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dilara_7-7-7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0201-2692>

Tenyaeva Liliya Ivanovna, Master of Mathematics, Senior lecturer, Toraighyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: tenyaeva80@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6461-8336>

Tkach Galina, master of Informatics, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, Galina_tkasch_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

Toleuzhanova Akbota Dayletqyzy, Student of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, PlasmaScience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070000, The Republic of Kazakhstan, email: akbotatoleuzanova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-1850-6769>

Turganbay Myngzhigit Dosymuly, 3rd-year student, majoring in "Software Engineering", Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 221964@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-1595-7894>, +7 776 021 4428

Ulikhina Yulia Viktorovna, Master of Science in Informatics, Senior Lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Vereshchagin Roman Andreevich, Bachelor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ehot.roman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1905-3436>

Yegemberdiyeva Sofiya Shaimerdenovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: s.egemberdieva@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2418-2544>

Yermekbay Zhamal, Researcher «Advanced Research and Technology group» LLP, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhamal.ermekbay@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6996-355X>

Yerniyazov Baurzhan Serikovich, Student specializing in «Thermal Power Engineering», Faculty of Physics and Engineering, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: erniyazovbaurzhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6772-5695>

Zeynulla Zhasulan Serikuly, Doctoral student of the Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zeizhaser@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5339-3165>

Zhandybayev Beken Bakhytbekuly, PhD candidate in the field of "Thermophysics and Theoretical Heat Engineering", Faculty of Physics and Technology, Karagandy Research University named after Academician E. A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhandybaevb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5719-9549>

Zharassov Samalbek, Petrochemical Plant PNKHZ, Head of the Department of Energy Supply and Energy Efficiency, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail samalbek.zharasov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8139-3284>

Zhuaspayev Talgat Amangildinovich, Senior Lecturer, Department of Information Technology and Automation, Kostanay University of Engineering and Economics after M. Dulatov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g_talgat_a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2240-9729>

Zhumabekov Almar Zhumagalievich, Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА.
СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

* В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.

* Количество соавторов одной статьи не более 5.

* Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 % (согласно решению редакционной коллегии).

* Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.

* Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.

* Двойное рецензирование (слепое) проводится конфиденциально, автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.

* Квитанция об оплате предоставляется после принятия статей к публикации. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге.

* докторантам НАО «Торайғыров университет» и иностранным авторам (без казахстанских соавторов) публикация в журнале бесплатно.

* Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 1 раз. Ответственность за содержание статьи несет автор.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления. Журнал формируется исходя из количества не более 30 статей в одном номере.

Периодичность издания журналов – 4 раза в год (ежеквартально).

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

Научный журнал «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» выпускается с периодичностью 4 раза в год в сетевом (электронном) формате в следующие установленные сроки выхода номеров журнала:

- первый номер выпускается до 30 марта текущего года;
- второй номер – до 30 июня;
- третий номер – до 30 сентября;
- четвертый номер – до 30 декабря.

Статью (электронную версию и квитанции об оплате) следует направлять на сайтах:

- <https://vestnik.tou.edu.kz/>
- <https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>

Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

Автор, который внес наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и обозначается «*».

Авторы из разных учебных заведений указываются цифрами ^{1,2}.

Для осуществления процедуры двойного рецензирования (слепого), авторам необходимо отправлять два варианта статьи: первый – с указанием личных данных, второй – без указания личных данных. При нарушении принципа слепого рецензирования статья не рассматривается.

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, в электронном варианте со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для Windows» (в форматах .doc, .docx, .rtf).

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы должен составлять **не менее 7 и не более 12 страниц печатного текста**. Поля страниц – 30 мм со всех сторон листа; Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).

Структура научной статьи включает название, аннотация, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список использованных источников (литературы) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Статья должна содержать:

1. **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2. **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3. **Инициалы** (имя, отчество) **Фамилия** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (жирным шрифтом, по центру);

Автор, который внес наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и обозначается «*».

Авторы из разных учебных заведений указываются цифрами ^{1,2}.

4. **Аффилиация** (организация (место работы (учебы)), страна, город) – на казахском, русском и английском языках. Полные данные об аффилиации авторов представляются в конце журнала;

5. **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий);

6. **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (рекомендуемый объем аннотации на языке публикации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец);

7. **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

8. **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10, не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки), преимущественно за последние 10–15 лет.

В случае наличия в списке использованных источников работ на кириллице (на казахском и русском языках), необходимо представить список литературы в двух вариантах: 1) в оригинале (указываются источники на русском, казахском и английском либо немецком языках); 2) романизированный вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках), то есть транслитерация латинским алфавитом. см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Онлайн сервис Транслитерация по ГОСТу – <https://transliteration-online.ru/>

Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация либо англоязычный вариант при его наличии) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название при его наличии) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

- **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

- **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail** (номера телефонов для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 04.51.59

DOI xxxxxxxxxxxxxx

С. К. Антикеева*, С. К. Ксембаева

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХКППК ПК, 2001. – 152 с.
- 3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования :учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. –2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование: монография [Текст]. –Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовностибудущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс.на соиск.степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 –Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.
- 10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиСим. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie: suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ecologicheskому obrazovaniu i vospitaniu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i ideal'y. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева*, С. К. Ксембаева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeyeva*, S. K. Ksembaeva
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант Торайғыров университеті, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология», Торайғыров университет, Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology», Toraighyrov University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»
СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»**

Редакционная коллегия научных журналов НАО «Торайғыров университет» «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» в своей профессиональной деятельности придерживаются принципов и норм Публикационной этики научных журналов НАО «Торайғыров университет». Публикационная этика разработана в соответствии с международной публикационной этической нормой Комитета по публикационной этике (COPE), этическими принципами публикации журналов Scopus (Elsevier), Кодекса академической честности НАО «Торайғыров университет».

Публикационная этика определяет нормы, принципы и стандарты этического поведения редакторов, рецензентов и авторов, меры по выявлению конфликтов интересов, неэтичного поведения, инструкции по изъятию (ретракции), исправлению и опровержению статьи.

Все участники процесса публикации, соблюдают принципы, нормы и стандарты публикационной этики.

Качество научного журнала обеспечивается исполнением принципов участников процесса публикации: равенства всех авторов, принцип конфиденциальности, однократные публикации, авторства рукописи, принцип оригинальности, принцип подтверждения источников, принцип объективности и своевременности рецензирования.

Права и обязанности членов редакционных коллегий научных журналов НАО «Торайғыров университет» «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» определены СО СМК 8.12.3-20 Управление научно-издательской деятельностью.

Права и обязанности рецензентов

Рецензенты научных журналов «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана», научно-популярного журнала «Краеведение», обязаны руководствоваться принципом объективности.

Персональная критика в адрес автора(-ов) рукописи недопустима. Рецензент должен аргументировать свои замечания и обосновывать свое решение о принятии рукописи или о ее отклонении.

Национальность, религиозная принадлежность, политические или иные взгляды автора(-ов) не должны приниматься во внимание и учитываться в процессе рецензирования рукописи рецензентом(-ами).

Экспертная оценка, составленная рецензентом должна способствовать принятию решения редакцией о публикации и помогать автору улучшить рукопись.

Решение о принятии рукописи к публикации, возвращение работы автору на изменение или доработку, либо решение об отклонении от публикации принимается редколлекцией опираясь на результаты рецензирования.

Принцип своевременности рецензирования. Рецензент обязан предоставить рецензию в срок, определенный редакцией, но не позднее 2-4 недель с момента получения рукописи на рецензирование. Если рассмотрение статьи и подготовка рецензии в назначенные сроки невозможны, то рецензент должен незамедлительно уведомить об этом научного редактора.

Рецензент, который считает, что его квалификация не соответствует либо недостаточна для принятия решения при рецензировании предоставленной рукописи должен незамедлительно сообщить об этом научному редактору и отказаться от рецензирования рукописи.

Принцип конфиденциальности со стороны рецензента. Рукопись, предоставленная рецензенту на рецензирование должна рассматриваться как конфиденциальный материал. Рецензент имеет право демонстрировать ее и/или обсуждать с другими лицами только после получения письменного разрешения со стороны научного редактора журнала и/или автора(-ов).

Информация и идеи научной работы, полученные в ходе рецензирования и обеспечения публикационного процесса, не должны быть использованы рецензентом(-ами) для получения личной выгоды.

Принцип подтверждения источников. Рецензент должен указать научные работы, которые оказали бы влияние на исследовательские результаты рассматриваемой рукописи, но не были приведены автором(-ами). Также рецензент обязан обратить внимание научного редактора на значительное сходство или совпадение между рассматриваемой рукописью и ранее опубликованной работой, о котором ему известно.

Если у рецензента имеются достаточные основания полагать, что в рукописи содержится плагиат, некорректные заимствования, ложные и сфабрикованные материалы или результаты исследования, то он не должен допустить рукопись к публикации и проинформировать научного редактора журнала о выявленных нарушениях принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

Права и обязанности авторов

Публикационная этика базируется на соблюдении принципов:

Однократность публикации. Автор(-ы) гарантируют что представленная в редакцию рукопись статьи не была представлена для рассмотрения в другие издания. Представление рукописи одновременно в нескольких журналах/изданиях неприемлемо и является грубым нарушением принципов, стандартов и норм публикационной этики.

Авторство рукописи. Лицо, которое внесло наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и указывается первым в списке авторов.

Для каждой статьи должен быть назначен автор для корреспонденции, который отвечает за подготовку финальной версии статьи, коммуникацию с редколлекцией, должен обеспечить включение всех участников исследования (при количестве авторов более одного), внесших в него достаточный вклад, в список авторов, а также получить одобрение окончательной версии рукописи от всех авторов для представления в редакцию для публикации. Все авторы, указанные в рукописи/статье, несут ответственность за содержание работы.

Принцип оригинальности. Автор(-ы) гарантирует, что результаты исследования, изложенные в рукописи, представляют собой оригинальную самостоятельную работу, и не содержат некорректных заимствований и плагиата, которые могут быть выявлены в процессе.

Авторы несут ответственность за публикацию статей с признаками неэтичного поведения, плагиата, самоплагиата, самоцитирования, фальсификации, фабрикация, искажения данных, ложного авторства, дублирования, конфликта интересов и обмана.

Принцип подтверждения источников. Автор(ы) обязуется правильно указывать научные и иные источники, которые он(и) использовал(и) в ходе исследования. В случае использования каких-либо частей чужих работ и/или заимствования утверждений другого автора(-ов) в рукописи должны быть указаны библиографические ссылки с указанием автора(-ов) первоисточника. Информация, полученная из сомнительных источников не должна использоваться при оформлении рукописи.

В случае, если у рецензентов, научного редактора, члена(-ов) редколлекции журнала возникают сомнения подлинности и достоверности результатов исследования, автор(-ы) должны предоставить дополнительные материалы для подтверждения результатов или фактов, приводимых в рукописи.

Исправление ошибок в процессе публикации. В случае выявления ошибок и неточностей в работе на любой стадии публикационного процесса авторы обязуются в срочном порядке сообщить об этом научному редактору и оказать помощь в устранении или исправлении ошибки для публикации

на сайте журнала соответствующей коррекции (Erratum или Corrigendum) с комментариями. В случае обнаружения грубых ошибок, которые невозможно исправить, автор(-ы) должен(-ны) отозвать рукопись/статью.

Принцип соблюдения публикационной этики. Авторы обязаны соблюдать этические нормы, связанные с критикой или замечаниями в отношении исследований, а также в отношении взаимодействия с редакцией по поводу рецензирования и публикации. Несоблюдение этических принципов авторами расценивается как грубое нарушение этики публикаций и дает основание для снятия рукописи с рецензирования и/или публикации.

Конфликт интересов

Конфликт интересов, по определению Комитета по публикационной этике (COPE), это конфликтные ситуации, в которых авторы, рецензенты или члены редколлекции имеют неявные интересы, способные повлиять на их суждения касательно публикуемого материала. Конфликт интересов появляется, когда имеются финансовые, личные или профессиональные условия, которые могут повлиять на научное суждение рецензента и членов редколлекции, и, как результат, на решение редколлекции относительно публикации рукописи.

Главный редактор, член редколлекции и рецензенты должны оповестить о потенциальном конфликте интересов, который может как-то повлиять на решение редакционной коллегии. Члены редколлекции должны отказаться от рассмотрения рукописи, если они состоят в каких-либо конкурентных отношениях, связанных с результатами исследования автора(-ов) рукописи, либо если существует иной конфликт интересов.

При подаче рукописи на рассмотрение в журнал, автор(-ы) заявляет о том, что в содержании рукописи указаны все источники финансирования исследования; также указывают, какие имеются коммерческие, финансовые, личные или профессиональные факторы, которые могли бы создать конфликт интересов в отношении поданной на рассмотрение рукописи. Автор(ы), в письме при наличии конфликта интересов, могут указать ученых, которые, по их мнению, не смогут объективно оценить их рукопись.

Рецензент не должен рассматривать рукописи, которые могут послужить причинами конфликта интересов, проистекающего из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, имеющих отношение к рукописи.

В случае наличия конфликта интересов с содержанием рукописи, ответственный секретарь должен известить об этом главного редактора, после чего рукопись передается другому рецензенту.

Существование конфликта интересов между участниками в процессе рассмотрения и рецензирования не значит, что рукопись будет отклонена.

Всем заинтересованным лицам необходимо, по мере возможности избегать возникновения конфликта интересов в любых вариациях на всех этапах публикации. В случае возникновения какого-либо конфликта интересов тот, кто обнаружил этот конфликт, должен незамедлительно оповестить об этом редакцию. То же самое касается любых других нарушений принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

Неэтичное поведение

Неэтичным поведением считаются действия авторов, редакторов или издателя, в случае самостоятельного предоставления рецензии на собственные статьи, в случае договорного и ложного рецензирования, в условиях обращения к агентским услугам для публикации результатов научного исследования, лжеавторства, фальсификации и фабрикация результатов исследования, публикация недостоверных псевдо-научных текстов, передачи рукописи статей в другие издания без разрешения авторов, передачи материалов авторов третьим лицам, условия когда нарушены авторские права и принципы конфиденциальности редакционных процессов, в случае манипуляции с цитированием, плагиатом.

Теруге 05.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2025 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,50 Mb RAM

Шартты баспа табағы 10,01. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4343

Сдано в набор 05.03.2025 г. Подписано в печать 31.03.2025 г.

Электронное издание

7,50 Mb RAM

Усл.печ.л. 10,01. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4421

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

+7(718)267-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

https://vestnik-pm.tou.edu.kz/

