

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник 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

№ 3 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник 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/ISCR3775>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукенов 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 алкасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,

PhD доктор, профессор (Турция);

Abdul Qadir Rahimoon,

PhD доктор, профессор (Пакистан);

Донбаев К. М.,

д.ф-м.н., профессор;

Демкин В. П.,

д.ф-м.н., профессор (Российская Федерация);

Жумадиллаева А. К.,

к.т.н., профессор;

Ибраев Н. Х.,

д.ф-м.н., профессор;

Косов В. Н.,

д.ф-м.н., профессор;

Сеитова С. М.,

д.пед.н., профессор;

Шоканов А. К.,

д.ф-м.н., профессор

Омарова А. Р.,

технический редактор

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

МАЗМҰНЫ МАЗМҰНЫ
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

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

Ахметшин Р. Р., Тлебаев М. Б., Тасжурекова Ж. К. Применение машинного Q-обучения для разработки адаптивного игрового ИИ.....	5
Даукенов Н. Н. Сандық бейнені басқару жүйелеріндегі нейрондық желілер: деректерді жинау, нақты уақыт.....	17
Ли О. С., Ткач Г. М., Рудченко В. А. Problematic aspects of developing applications for generating and storing user passwords.....	27
Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Балгабаева Г. С., Абендова А. Т. Интерактивті әдістерді қолдана отырып, электрондық оқыту құралдарын әзірлеу.....	41
Мельничук С. В. Метод локальной гемодинамики для оценки гемодинамической значимости тандемных стенозов в бифуркациях коронарных сосудов.....	52
Потапенко А. О., Сембендова А. А., Юсупова А. О. Современные методы оценки производительности веб-страниц.....	66

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

Абдул Кадыр, Испулов Н. А., Кусабекова А. А., Каримова Р. М., Жумабеков А. Ж. О трехмерном тензоре упругости в анизотропных средах.....	77
Kudryavtseva I. Krasnikov A., Shablonin E. Luminescence characteristics of CaSO ₄ :Tb,M (M=Na,K,Rb) phosphors.....	88
Сатбаева З. А., Сейтханова А. К., Бердимуратов Н., Байжан Д. Р., Маулит А. Модификации поверхности хромникелевой стали методом электролитно-плазменного азотирования.....	98

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

Қабдолла Д. С.

Платонның денелері.....109

**«ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ ИНФОРМАТИКА
ДИДАКТИКАСЫ» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «ДИДАКТИКА ФИЗИКИ,
МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА»
SECTION «DIDACTICS OF PHYSICS, MATHEMATICS
AND COMPUTER SCIENCE»**

Сағындықов Б. Ж., Бимұрат Ж.

Кватерниондар алгебрасы. Кватернионның меншікті мәндері
мен меншікті векторлары және Эйлер формуласы.....121

Авторлар туралы ақпарат

Информация об авторах

Information about the authors.....136

Авторларға арналған ережелер

Правила для авторов

Rules for authors.....148

Жарияланым этикасы

Публикационная этика

Publication ethics.....161

СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»

МРНТИ 28.23.17

<https://doi.org/10.48081/OGMA4271>

***Р. Р. Ахметшин¹, М. Б. Тлебаев², Ж. К. Тасжурекова³**

Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати,
Республика Казахстан, г. Тараз

*e-mail: rakhmietshin@gmail.com

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3183-8238>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1246-027X>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8307-9417>

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО Q-ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНОГО ИГРОВОГО ИИ

В статье анализируется применение машинного Q-обучения для разработки адаптивного игрового искусственного интеллекта (ИИ) на примере классической игры «Крестики-нолики». Q-обучение, как один из основных методов машинного обучения с подкреплением, позволяет агенту учиться на основе взаимодействий с окружающей средой (игрой в крестики-нолики в данном случае) и получать оптимальные стратегии для достижения целей (победы/ничьей).

В рамках экспериментов был создан агент в игровом движке Unity, который использует Q-обучение для выбора наилучших ходов. Для повышения адаптивности агента был введен элемент случайности в действия противника (классического заранее запрограммированного ИИ), что позволило агенту изучать разнообразные сценарии игры и избегать заучивания однотипных ходов.

В статье подробно описаны методы реализации Q-обучения, параметры настройки и процесс обучения, включая этапы инициализации, сбора данных, выбора действий и обновления Q-таблицы.

Обсуждаются преимущества и ограничения применения Q-обучения в игровой индустрии, а также предлагаются направления для дальнейших исследований и улучшений, включая применение более сложных алгоритмов обучения и использование многомерных состояний.

Данное исследование демонстрирует потенциал использования методов машинного обучения для создания эффективных и адаптивных игровых ИИ, способных обучаться и улучшаться с течением времени.

Ключевые слова: Q-обучение, игровой ИИ, машинное обучение, обучение с подкреплением, адаптивный ИИ, Unity.

Введение

Искусственный интеллект [1]. (ИИ) играет ключевую роль в современной игровой индустрии, предоставляя игрокам более увлекательный и

динамичный опыт. Одним из наиболее эффективных методов создания игрового ИИ является использование машинного обучения, которое позволяет ИИ адаптироваться и учиться на основе взаимодействия с игроками и игровой средой. В свою очередь, одной из наиболее изучаемых и применяемых техник машинного обучения является Q-обучение [2], метод обучения с подкреплением, который позволяет агенту принимать решения, основываясь на полученных наградах и наказаниях.

Игра «Крестики-нолики» представляет собой классический пример задачи с полной информацией, где все возможные состояния игры известны и легко моделируются. Это делает «Крестики-нолики» идеальной площадкой для исследований и экспериментов в области ИИ и машинного обучения. Несмотря на кажущуюся простоту, разработка ИИ для этой игры требует учета множества возможных сценариев и стратегий, что делает задачу интересной и значимой для исследователей.

В данной работе мы исследуем применение Q-обучения для создания адаптивного игрового ИИ, который может не только эффективно играть в «Крестики-нолики», но и адаптироваться к различным стратегиям противника. Q-обучение позволяет агенту учиться на основе взаимодействий с игровой средой, постепенно улучшая свои стратегии путем обновления Q-таблицы, содержащей оценки действий в различных состояниях игры. В отличие от традиционных алгоритмов, Q-обучение не требует предварительного знания всех возможных стратегий, что делает его мощным инструментом для разработки ИИ в динамических и сложных средах.

Для реализации данного проекта был разработан агент в игровой платформе Unity [3], который использует Q-обучение для обучения оптимальным стратегиям игры. Чтобы агент мог изучать разнообразные сценарии и избегать заучивания однотипных ходов, в противника был введен элемент случайности, что позволило создавать более разнообразные и непредсказуемые игровые ситуации. Это исследование также направлено на изучение влияния различных параметров Q-обучения, таких как скорость обучения, дисконтирующий фактор и вероятность исследования, на эффективность и адаптивность игрового ИИ.

Материалы и методы

Создание игрового поля.

Для создания пользовательского интерфейса [4] (UI) игры «Крестики-нолики» в Unity, мы настроили игровое поле и элементы для отображения статистики.

Игровое поле состоит из 9 кнопок, организованных в сетку 3x3, каждая из которых представляет собой ячейку, в которую игроки могут делать свои ходы. Эти кнопки были добавлены в Canvas [5] и настроены с использованием Grid Layout Group [6], чтобы обеспечить равномерное распределение и выравнивание кнопок. Для каждой кнопки был добавлен компонент TextMeshProUGUI [7], который отображает «X» или «O» в зависимости от хода игрока или ИИ.

Также были добавлены два текстовых элемента TextMeshProUGUI для отображения числа сыгранных партий и числа побед ИИ. Эти элементы были размещены в верхней части экрана для удобства пользователя и легко читаемого интерфейса. Текстовые элементы автоматически обновляются в ходе игры, показывая текущую статистику в реальном времени. Готовое игровое поле показано на рисунке 1.

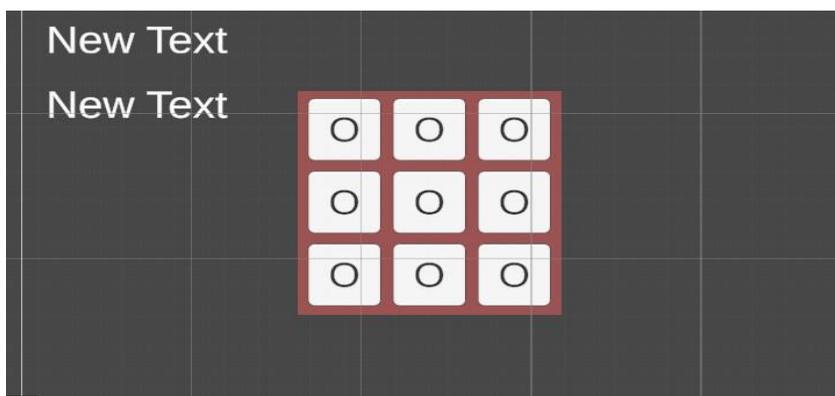


Рисунок 1 – Игровое поле

GameController и AI. В GameController реализованы ключевые методы, управляющие логикой игры «Крестики-нолики». Ниже описаны некоторые из наиболее важных и интересных методов:

Корутина [8] отвечает за автоматическое перезапуск игры каждые 0.1 секунды, что позволяет обучающемуся ИИ быстро накапливать опыт.

Метод AIPlay() отвечает за ход запрограммированного ИИ. Он использует метод GetBestMove(), чтобы найти оптимальный ход, с вероятностью 20% выбирая случайный ход. После выполнения хода метод проверяет, выиграл ли ИИ или наступила ничья.

Алгоритм Minimax используется для нахождения наилучшего хода для ИИ. Он оценивает все возможные ходы и выбирает тот, который минимизирует максимальные потери (или максимизирует минимальные выгоды).

Если вкратце, то Minimax работает путем рекурсивного исследования [9] всех возможных ходов до конца игры, чтобы определить наилучший возможный ход. В игре с двумя игроками один игрок пытается максимизировать свой выигрыш (Max), а другой - минимизировать выигрыш первого игрока (Min). Часть кода предоставлена на рисунке 2.

Данный рекурсивный процесс заключается в:

- Minimax оценивает каждый возможный ход текущего игрока.
- Для каждого хода алгоритм рекурсивно вызывает себя для рассмотрения возможных ходов противника.
- Этот процесс продолжается до тех пор, пока не достигнет конечного состояния игры (победа, поражение или ничья).

Иными словами, когда достигается конечное состояние игры, Minimax присваивает ему оценку:

- Если игрок Max выиграл, присваивается положительное значение (например, +10).
- Если игрок Min выиграл, присваивается отрицательное значение (например, -10).
- Если наступила ничья, присваивается значение 0.

```
Ссылка 3
int Minimax(Button[] newBoard, int depth, bool isMaximizing)
{
    if (CheckWin(aiSide))
    {
        return 10 - depth;
    }
    if (CheckWin(playerSide))
    {
        return depth - 10;
    }
    if (IsBoardFull())
    {
        return 0;
    }

    if (isMaximizing)
    {
        int bestScore = int.MinValue;
        for (int i = 0; i < newBoard.Length; i++)
        {
            if (newBoard[i].GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>().text == "")
            {
                newBoard[i].GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>().text = aiSide;
                int score = Minimax(newBoard, depth + 1, false);
                newBoard[i].GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>().text = "";
                bestScore = Mathf.Max(score, bestScore);
            }
        }
    }
    return bestScore;
}
```

Рисунок 2 – Метод Minimax

После оценки конечного состояния, Minimax возвращает эту оценку на уровень выше. Если ход делал игрок Max, он выбирает ход с максимальной оценкой из всех возможных ходов. Если ход делал игрок Min, он выбирает ход с минимальной оценкой.

Стоит также учесть, что на каждом уровне рекурсии алгоритм сохраняет лучший ход (с максимальной или минимальной оценкой в зависимости от текущего игрока). В конечном итоге, на самом верхнем уровне рекурсии (исходное состояние игры), Minimax выбирает оптимальный ход для игрока Max. QlearningAgent.

Для разработки адаптивного ИИ был создан скрипт QlearningAgent, который использует Q-обучение для принятия решений. Агент обучается на основе взаимодействий с игровой средой, обновляя свою Q-таблицу в зависимости от полученных наград и наказаний. На рисунке 3 можно видеть код основного метода скрипта.

```
Ссылка 2
public void MakeMove()
{
    string state = GetState();
    if (!qTable.ContainsKey(state))
    {
        qTable[state] = new float[gameController.buttons.Length];
    }

    int action;
    if (Random.Range(0f, 1f) < explorationRate)
    {
        // Случайный ход (исследование)
        action = GetRandomMove();
    }
    else
    {
        // Лучший ход (эксплуатация)
        action = GetBestMove(state);
    }

    gameController.AgentMove(action);
    UpdateQTable(state, action);
    explorationRate *= explorationDecay;
}
```

Рисунок 3 – Метод MakeMove

В QlearningAgent реализованы методы для сбора данных о текущем состоянии игры, выбора действий на основе Q-таблицы и случайных ходов, а также обновления Q-таблицы после каждого хода:

- Start(). Инициализирует Q-таблицу и вызывает метод

ResetBoard() в GameController для подготовки к началу обучения.

– MakeMove(). Определяет текущее состояние игры и выбирает действие: либо случайное (исследование), либо оптимальное (эксплуатация), основываясь на значениях Q-таблицы. Затем вызывает метод AgentMove() в GameController для выполнения выбранного действия и обновляет Q-таблицу на основе полученной награды.

– GetRandomMove(). Выбирает случайный доступный ход из текущих возможных ходов на игровом поле.

GetBestMove(string state). Выбирает наилучший ход для текущего состояния игры, основываясь на значениях Q-таблицы. Возвращает индекс наилучшего хода.

UpdateQTable(string state, int action). Обновляет Q-таблицу для текущего состояния и действия, используя формулу Q-обучения. Учитывает полученную награду и максимальное Q-значение для следующего состояния.

GetState(). Возвращает текущее состояние игрового поля как строку, где каждая ячейка представлена символом «X», «O» или пустым значением.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментов с Q-обучением для ИИ в игре «Крестики-нолики» было проведено несколько ключевых наблюдений, связанных с наличием или отсутствием элемента случайности в действиях запрограммированного ИИ. Рассмотрим два основных сценария: обучение ИИ без элемента случайности и обучение ИИ с элементом случайности [10].

Сценарий 1: обучение без элемента случайности

В этом сценарии запрограммированный ИИ всегда выбирал наилучший ход, используя алгоритм Minimax. В результате наблюдались следующие этапы обучения:

Начальная фаза: в начале обучения агент, использующий Q-обучение, всегда проигрывал, так как он не имел достаточного опыта и не мог конкурировать с оптимальными ходами запрограммированного ИИ.

Средняя фаза: спустя около 60 игр, агент начал адаптироваться и постепенно улучшать свои стратегии, используя накопленный опыт.

Поздняя фаза: примерно после ста игр агент достиг состояния, при котором большинство игр заканчивалось ничьей. Это объясняется тем, что агент научился избегать ошибок и играть оптимально, что не позволяло запрограммированному ИИ выигрывать. Итог виден на рисунке 4.

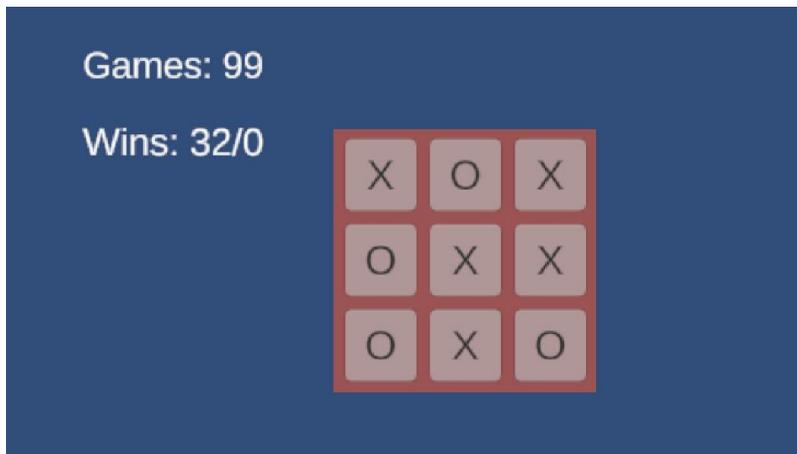


Рисунок 4 – Сплошные ничьи

Таким образом, обучение без элемента случайности привело к тому, что агент научился избегать поражений, но не смог развить стратегии для победы, в виду невозможности оной.

Сценарий 2: обучение с элементом случайности

Во втором сценарии был введен элемент случайности, при котором запрограммированный ИИ с вероятностью 20% выбирал случайный ход вместо оптимального. Результаты обучения в этом случае были следующими:

Начальная фаза: на начальных этапах обучения агент почти всегда проигрывал, так как элемент случайности усложнял предсказание действий противника и увеличивал количество неожиданных сценариев.

Средняя фаза: со временем агент начал адаптироваться к более разнообразным сценариям игры и улучшать свои стратегии. Это позволило ему постепенно увеличивать свою конкурентоспособность.

Поздняя фаза: после значительного количества игр (около 150) агент стал демонстрировать улучшенные результаты. Он не только научился избегать поражений, но и начал выигрывать те игры, где элемент случайности противника давал ему преимущества. Итог виден на рисунке 5.

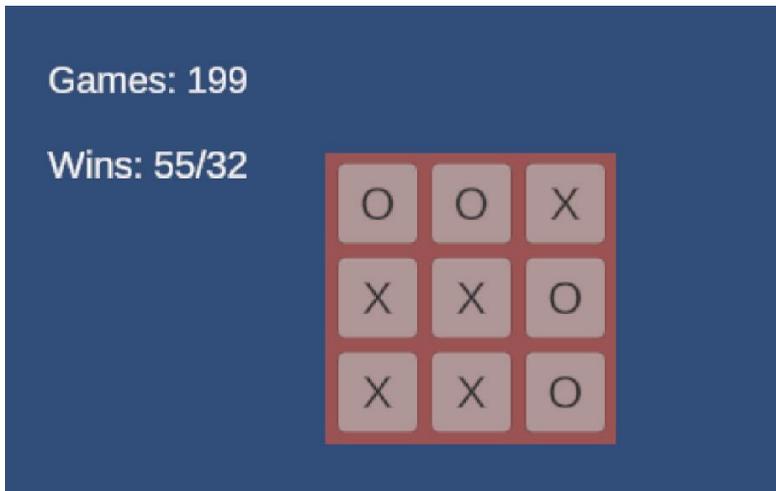


Рисунок 5 – Череда побед

Таким образом, введение элемента случайности позволило агенту Q-обучения развить более сложные и эффективные стратегии, а также получить возможность изучить выигрышные комбинации.

Выводы

По итогу исследования можно с уверенностью сказать, что Q-обучение является мощным инструментом для разработки адаптивного игрового ИИ, способного обучаться и улучшаться с течением времени. Этот метод позволяет агенту адаптироваться к различным сценариям и улучшать свои стратегии на основе опыта, что имеет значительные перспективы для дальнейшего развития и применения в игровой индустрии и других областях, требующих интеллектуальных и адаптивных решений.

Также стоит отметить, что в ходе работы были выявлены как сильные, так и слабые стороны Q-обучения. Среди первых стоит отметить:

- Адаптивность: Q-обучение позволяет агенту адаптироваться к различным игровым условиям и улучшать свои стратегии на основе опыта.
- Простота реализации: метод относительно прост в реализации и не требует предварительного знания всех возможных стратегий.
- Обобщаемость: Q-обучение может быть применено к различным игровым сценариям и задачам, что делает его универсальным инструментом для разработки ИИ.

Последние же состоят из:

- Необходимости большого количества итераций для достижения

хороших результатов агенту может потребоваться значительное количество игр, что может быть вычислительно затратным.

– Зависимости от параметров обучения, где производительность агента сильно зависит от правильно настроенных параметров обучения, таких как скорость обучения и дисконтирующий фактор.

В дальнейшем развитии темы рекомендуется провести исследование других методов обучения с подкреплением, таких как глубокое Q-обучение (Deep Q-Learning), что может улучшить способности агента и ускорить процесс обучения и применить оба подхода к более сложным играм и задачам, чтобы оценить универсальность и адаптивность обученного ИИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Имитация разума: как устроен искусственный интеллект в играх. [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/companies/netologyru/articles/598489/>
- 2 Q-обучение. [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Q-обучение>
- 3 Разработка игр на Unity: почему этот движок так популярен [Электронный ресурс]. – <https://netology.ru/blog/01-2022-unity-development>
- 4 Что такое пользовательский интерфейс и как происходит разработка UI. [Электронный ресурс]. – <https://www.purrweb.com/ru/blog/chto-takoe-polzovatelskij-interfejs-i-kak-proiskhodit-razrabotka-ui/>
- 5 Холст (Canvas). [Электронный ресурс]. – <https://docs.unity3d.com/ru/2021.1/Manual/class-Canvas.html>
- 6 Создание панели умений. часть 1. работа с unity ui. [Электронный ресурс]. – <https://itvdn.com/ru/blog/article/create-skill-bar-part1>
- 7 Text Mesh Pro UGUI. [Электронный ресурс]. – <https://hatchjs.com/text-mesh-pro-ugui/>
- 8 Работа с Корутинами в Unity. [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/articles/216185/>
- 9 Как работает рекурсия. [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/articles/337030/>
- 10 Случайный элемент. [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Случайный_элемент

REFERENCES

- 1 How artificial intelligence works in games. – [Electronic resource]. <https://habr.com/ru/companies/netologyru/articles/598489/>
- 2 Q-training.[Electronic resource]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Q-обучение>
- 3 Game development on Unity: why this engine is so popular. [Electronic resource]. – <https://netology.ru/blog/01-2022-unity-development>
- 4 What is the UI. [Electronic resource]. – <https://www.purrweb.com/ru/blog/chto-takoe-polzovatel'skij-interfejs-i-kak-proiskhodit-razrabotka-ui/>
- 5 Canvas. [Electronic resource]. – <https://docs.unity3d.com/2021.1/Manual/class-Canvas.html>
- 6 Creating a skill panel. part 1. working with unity ui. [Electronic resource]. – <https://itvdn.com/ru/blog/article/create-skill-bar-part1>
- 7 Text Mesh Pro UGUI. [Electronic resource]. – <https://hatchjs.com/text-mesh-pro-ugui/>
- 8 Working with Coroutines in Unity. – [Electronic resource]. <https://habr.com/ru/articles/216185/>
- 9 How recursion works. [Electronic resource]. – <https://habr.com/ru/articles/337030/>
- 10 Random element. [Electronic resource]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Random_element

Поступило в редакцию 21.06.24.

Поступило с исправлениями 21.06.24.

Принято в печать 03.09.2024

***Р. Р. Ахметшин, М. Б. Тлебаев, Ж. К. Тасжурекова**

М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

21.06.24 ж. баспаға түсті.

21.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

03.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОЙЫНҒА АРНАЛҒАН АДАПТИВТІ ЖИ-ДІ ӘЗІРЛЕУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ Q ҮЙРЕНУДІ ҚОЛДАНУ

Бұл мақалада классикалық «Крестики-нолики» ойынын мысалға ала отырып, адаптивті ойынға арналған жасанды интеллектіні (ЖИ) әзірлеу үшін Q-машиналық үйренуді қолдану зерттеледі. Q-үйрену, күшейтілген оқыту әдісі ретінде, агентке қоршаған ортамен өзара

әрекеттесу негізінде үйренуге және мақсаттарға жету үшін оңтайлы стратегияларды алуға мүмкіндік береді.

Эксперименттер барысында Unity ойын қозғалтқышында ең жақсы қадамдарды таңдау үшін Q-үйренуді қолданатын агент жасалды. Агенттің бейімделгіштігін арттыру үшін қарсыластың әрекеттеріне (классикалық алдын ала бағдарламаланған ЖИ) кездейсоқтық элементі енгізілді, бұл агентке әртүрлі ойын сценарийлерін зерттеуге және қайталанатын қадамдарды үйренуден аулақ болуға мүмкіндік берді.

Мақалада Q-үйренуді іске асыру әдістері, параметрлерді орнату және оқу процесі, соның ішінде инициализация кезеңдері, деректерді жинау, әрекеттерді таңдау және Q-кестені жаңарту туралы егжей-тегжейлі баяндалған.

Ойын индустриясында Q-үйренуді қолданудың артықшылықтары мен шектеулері талқыланып, болашақзерттеулер мен жетілдірулер бағыттары, соның ішінде неғұрлым күрделі оқыту алгоритмдерін қолдану және көпөшемді күйлерді пайдалану ұсынылады.

Бұл зерттеу уақыт өте келе үйренуге және жақсартуға қабілетті тиімді және бейімделгіш ойын ЖИ жасау үшін машиналық үйрену әдістерін қолданудың әлеуетін көрсетеді.

Кілтті сөздер: Q-үйрену, ойын ЖИ, машиналық үйрену, күшейтілген оқыту, бейімделгіш ЖИ, Unity.

***R. R. Akhmetshin, M. B. Plebaev, Z. K. Tashurekova**

Taraz Regional University named after

M. Kh. Dulaty, Republic of Kazakhstan, Taraz

Received 21.06.24.

Received in revised form 21.06.24.

Accepted for publication 03.09.24.

APPLICATION OF MACHINE Q-LEARNING FOR DEVELOPING ADAPTIVE GAME AI

This article explores the application of machine Q-learning for developing adaptive game artificial intelligence (AI) using the classic game “Tic-Tac-Toe” as an example. Q-learning, as a reinforcement learning method, allows the agent to learn based on interactions with the environment and derive optimal strategies to achieve goals.

In the experiments, an agent was created in the Unity game engine that uses Q-learning to select the best moves. To enhance the adaptability of the agent, an element of randomness was introduced into the actions of the

opponent (a classic pre-programmed AI), allowing the agent to study various game scenarios and avoid learning repetitive moves.

The article details the methods of implementing Q-learning, setting parameters, and the training process, including initialization stages, data collection, action selection, and Q-table updates.

The advantages and limitations of applying Q-learning in the gaming industry are discussed, along with directions for future research and improvements, including the use of more complex learning algorithms and multidimensional states.

This study demonstrates the potential of using machine learning methods to create effective and adaptive game AIs capable of learning and improving over time.

Keywords: Q-learning, game AI, machine learning, reinforcement learning, adaptive AI, Unity.

***Н. Н. Даукенов**

Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: n.daukenov@aues.kz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3961-594X>

**САНДЫҚ БЕЙНЕНІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ
НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР: ДЕРЕКТЕРДІ ЖИНАУ,
НАҚТЫ УАҚЫТ**

Мақала нейрондық желілерге негізделген цифрлық қол жетімділікті бақылау жүйелерін дамытуға шолу жасайды. Ол деректерді жинаудан бастап нақты уақыттағы талдауға дейінгі осы процесің негізгі кезеңдерін егжей-тегжейлі қарастырады. Ол нейрондық желі архитектураларын таңдауға және оңтайландыруға, сондай-ақ бейне ақпаратты талдау үшін нейрондық желілердің әртүрлі түрлерін қолдануға бағытталған.

Авторлар жүйенің тиімді жұмыс істеуі үшін қажетті деректерді жинау әдістерін, соның ішінде нысандар мен қызмет түрлеріне сәйкес келетін деректерді жеткізуді және ауытқуларды ескере отырып, жан-жақты қамтуды қамтамасыз етуді талқылайды. Әрі қарай, есептеу тиімділігі мен дәлдігін ескере отырып, сәйкес нейрондық желі архитектурасын таңдау қарастырылады.

Нейрондық желі модельдерін, соның ішінде тасымалдауды үйрету және деректерді ұлғайту әдістерін оқытуға және оңтайландыруға ерекше назар аударылады. Әрі қарай, авторлар нақты уақыттағы талдау мен киберқауіпсіздік шараларын талқылайды.

Мақалада сонымен қатар нейрондық желілердің әртүрлі түрлеріне, олардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне шолу жасалады, бейне ақпаратты талдау үшін қолдануға ерекше бейімділік бар. АҚШ-тың Орlando қаласында ғалымдар жүргізген эксперименттер ұсынылған жүйенің тиімділігін растайды, әсіресе қозғалмалы камераларды пайдалану кезінде.

Кілтті сөздер: бейне бақылау, нейрондық желілер, киберқауіпсіздік, эксперимент, архитектура, оқыту.

Кіріспе

Сандық бейнебақылау қол жеткізу жүйелері қауіпсіздік саласында, әсіресе қоғамдық орындар мен нысандардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету контекстінде маңызды бола түсуде. Алайда, мұндай жүйелердің тиімді жұмыс істеуі үшін тек озық технологияларды қолдану ғана емес, сонымен қатар оларды әзірлеу мен конфигурациялауға сауатты көзқарас қажет. Бұл мақалада біз бейне ақпаратты талдау үшін нейрондық желілерді пайдалануға назар аудара отырып, осындай жүйені дамытудың негізгі кезеңдерін қарастырамыз. Нейрондық желілердің әртүрлі түрлері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ ұсынылған тәсілдің тиімділігін растайтын эксперименттік нәтижелер ұсынылады [9; 10].

Материалдар мен әдістер

Нейрондық желілерге негізделген сандық бейнебақылау жүйесін жасау кезінде келесі қадамдарды орындау қажет:

Деректерді жинау нейрондық желілерге негізделген бейнебақылау жүйесін жасау кезінде ең қажетті бөлік болып табылады. Жан-жақты қамтуды қамтамасыз ете отырып, мүдделі объектілерге, қызмет түрлеріне және ауытқуларға сәйкес келетін деректермен қамтамасыз ету қамтамасыз етіледі.

Нейрондық желі архитектурасын таңдау-бейнені өңдеу үшін конволюциялық нейрондық желілер (CNN) және деректерді дәйекті талдау үшін қайталанатын нейрондық желілер (RNN) сияқты бейне талдау тапсырмаларына сәйкес келетін әртүрлі нейрондық желі архитектураларының салыстырмалы бағасын жасау өте маңызды. Қажетті талаптарға сәйкес келетін архитектураны таңдау тиімді есептеу мен дәлдік арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді [2; 3].

Тілдік модельді оқыту және оңтайландыру – модельдің өнімділігімен жалпылау мүмкіндіктерін жақсарту үшін деректерді тасымалдау және үлғайту сияқты оңтайландыру үшін таңдалған нейрондық желі үлгісін оқыту.

Нақты уақыттағы талдау және шешім қабылдау-объектілерді анықтау және жіктеу, жүйенің жұмысындағы ауытқуларды анықтау үшін әрекеттерді тану үшін нейрондық желілердің мүмкіндіктерін пайдалана отырып, нақты уақыттағы бейнені талдау механизмдерін енгізу.

Киберқауіпсіздік шаралары-кез келген жүйені әзірлеу кезінде оған киберқауіпсіздік жүйесі бір рет жұмыс істеуі қажет. Сенімді киберқауіпсіздік шараларын қолдану жүйені ықтимал қауіптерден, соның ішінде деректердің бұзылуынан, рұқсатсыз кіруден және бұрмаланудан қорғау үшін қажет [8; 9]. Нейрондық желілердің кең жиынтығы бар, олардың әрқайсысы өзінің ерекше сипаттамаларына ие және белгілі бір саяжайларды шешу үшін қолданылады. Төменде олардың кейбіреулері берілген:

Перцептрон (Перцептрон): бұл бір қабаттан тұратын нейрондық желінің қарапайым түрі. Ол деректерді екі сыныпқа жіктеу үшін оқытылады.

Көп қабатты перцептрон (Multilayer Perceptron, MLP): желінің бұл түрінде бір немесе бірнеше жасырын қабаттар бар. MLP деректерді бірнеше сыныпқа жіктеу үшін қолданылады [7; 8].

Конволюциялық нейрондық желі (convolutional Neural Network, CNN): әдетте кескінді өңдеу үшін қолданылады. CNN деректердің біртүрлі құрылымын талдау үшін жинақтау операциясын пайдаланады.

Қайталанатын нейрондық желі (recurrent Neural Network, RNN): RNN алдыңғы кезеңдердегі ақпаратты ескере отырып, дәйекті деректерді өңдейді. Олар мәтін мен уақыт қатарларын талдау үшін кеңінен қолданылады.

Ұзақ мерзімді қысқа мерзімді жад желісі (Long Short-Term Memory, LSTM): бұл ұзақ мерзімді деректерге тәуелділікті үйренуге қабілетті RNN түрі [3; 4].

Трансформаторлар (трансформаторлар): нейрондық желінің бұл түрі тізбектерді өңдеу үшін зейін механизмін пайдаланады. Трансформаторлар GPT-3 сияқты көптеген заманауи тілдік модельдердің негізі болып табылады.

Бұл нейрондық желілердің көптеген түрлеріне шағын шолу ғана. Олардың әрқайсысы өз артықшылықтары мен кемшіліктерін береді, ал белгілі бір түрді таңдау тапсырмаға байланысты.

Бейне ақпаратты талдау үшін конволюциялық нейрондық желілер (CN) және қайталанатын нейрондық желілер (RN) жиі қолданылады [4; 5].

CNN суреттерді өңдеуге және әр бейне кадрдан сипаттамаларды алуға жақсы сәйкес келеді.

RN, соның ішінде LST (Long Short-Term Memory) немесе GRU (Gated Recurrent Unit), содан кейін дәйекті кадрлар арасындағы уақыт тәуелділіктерін талдау үшін қолданылады.

Үш өлшемді конволюциялық нейрондық желілер (3D Cnc) де қолданылады, олар кеңістіктік-уақыттық деректерді, соның ішінде биіктігін, Шири және тереңдігін (уақытын) ескереді [3; 7].

Сонымен, трансформаторларды бейне деректерге де қолдануға болады, бұл деректерді кездейсоқ тәртіпшен өңдеуге мүмкіндік береді, бұл әсіресе кадрдың әртүрлі бөліктері арасындағы немесе әртүрлі кадрлар арасындағы қатынастарды талдау үшін пайдалы.

Нейрондық желінің белгілі бір түрін таңдау тапсырмаға және дәлдік пен өңдеу жылдамдығына қойылатын талаптарға байланысты.

Нәтижелер және талқылау

Бұл экспериментті Орландодағы (АҚШ) Альберто Амато, Винценцо Ди Лессе және Винценцо Пиурия ғалымдары жүргізді.

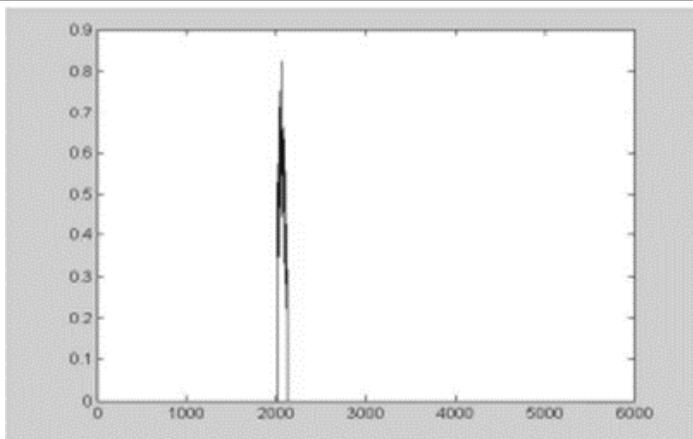
Ұсынылған жүйе 360 градусқа және ауыспалы бұрыштық жылдамдықпен айналуға қабілетті қозғалмайтын камералармен және қозғалмалы камералармен енгізілді және сыналды.

Бұл мақалада біз қозғалатын камералармен неғұрлым күрделі жағдайдың нәтижелерін келтіреміз.

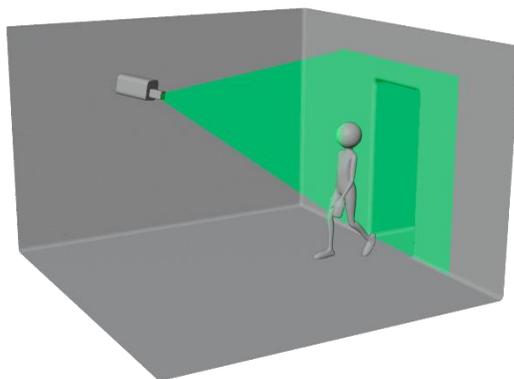
Жаттығу жиынтығын толтыру үшін сахна жарығының күндізгі өзгерістерін есепке алу үшін тәуліктің әртүрлі уақыттарында бірнеше жазу сеанстары өткізілді. Жол қолтаңбасы жарықтың өзгеруіне айтарлықтай төзімді: 1-суретте кадрдағы жарықтылықтың 40% өзгеруі салыстырмалы жол қолтаңбасының тек 7% өзгеруіне сәйкес келетіндігі көрсетілген. Бұл сипаттама өте маңызды, өйткені бейнебақылау жүйелері әдетте тәулігіне 24 сағат бейне түсіреді: жарықтылықтың күнделікті өзгеруі қоршаған ортаның өзгеруіне әкеліп соқтырса да, дабылды тек осы себепті ғана көтермеу керек [1; 2].



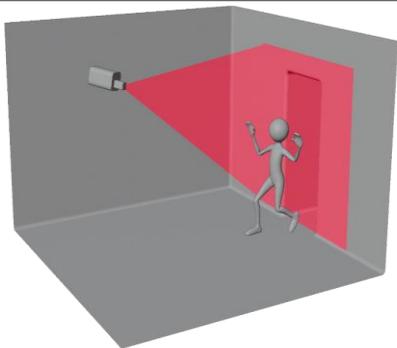
Сурет 1 – бұл суретте кадр жарықтығының 40 % өзгеруісалыстырмалы жол қолтаңбасының 7% өзгеруіне сәйкес келетіндігі көрсетілген.



Сурет 2.1 – Бұл суретте нейрондық классификатордың шығысы көрсетілген. 2000 кадрдың айналасында дабыл көрінеді



Сурет 2.2 – Бала рұқсат етілген аймақта серуендейді

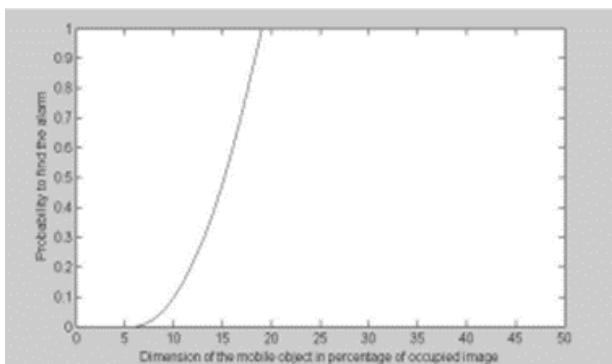


Сурет 2.3 – Бала тыйым салынған аймақта серуендейді

2.1-суретте эксперименттің нәтижелері көрсетілген (5860 кадрдан тұрады), онда бала тыйым салынған аймақта серуендейді (2000 нөмірі бар кадрдың жанында). Дабылды анықтау үшін нейрондық желіні танымайтын бірінші кадр-2021 нөмірі.

Дәл осындай процедура әртүрлі жағдайларда (мысалы, автотұрақтарда, зертханаларда, аудиторияларда және үйлерде) жазылған басқа жиырмабес бейнеге қатысты болды. Бұл эксперименттер ұсынылған тәсілдің мүмкіндіктері мен сапасын растады.

3-суретте дабылды анықтау ықтималдығының объектінің өлшеміне тәуелділігі суретте алынған ауданның пайызымен көрсетілген.



Сурет 3 – Бұл суретте алынған кескіннің пайызымен көрсетілген объект өлшемімен салыстырғанда дабылды анықтау ықтималдығының динамикасы көрсетілген

Қорытынды

Нейрондық желіге негізделген сандық қол жетімділікті бақылау жүйесін дамыту-бұл көпжылдық процесс, ол мұқият талдауды, жобалауды және тестілеуді қажет етеді. Бұл мақалада біз осы процестің негізгі кезеңдерін қарастырдық, деректерді жинаудан және сәйкес нейрондық желі архитектурасын таңдаудан бастап, нақты уақыттағы талдауға және киберқауіпсіздік шараларын енгізуге дейін. Ғалымдар жүргізген эксперименттер ұсынылған жүйенің тиімділігін растады, әсіресе қозғалмалы камераларды пайдалану жағдайында. Осы саладағы одан әрі даму алгоритмдер мен технологияларды жақсартуды, сондай-ақ қауіпсіздікті қамтамасыз ету және қол жеткізуді бақылау үшін ұқсас жүйелерді қолдану спектрін кеңейтуді көздейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Amato, A., Di Lecce, V.** Edge Detection Techniques In Image Retrieval: The Semantic Meaning Of Edge – EC-VIP-MC 2003 4th EURASIP Conference, 2-4 July 2003, – 5 p.

2 **Di Lecce, V., Guerriero, A.** A Comparative Evaluation of retrieval methods for Duplicate search in Image database – Journal of Visual Languages and Computing, 2001 – 105–120 p.

3 **Kasabov, N., Scott, N. M., Tu, E., et al.** Evolving spatio-temporal data machines based on the NeuCube neuromorphic framework; Design methodology and selected applications – Neural Networks, 78, 2016. – 1–14 p.

4 **Xia, M., Fang, J., Tang, Y., et al.** Dynamic depression control of chaotic neural networks for associative memory – Neurocomputing, 73, 2010 – 776–783 p.

5 **Ghani, A., See, C. H., & Alis, M.** Step forward to map fully parallel energy efficient cortical columns on field programmable gate arrays // IET Science, Measurement & Technology. – 8(6). – 2014. – 432–440 p.

6 **Oz, C., & Leu, M. C.** American sign language word recognition with a sensory glove using artificial neural networks // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 4. – 2011. – 1204–1213 p.

7 **Tan, Z. H., Yang, R., Terabe, K., et al.** Synaptic metaplasticity realized in oxide memristive devices // Advanced Materials. – 28(2). – 2016. – 377–384 p.

8 **Singhal, D., & Swarup, K. S.** Electricity price forecasting using artificial neural networks // Electrical Power and Energy Systems – 3. – 2011. – 550–555 p.

8 **Wu, W., Wang, J., Cheng, M., et al.** Convergence analysis of online gradient method for BP neural networks – Neural Networks, 24. – 2011 – 91–98 p.

10 **Setiono, R., & Leow, W. K.** FERNN: An algorithm for fast extraction of rules from neural networks – Applied Intelligence, 12(1–2), 2000 – 15–25 p.

REFERENCES

1 **Amato, A., Di Lecce, V.** Edge Detection Techniques In Image Retrieval: The Semantic Meaning Of Edge // EC-VIP-MC 2003 4th EURASIP Conference, 2–4 July, 2003. – 5 p.

2 **Di Lecce, V., Guerriero, A.** A Comparative Evaluation of retrieval methods for Duplicate search in Image database // Journal of Visual Languages and Computing, 2001. – 105–120 p.

3 **Kasabov, N., Scott, N. M., Tu, E., et al.** Evolving spatio-temporal data machines based on the NeuCube neuromorphic framework; Design methodology and selected applications // Neural Networks, 78, 2016. – 1–14 p.

4 **Xia, M., Fang, J., Tang, Y., et al.** Dynamic depression control of chaotic neural networks for associative memory // Neurocomputing, 73, 2010. – 776–783 p.

5 **Ghani, A., See, C. H., & Alis, M.** Step forward to map fully parallel energy efficient cortical columns on field programmable gate arrays // IET Science, Measurement & Technology. – 8(6). – 2014. – 432–440 p.

6 **Oz, C., & Leu, M. C.** American sign language word recognition with a sensory glove using artificial neural networks // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 4. – 2011. – 1204–1213 p.

7 **Tan, Z. H., Yang, R., Terabe, K., et al.** Synaptic metaplasticity realized in oxide memristive devices // Advanced Materials. – 28(2). – 2016. – 377–384 p.

8 **Singhal, D., & Swarup, K. S.** Electricity price forecasting using artificial neural networks // Electrical Power and Energy Systems. – 3. – 2011. – 550–555 p.

9 **Wu, W., Wang, J., Cheng, M., et al.** Convergence analysis of online gradient method for BP neural networks // Neural Networks. – 24. 2011 – 91–98 p.

10 **Setiono, R., & Leow, W. K.** FERNN: An algorithm for fast extraction of rules from neural networks – Applied Intelligence, 12(1–2), 2000 – 15–25 p.

07.07.24 ж. баспаға түсті.

10.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

03.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

***Н. Н. Даукенов**

Алматинский университет энергетики и связи имени
Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 07.07.24.

Поступило с исправлениями 10.07.24.

Принято в печать 03.09.2024.

НЕЙРОСЕТИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВИДЕО: СБОР ДАННЫХ, РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Статья представляет обзорный взгляд на разработку цифровых систем видеоконтроля доступа, основанных на нейросетях. Она подробно рассматривает ключевые этапы этого процесса, начиная с сбора данных и заканчивая анализом в режиме реального времени. Основное внимание уделяется выбору и оптимизации архитектур нейронных сетей, а также применению различных типов нейронных сетей для анализа видеoinформации.

Авторы обсуждают методы сбора данных, необходимые для эффективной работы системы, включая снабжение данных, соответствующих объектам и видам деятельности, а также обеспечение всестороннего охвата с учетом аномалий. Далее рассматривается выбор подходящей архитектуры нейронной сети, с учетом эффективности вычислений и точности.

Особое внимание уделяется обучению и оптимизации моделей нейронных сетей, включая методы обучения переносу и увеличения объема данных. Далее авторы обсуждают анализ в режиме реального времени и меры кибербезопасности.

В статье также представлен обзор различных типов нейронных сетей, их преимуществ и недостатков, с особым уклоном в применение для анализа видеoinформации. Эксперименты, проведенные учеными в Орландо, США, подтверждают эффективность предложенной системы, особенно при использовании движущихся камер.

Ключевые слова: видеоконтроль, нейросети, кибербезопасность, эксперимент, архитектуры, обучение.

***N. N. Daukenov**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeyev, Republic of Kazakhstan, Almaty

NEURAL NETWORKS IN DIGITAL VIDEO MANAGEMENT SYSTEMS: DATA COLLECTION, REAL TIME

The article presents an overview of the development of digital video access control systems based on neural networks. She examines in detail the key stages of this process, starting with data collection and ending with real-time analysis. The main focus is on the selection and optimization of neural network architectures, as well as the use of various types of neural networks for video information analysis.

The authors discuss the data collection methods necessary for the effective operation of the system, including the provision of data relevant to facilities and activities, as well as ensuring comprehensive coverage taking into account anomalies. Next, we consider the choice of a suitable neural network architecture, taking into account computational efficiency and accuracy.

Special attention is paid to the training and optimization of neural network models, including methods for learning how to transfer and increase the volume of data. Next, the authors discuss real-time analysis and cybersecurity measures.

The article also provides an overview of various types of neural networks, their advantages and disadvantages, with a special focus on application for video information analysis. Experiments conducted by scientists in Orlando, USA, confirm the effectiveness of the proposed system, especially when using moving cameras.

Keywords: video monitoring, neural networks, cybersecurity, experiment, architecture, training.

***O. S. Li¹, G. M. Tkach², V. A. Rudchenko³**

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

*e-mail: li.o@teachers.tou.edu.kz

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1268-5076>

PROBLEMATIC ASPECTS OF DEVELOPING APPLICATIONS FOR GENERATING AND STORING USER PASSWORDS

In today's digital world, the security of personal data is becoming an increasingly pressing issue. Apps for storing user passwords are an important tool in ensuring the security of online accounts, but their development is not without problematic aspects. This article discusses the key challenges developers face when building these applications. Particular attention is paid to storage security, authentication mechanisms, as well as usability and integration with other services. By analyzing these issues, you can identify the main challenges and find ways to solve them, contributing to the creation of more reliable and user-friendly applications for storing user passwords. This article provides an overview of the challenges that arise when developing applications to store user passwords and provides recommendations for solving them. The article discusses such important aspects as data protection, prevention of cyberattacks, compliance with security standards, and usability for the end user. Understanding these challenges and being able to solve them plays a key role in creating trustworthy and effective applications that can provide a high level of security and convenience for users in their everyday online experience. The article describes the practical development of an application for generating complex passwords, as well as their further secure storage in an encrypted database with subsequent integration with third-party applications for more secure storage. The article is of great practical significance.

Keywords: generating passwords, storing passwords, cryptography, safety, encryption.

Introduction

In today's digital world, personal data is an object of increased attention for cybercriminals. In this regard, the development of applications for the secure storage of user passwords is becoming one of the most urgent and difficult tasks for developers. The challenges associated with this process range from the technical complexities of implementing strong encryption algorithms to access control and social engineering protection. This article discusses the key challenges that developers face when creating applications for generating complex passwords and storing them securely. Based on the results of the problem area analysis, the purpose of the study is to identify effective strategies and develop a solution to minimize risks and ensure a high level of security for user credentials.

One of the main challenges is to ensure that passwords are reliably protected from unauthorized access. Each case of leakage or hacking can entail a threat to the privacy of users, as well as negatively affect the reputation of developers and service providers. An important aspect is the use of modern encryption methods and secure hashing algorithms to prevent access to passwords in clear text.

The authors Yıldırım, M., Mackie, I. believe that security issues in text password authentication are rarely caused by technical issues, but rather by limitations of human memory and human perception along with their subsequent reactions. In the study, the authors present a new convenient approach to creating passwords, including persuasive messages that motivate and influence users to choose more secure and memorable text passwords without overloading their memory. Based on a broad understanding of the security challenges caused by human error, the writing team offers a robust solution by encouraging users to create their own password formulas. The results of a study conducted by the researchers to evaluate the effectiveness of the proposed password recommendations indicate that password creation methods have become a prerequisite for the creation of cryptographically strong and memorable passwords [1].

Another challenge is managing the lifecycle of passwords, including creating, modifying, and restoring. Effective implementation of these features requires a balance between user usability and security. The ability to manage access to accounts, recover forgotten passwords, and many other aspects must be implemented in a way that minimizes security risks.

In this context, it also becomes critical to protect against attacks such as password guessing, phishing, and social engineering. Developers should pay special attention to

creating effective mechanisms to detect and prevent such attacks to ensure that users' privacy is protected at all times.

Entering a combination of login and password is a widely used identification and authentication procedure in computer systems. However, this method is notoriously weak as passwords accepted by many users are easy to crack. In an attempt to increase security, proactive password verification can be used, in which passwords must meet several criteria to be more resistant to hacking. In two experiments, we examined the impact of proactive password constraints on the time it takes to generate a valid password and then use it to log in. The required length was at least five characters in Experiment 1 and eight characters in Experiment

In both experiments, one condition had only a length limit, and the other had additional ones. The additional restrictions have significantly increased the time it takes to generate a password, but have only marginally affected the time it takes to later use it to log in. For five-character passwords, 75 % were cracked when no other restrictions were imposed, and this figure was reduced to 33 % with additional restrictions. For eight-digit passwords, 17 % were cracked without any other restrictions, and 12.5 % were cracked with restrictions. The results of the study by Proctor, R.W., Lien, M.C., Vu, K.P.L. et al. show that increasing the minimum character length reduces tampering and increases security, regardless of whether additional restrictions are imposed [2].

Even though password managers are commonly recommended by security experts, they are still not used by many users. Understanding why some choose to use password managers and others don't is important for a general understanding of why some users do what they do, and accordingly for developing motivational tools, such as video tutorials, to help motivate more people to use password managers. To examine the difference between those who use and those who don't use a password manager, a team of researchers from Fagan, M., Albayram, Y., Khan, M.M.H. et al. conducted an online survey among 247 users, of whom 111 people had never used the tool, and collected information about their opinions and experiences with password managers. The results of the survey showed that "users" of password managers cited convenience and usefulness rather than security benefits as the main reasons for using the tool, highlighting the fact that even the majority of the tool's users do not consider security as the main benefit when making a decision. On the other hand, "non-users" cited security concerns as the main reason for not using a password manager, highlighting the prevalence of suspicions arising from a lack of understanding of the technology itself [3].

The analysis of literature sources showed the relevance of the research topic and made it possible to identify important aspects of the development of applications for storing user passwords. A large number of scientific papers are devoted to the topic of password security research. The authors of the articles Luby, M., Rackoff, C. [4], Lenstra, A., Verheul, E. [5], Munganji, J., Bainomugisha, E. have published the results of studies on password security research. Kim, G., Lim, J. & Kim, J. [7], Smiatacz, M., Wiszniewski, B. [8] discuss the issues of storing confidential data using mobile devices and protecting electronic documents from unauthorized access. The relevance of the topic of developing secure applications for storing user passwords can hardly be overestimated in the context of today's digital society. With the constant increase in the amount of personal data transmitted and stored in electronic form, the interest of cybercriminals in this valuable information is also growing. Regular incidents of data breaches, hacks, and identity theft underscore the urgent need for a high level of security, especially when it comes to user passwords. App users expect their data to be properly protected, and password leaks can cause serious damage. With the constant evolution of technologies and attack methods, developers are faced with the challenge of constantly updating and improving security systems in order to provide reliable tools for storing passwords and protecting user privacy. Thus, the topic of password security remains at the peak of relevance in the field of information technology.

Cyberattack stories are becoming routine in which cybercriminals show a new level of intent by carrying out sophisticated attacks on networks. Unfortunately, cybercriminals have come up with lucrative business models and enjoy anonymity online. A serious situation that needs improvement for network defenders. Thus, a paradigm shift is essential to the effectiveness of existing methods and practices. Since the majority of cyber incidents are human-driven, this shift necessitates more research into little-understood areas, such as the behavioral aspects of cybersecurity. To improve the current situation, it is more important to focus on social and behavioral problems. The paper by Maalem Lahcen, R.A., Caulkins, B., Mohapatra, R. et al. provides an overview of relevant theories and principles. In this paper, the authors provide insight into an interdisciplinary framework that combines behavioral cybersecurity, human factors, and modeling and simulation [9].

Identity management is a fairly general concept that encompasses technologies, policies, and procedures for recognizing and authenticating objects in ICT environments. Existing identity management solutions often lack usability and scalability, or don't provide proper authentication. Jøsang, A., Rosenberger, C., Miralabé, L. et al. describe

user-centric on-premises identity management as an approach to providing scalable, secure, and convenient identity management. This approach is based on hosting identity management technology on the user side, rather than on the server side or in the cloud. This approach improves authentication, improves usability, minimizes trust requirements, and has the advantage that trusted online interactions can be maintained even in the presence of malware on client platforms. The approach developed by the authors of the study is based on the use of OffPAD (Standalone Personal Authentication Device) as a trusted device to support various forms of authentication required for trusted communication. The OffPAD prototype was implemented and tested in user experiments [10].

As such, the development of user password storage applications requires careful consideration of a number of problematic aspects related to security, access control, and attack protection in order to ensure that personal information is reliably protected and user trust is maintained.

Materials and methods

At the initial stage of developing a password storage application, you need to conduct a domain analysis. Nowadays, there are many applications that offer convenient and secure storage of user passwords, but many of them have their drawbacks, such as vulnerability to hacking, weak encryption mechanisms, inconvenient use, lack of functionality to organize and manage passwords. The analysis showed that when creating a unique application for storing passwords, it is necessary to comply with development principles such as security, usability, scalability, and integration. Strong data encryption, two-factor authentication, and other security measures should be taken into account when developing an app. The user interface should be intuitive and user-friendly for all categories of users, providing easy access to the stored data. Your application must scale to manage a large volume of accounts and passwords, providing reliable storage and easy management even as the amount of data grows. Implementing the ability to integrate with other services and platforms can significantly improve the usability and functionality of the application.

Based on the analysis of existing solutions and the key principles of creating a unique application, the following algorithm was implemented:

Market and audience research. Understanding the needs of users and the specifics of the market will help determine the key functions and features of the application being developed.

Security design. Developing strong encryption and authentication mechanisms should be a priority at all stages of development.

Testing and feedback. Regular testing of the application and collecting feedback from users will help identify problems and improve the functionality and usability of the product under development.

Continuous improvement. Developing a password storage app is an ongoing process that requires constant attention to security changes and user needs.

In addition to this algorithm, the following methods were considered that can be used in the development of a password storage application.

One of the main methods of data protection in a password storage app is encryption. Password and account data should be encrypted using strong encryption algorithms such as AES (Advanced Encryption Standard) to prevent unauthorized access to it.

The introduction of two-factor authentication increases the level of security of the application. This method requires the user to provide not only a password but also an additional authentication factor, such as a one-time code received via SMS or an authenticator app.

To prevent password leaks in your application, you need to use secure storage methods. Hashing passwords using well-known hash functions such as SHA-256 helps protect user passwords even if the database is compromised.

Keeping your application up to date and auditing its security helps identify and fix vulnerabilities, which is important for maintaining the reliability and protection of user data.

Implementing biometric authentication, such as a fingerprint scan or facial recognition, can add an extra layer of security and convenience to users.

To prevent brute-force attacks, you should use mechanisms to limit the number of password attempts and introduce time delays between attempts.

An effective combination of these methods allows you to develop a password storage application that provides a high level of security and usability for users.

Results and discussion

As part of the study, a computer program for storing passwords was developed. Not only does the password generator create random passwords, but it also implements a high level of complexity. The word-to-password feature doesn't just change letters, but it also adds special characters and numbers to make your password even stronger.

Example: The seed word “ilovecyber” is converted into the password «!loVECyB3R».

It's not just random password generation, it's also a creative process that makes each password unique and difficult to crack. The results of the generator operation are shown in Figure 1.

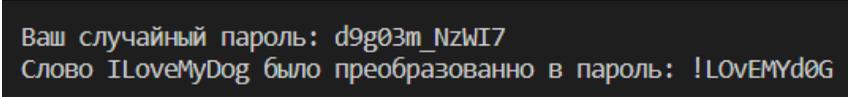


Figure 1 – Generator Operation Results

At the next stage, it was possible to record authentication data, for example, such as the name of the site on which registration takes place, login and password in encrypted form in a database for storage.

Python was used as the main programming language. The system for storing passwords in the database was implemented in encrypted form, providing an additional layer of security.

The password generator works as follows. The generator creates flags that are responsible for the presence of uppercase and lowercase letters, special characters and numbers in the password. Then, a cycle of random character generation starts, generating a unique password. A snippet of the password generator code is shown in Figure 2.

```
##### Функция генерации случайного пароля #####
def RandomPassword():
    # Символы для генерации пароля
    alph = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"
    numbers = "0123456789"
    symbols = "!@#%&*!_+~"
    password = []

    # Флаги для проверки
    FlagSymbol = False
    FlagUpper = False
    FlagNumber = False

    # Цикл генерации пароля
    for i in range(random.randint(8, 20)):
        password += alph[random.randint(0, len(alph)-1)] # Генерация случайной буквы

        EditNum = random.randint(0, 6) # Если EditNum 0 до 2 то символ будет заменен
        if EditNum == 0: # Замена буквы на заглавную
            FlagUpper = True
            password[i] = password[i].upper()
        elif EditNum == 1: # Замена буквы на случайное число
            FlagNumber = True
            password[i] = numbers[random.randint(0, len(numbers)-1)]
        elif EditNum == 2: # Замена буквы на случайный символ
            FlagSymbol = True
            password[i] = symbols[random.randint(0, len(symbols)-1)]

    passwordString = ''.join(password) # Преобразование массива в строку

    # Проверка требований пароля если верно возвращает пароль, если нет то рекурсия функции
    if FlagNumber and FlagSymbol and FlagUpper:
        return passwordString
    else:
        return RandomPassword()
```

Figure 2 – Password generator code snippet

The process of converting a word to a password is similar to the method described above. Each letter is randomly modified, adding complexity and uniqueness to the password. A fragment of the word-to-password code is shown in Figure 3.

```
##### Функция преобразования слова в сложный пароль #####
def wordToPass(word):
    # Преобразование всех букв в нижний регистр
    word = word.lower()

    # Создания словаря с символами на которые можно заменить буквы
    dictionary = {
        'a': '@', 'e': '3',
        'i': '!', 'o': '0',
        's': '$', #'b': '8',
        #'t': '+', #'l': '|',
        #'g': '9', #'z': '2'
    }

    # Флаги для проверки
    FlagUpper = False
    FlagSymbol = False
    password = []

    # Цикл преобразования пароля
    for i in range(len(word)):
        password += word[i]
        EditNum = random.randint(0, 2) # Если EditNum 0 до 2 то символ будет заменен
        if EditNum == 0: # Замена буквы на заглавную
            FlagUpper = True
            password[i] = password[i].upper()
        elif EditNum == 1: # Замена буквы на похожий символ
            try:
                if dictionary.get(password[i]):
                    FlagSymbol = True
                    password[i] = dictionary.get(password[i])
            except Exception as e:
                pass
    passwordString = ''.join(password) # Преобразования массива в строку
    #Проверка требований пароля если верно возвращает пароль, если нет то рекурсия функции
    if FlagSymbol and FlagUpper:
        return passwordString
    else:
        return wordToPass(word)
```

Figure 3 – Word-to-password code snippet

After the successful implementation of password generation and data encryption algorithms, a practical and efficient windowing application using PyQt5 was created. Figure 4 shows a screenshot of the interface of the developed application.

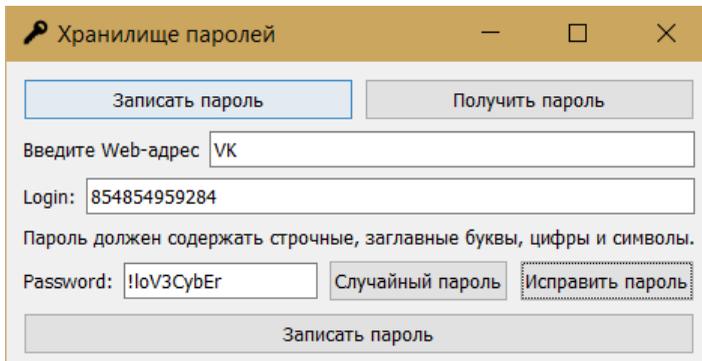


Figure 4 – App Interface

The app's interface contains buttons related to the main functions: generating and correcting passwords that do not meet security requirements. The focus is on checking for uppercase and lowercase letters, as well as special characters and numbers. There is also a check of filling in all input fields, such as web address, login and password. Figure 5 shows a screenshot of the password generation and correction application window.

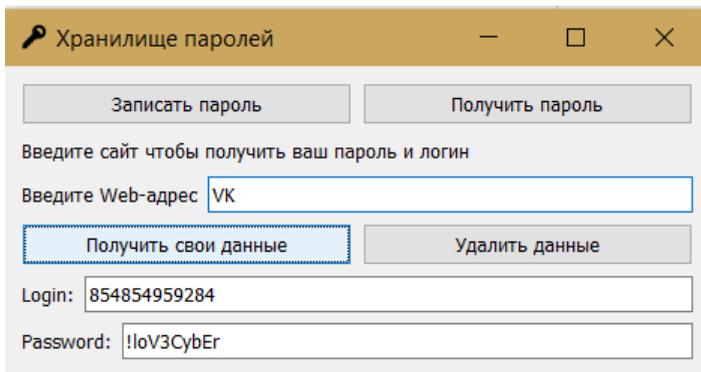


Figure 5 – Password Generation and Correction Application Window Interface

The application now has the ability to retrieve your data from the web address entered when adding it to the database. There is also an option to remove data from the database, making the application more flexible and manageable (Figure 6).

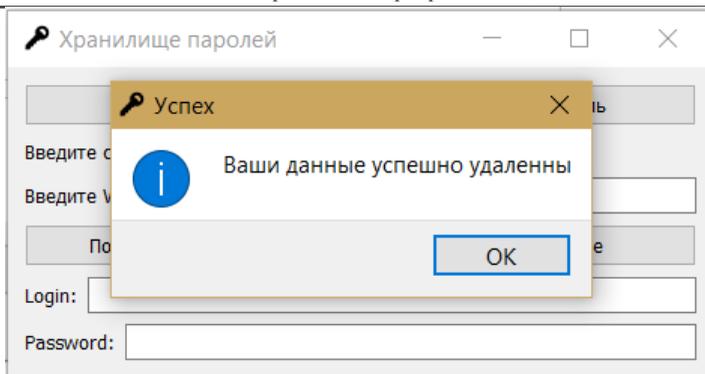


Figure 6 – Database Data Removal Interface

In this way, the app provides the user with the ability to effectively manage their passwords and guarantee their strength. It is focused on practicality and functionality.

The security of the application is based on the use of encryption to protect logins and passwords, as well as the names of sites stored in the database. Figure 7 shows a screenshot that shows what the data looks like when encrypted and decrypted.

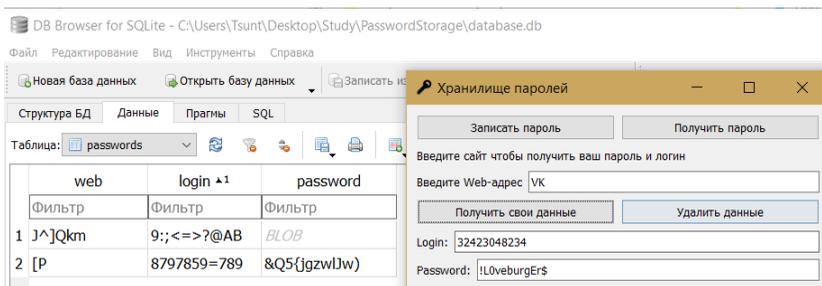


Figure 7 – Display encrypted and decrypted data

As you can see from the example above, all sensitive data has been converted into incomprehensible sequences of characters. In order to ensure the privacy and security of the developed application, the code describing the encryption and decryption process is not provided in this article. However, it is important to note that the encryption algorithms used in the development are designed to ensure maximum data security.

Thus, an important aspect of the functionality of the developed application is the level of protection that encrypts the data in the database. Passwords, logins, and websites remain secure, providing the user with confidence in the safety of sensitive data.

In order to protect the data, additional security measures have been implemented in the application to prevent possible information leakage in case of loss of access to the application.

When a user opens the database for the first time, they need to enter a unique password and log in. After that, in subsequent logins to the application, you need to re-enter the password. However, if the password is entered incorrectly 10 times in a row, the database will be automatically cleared. This measure aims to prevent unauthorized access attempts and provides an additional layer of protection.

In the future, in order to develop the application, the possibility of introducing two-factor authentication through services such as Google will be considered to provide an even greater level of security. Also, the functionality of creating regular backups will be provided to exclude data loss in case of unforeseen situations.

Conclusions

In today's digital world, where data security plays a key role, building a unique password storage app becomes a necessity. However, the success of such an app depends on several factors, including security, usability, and innovative features.

To develop a password storage app, you need to have a deep understanding of user needs and the market, as well as adhere to the basic principles of security and usability. It's important not only to create an app that reliably protects user data, but also to ensure ease of use and effective password management.

Strong encryption, multi-factor authentication, regular updates, and continuous improvement of the app's functionality are just a few of the key aspects that need to be considered when developing a unique password storage app.

In conclusion, the authors conclude that creating a unique application for storing passwords is not just a technical task, it is an opportunity to help users protect their personal data and provide them with confidence in security in the digital world.

REFERENCES

- 1 **Yıldırım, M., Mackie, I.** Encouraging users to improve password security and memorability. *Int. J. Inf. Secur.* 18. – 2019. – P. 741–759. – <https://doi.org/10.1007/s10207-019-00429-y>
- 2 **Proctor, R.W., Lien, MC., Vu, KP.L. et al.** Improving computer security for authentication of users: Influence of proactive password restrictions. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 34. – 2002. – P. 163–169. – <https://doi.org/10.3758/BF03195438>
- 3 **Fagan, M., Albayram, Y., Khan, M.M.H. et al.** An investigation into users' considerations towards using password managers. *Hum. Cent. Comput. Inf. Sci.* 7, 12. – 2017. – <https://doi.org/10.1186/s13673-017-0093-6>
- 4 **Luby, M., Rackoff, C.** A study of password security. *J. Cryptology* 1, 1989. – P. 151–158. – <https://doi.org/10.1007/BF02252873>
- 5 **Lenstra, A., Verheul, E.** Selecting Cryptographic Key Sizes. *J. Cryptology* 14, 2001. – P. 255–293. – <https://doi.org/10.1007/s00145-001-0009-4>
- 6 **Muganji, J., Bainomugisha, E.** Plascua: Programming Language Support for Continuous User Authentication. *SN COMPUT. SCI.* 3, 450. – 2022. – <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01293-9>
- 7 **Kim, G., Lim, J. & Kim, J.** Secure user authentication based on the trusted platform for mobile devices. *J Wireless Com Network* 2016, 233. – 2016. – <https://doi.org/10.1186/s13638-016-0729-7>
- 8 **Smiatacz, M., Wiszniewski, B.** Just look at to open it up: Multimed Tools Appl 80, 20089–20124. – 2021. – <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10533-8>
- 9 **Maalem Lahcen, R.A., Caulkins, B., Mohapatra, R. et al.** Review and insight on the behavioral aspects of cybersecurity. *Cybersecur* 3, 10. – 2020. – <https://doi.org/10.1186/s42400-020-00050-w>
- 10 **Jøsang, A., Rosenberger, C., Miralabé, L. et al.** Local user-centric identity management. *J Trust Manag* 2, 1. – 2015. – <https://doi.org/10.1186/s40493-014-0009-6>

Received 01.03.24.

Received in revised form 20.03.24.

Accepted for publication 21.04.24.

***О. С. Ли, Г. М. Ткач, В. А. Рудченко**

Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.03.24 ж. баспаға түсті.

20.03.24 ж. түзетулерімен түсті.

21.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПАЙДАЛАНУШЫ ҚҰПИЯ СӨЗДЕРІН ҚҰРУҒА ЖӘНЕ САҚТАУҒА АРНАЛҒАН ҚОСЫМШАЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУДІҢ ПРОБЛЕМАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ

Қазіргі цифрлық әлемде жеке деректердің қауіпсіздігі барған сайын өзекті мәселеге айнауда. Пайдаланушы құпия сөздерін сақтауға арналған қосымшалар онлайн-шоттардың қауіпсіздігін қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады, бірақ оларды әзірлеу проблемалық аспектілерден бос емес. Бұл мақалада әзірлеушілер осындай қосымшаларды құру кезінде кездесетін негізгі мәселелер қарастырылады. Сақтау қауіпсіздігі, аутентификация механизмдері, пайдалану ыңғайлылығы және басқа қызметтермен интеграция мәселелеріне ерекше назар аударылады. Осы мәселелерді талдау негізгі қоңырауларды анықтауға және оларды шешудің жолдарын табуға мүмкіндік береді, бұл жеке парольдерді сақтауға арналған сенімді және ыңғайлы қосымшаларды құруға ықпал етеді. Бұл мақала пайдаланушы құпия сөздерін сақтауға арналған қосымшаларды әзірлеу кезінде туындайтын мәселелерге шолу жасайды және оларды шешу бойынша ұсыныстар береді. Мақалада деректерді қорғау, кибершабуылдардың алдын алу, қауіпсіздік стандарттарын сақтау және соңғы пайдаланушыға ыңғайлы болу сияқты маңызды аспектілер қарастырылады. Осы мәселелерді түсіну және оларды шеше білу пайдаланушыларға күнделікті онлайн тәжірибесінде жоғары қауіпсіздік пен ыңғайлылықты қамтамасыз ете алатын сенімді және тиімді қолданбаларды құруда шешуші рөл атқарады. Мақалада күрделі парольдерді құруға арналған қосымшаның практикалық дамуы, сондай-ақ оларды қауіпсіз сақтау мақсатында үшінші тарап қосымшаларымен біріктіре отырып, шифрланған мәліметтер базасында одан әрі қауіпсіз сақтау сипатталған. Мақаланың практикалық маңызы зор.

Кілтті сөздер: парольдерді құру, құпия сөздерді сақтау, криптография, қауіпсіздік, шифрлау.

***О. С. Ли, Г. М. Ткач, В. А. Рудченко**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 01.03.24.

Поступило с исправлениями 20.03.24.

Принято в печать 21.04.2024.

ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПАРОЛЕЙ

В современном цифровом мире безопасность личных данных становится все более актуальной проблемой. Приложения для хранения пользовательских паролей являются важным инструментом в обеспечении безопасности онлайн-аккаунтов, однако их разработка не лишена проблемных аспектов. В данной статье рассматриваются ключевые проблемы, с которыми

сталкиваются разработчики при создании таких приложений. Особое внимание уделяется вопросам безопасности хранения, механизмам аутентификации, а также удобству использования и интеграции с другими сервисами. Анализ этих проблем позволяет выявить основные вызовы и найти пути их решения, способствуя созданию более надежных и удобных приложений для хранения пользовательских паролей. Данная статья предлагает обзор проблем, возникающих при разработке приложений для хранения пользовательских паролей, и представляет рекомендации по их решению. В статье рассмотрены такие важные аспекты, как защита данных, предотвращение кибератак, соблюдение стандартов безопасности и собственно удобство использования для конечного пользователя. Понимание этих проблем и умение их решать играют ключевую роль в создании доверительных и эффективных приложений, которые способны обеспечить высокий уровень безопасности и удобства для пользователей в их повседневном онлайн-опыте. В статье описана практическая разработка приложения для генерации сложных паролей, а также их дальнейшего безопасного хранения в зашифрованной базе данных с последующей интеграцией со сторонними приложениями с целью более безопасного хранения. Статья имеет большое практическое значение.

Ключевые слова: генерация паролей, хранение паролей, криптография, безопасность, шифрование.

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

Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

*e-mail: asbizh@mail.ru

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>

ИНТЕРАКТИВТІ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЭЛЕКТРОНДЫҚ ОҚЫТУ ҚҰРАЛДАРЫН ӘЗІРЛЕУ

Қазіргі қоғамның «Болашаққа білім беру» ұстанымын жүзеге асыруға бағытталғаны ешкімде дау келтірмейді. Бұл терминді оқыту мен тәрбиелеудің нақты жағдайында қазіргі заманғы білім беру процесі ретінде, атап айтқанда, білім берутехнологиясы контекстінде білім беру процесін жүзеге асыру ретінде түсіндіруге болады. Білім беру процесін технологияландыру әртүрлі инновациялық жобаларды, сондай-ақ әдістерді, тәсілдер мен құралдарды енгізу және қолдану ретінде қарастыруға болады. Дәстүрлі және инновациялық білім беру жүйелерінің арасындағы айырмашылықтар, ең алдымен, әртүрлі білім беру технологиялары арқылы жүзеге асырылатын мақсатты орнатуда жатыр. Жоғары деңгейдегі дайындықтан өткен маманды босатып қана қоймай, оны оқыту сатысынан бастап жаңа технологияларды әзірлеуге қосу және белгілі бір өндірістік ортаның жағдайына бейімдеу қажет.

Университет дайындаған мамандар қоғамның әр түрлі салаларының соңғы талаптарына сай болып қана қоймай, сонымен қатар осы салалардың барлығында прогресс жасауға дайын болуы керек.

Ақпараттық технологиялардың үнемі дамуы оларды осы мақалада қарастырылған оқу процесінде қолданудың басқа нұсқаларын ұсынады. Интерактивті жаттығуларды, мобильді құрылғыларды, интерактивті онлайн-тақталарды, ақыл-ой карталарын құруға арналған қызметтерді, микроблогингті, толықтырылған шындыққа негізделген қосымшаларды қолдану оқу процесіне инновациялық тәсілдерді жүзеге асыруға мүмкіндігін тарту етеді. Бұл мақалада осы мүмкіндіктерді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін қосымшаларға талдау жасалады, оларды білім беру процесінде қолдану бағыттары

қарастырылуымен қатар, оқушылардың танымдық белсенділігі мен қызығушылығын, сондай-ақ жалпы оқу процесінің тиімділігін арттыру мақсатында оларды оқу процесінде қолдану бойынша әдістемелік нұсқаулар беріледі.

Кілтті сөздер: электрондық оқулықтар, инновациялық тәсілдер, Оқыту құралдары, білім беру процесі, білім беруді технологияландыру.

Кіріспе

Оқытудың жаңа инновациялық технологияларының пайда болуымен білім беру тәсілдерінің өзгеруі байқалады. Инновациялық әдістер мен электронды оқыту құралдарын пайдалану оқу процесінің тиімділігін арттырудың негізгі элементіне айналады [1;2].

Электрондық оқыту құралдары білімге қол жеткізудің жаңа перспективаларын ашып, оларды жекелендірілген, икемді әрі интерактивті етеді [3, бб. 17–19]. «Инновациялық тәсілдер» ұғымын адаптивті оқыту, виртуалды және кеңейтілген шындықты пайдалану, геймификация [4, бб. 17–19] және машиналық оқыту деп түсінуге болады, яғни дәстүрлі оқыту әдістерінің өзгеруі оларды тартымды және тиімді етеді.

Маңызды аспект – жеке білім беру траекторияларын құруға мүмкіндік беретін оқушылардың жеке қажеттіліктеріне бейімделу мүмкіндігі. Бұл материалды тиімдірек игеру және оқуға деген ынтаны арттыруға ықпал етеді [5, бб. 129–136].

Осылайша, инновациялық тәсілдерге негізделген электрондық оқыту құралдарын әзірлеу білім беруді жақсартудың жаңа мүмкіндіктерін ашумен қатар, білім беру процесінде заманауи технологияларды оңтайлы пайдалануды қамтамасыз ету үшін үздіксіз зерттеу мен дамытуды қажет етеді.

Материалдар мен әдістер

Мұғалімдер мен оқытушылардың жұмыс тәжірибесінен әдетте оқу процесінде қолданылатын ақпараттық технологиялардың негізгі құралдары [6;7]:

- көбінесе теориялық материалды зерттеумен және оны бастапқы бекітумен бірге жүретін мультимедиялық презентациялар;
- кірістірілген бейне фрагменттері, тест сұрақтары және өзін-өзі бақылау сұрақтары бар электрондық оқулықтар;
- белгілі бір пәнді оқыту процесінде қолданылатын бағдарламалар, мысалы, workbench, Matlab және т. б.;
- сынақ орталары.

Бұл тізім ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуына байланысты үнемі жаңартылып отырады. Әрбір мұғалім мен оқытушы өз сабағын қызықты

етуге тырысқандықтан инновациялық тәсілдер негізінде электрондық оқыту құралдарын білім беруде қолдануға дайын [8; 9].

Мақаланың мақсаты инновациялық технологияларды іске асыру шеңберінде ақпараттық технологиялардың заманауи құралдарын талдау болып табылады

Әдетте білім беру қызметіндегі инновацияның келесі түрлері бөлінеді [10, бб. 116–120]:

- ақпаратты ұсынудың гипермәтіндік технологиялары, яғни электрондық оқулықтарды қолдану;
- интерактивті жабдықты (электрондық тақталарды) пайдалану;
- презентацияларды пайдалану;
- қашықтықтан білім беру, бейнеконференц-байланыс технологияларын қолдану;
- интерактивті білім беру кешендерін дамыту.
- интернет желісінің әртүрлі онлайн-сервистерін, әртүрлі түрдегі ақпаратты біріктіру мүмкіндігі бар білім беру платформаларын және т. б. пайдалану.

Білім беруде инновацияларды қолдану әр оқушының ақыл-ой белсенділігіне кепілдік берумен қатар, қашықтықтан білім алуға мүмкіндігін тарту етеді.

Сонымен қатар, заманауи инновациялық технологияларды қолданудың арқасында студенттерде белгілі бір білім мен пәндік дағдылар жүйесі ғана емес, сонымен қатар қазіргі әлемде қажет АКТ құзыреттіліктері қалыптасатыны туралы атап өткен жөн.

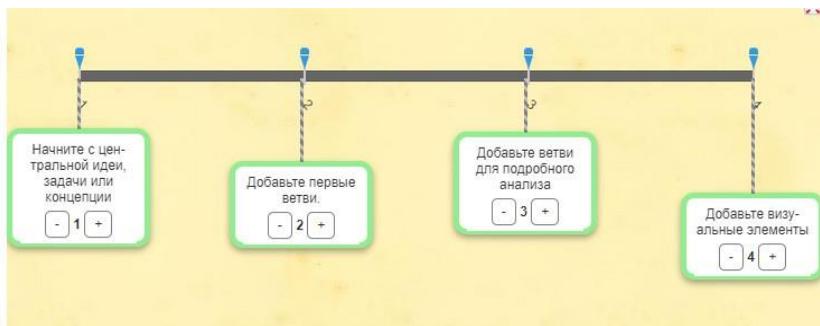
Осы мысалда «Қашықтықтан білім беру технологиялары» пәні бойынша электрондық оқулық әзірленді. Дәріс және практикалық материалдары электронды оқулық түрінде ұсынылған. Онда интерактивті жаттығулар мен тапсырмалардың көптеген түрлері бар. Әрбір жаттығуға арналған барлық әзірленген ойындар қайталанбайтындықтан, пайдаланушы әрқашан тапсырмаларды қызығушылықпен орындайды. Барлық тапсырмалар белгілі интеллектуалды ойындар негізінде шағын ойындар түрінде ұсынылған. Бұл тапсырмалардың барлығы learning apps бағдарламасында орындалды (<https://learningapps.org/createApp.php>) немесе Wordwall-да (<https://wordwall.net/>) және Kahoot (<https://kahoot.com/>).

Мысалы, ұсынылған тапсырманы (1-сурет) адам достарымен бірге не болмаса компьютер арқылы жүгіру жарысы ретінде ойнай алады. Ойын шарты бойынша сұрақтарға дұрыс жауап беретін пайдаланушы мәреге бірінші жетеді.



Сурет 1 – Ат жарысы

2-суретте тапсырманы орындау үшін қадамдар тізбегін енгізу ойыны көрсетілген.



Сурет 2 – Қадамдар тізбегі

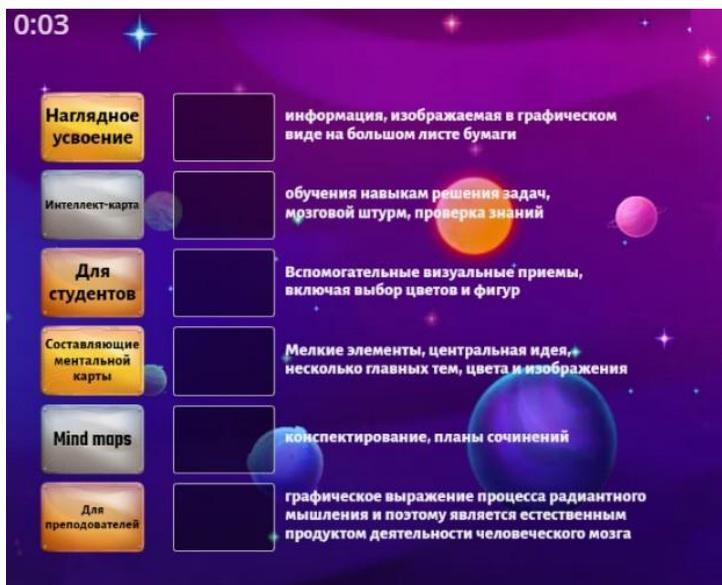
Көптеген онлайн қызметтердің көмегімен келесі сипаттағы интерактивті тапсырмалардың бүкіл жинағын жасауға болады: интерактивті дәрісті оқып, қойылған сұрақтарға жауап беру; тест, викторина сұрақтарына жауап беру (бір немесе көптеген дұрыс жауаптармен); уақыт лентасын құру және тағы басқалары.

Мысалы, 3-суретте ребусты шешу керек. Егер олар дұрыс жүргізілсе, олар оң жағында жасыл түспен жазылады. 4-суретте ментальдық карталарды салыстыру керек, яғни әр сөзді оның анықтамасына сүйреп апару керек. 5-суретте жартылай ғажайыптар ойыны көрсетілген, онда дұрыс әріпті басқан кезде жұмбақ сөздегі әріп ашылады.



- ПОМОГАЮТ**
_____ надолго усвоить
информацию
- _____ сложные идеи и
комплексные проекты
- РАЗВИВАЕТ**
_____ способность к
обучению и творчеству

Сурет 3 – Шешімді тексеріңіз



Сурет 4 – Ментальдық карталарға арналған тапсырма



Сурет 6 – «Ғажайыптар өрісі» тапсырмасы

Сондай-ақ, жұмыста тестілеу, білімді тексеру қарастырылған. Бұл б-суретте көрсетілген.



Сурет 7 – Тестілеу

Материалды берудің бұл форматы оқушылардың материалды қаншалықты жақсы меңгергенін бірден бақылауға және оны бекіту бойынша одан әрі жұмысты түзетуге мүмкіндік береді.

Білімді тексеру үшін тест тапсырмалары немесе пазл, викториналар және т. б. қолдануға болады.

Нәтижелер және талқылау

Интерактивті тапсырмалардың әр түрлі формалары оқушылардың ақыл-ой әрекетін белсендіруге және олардың назарын оқылатын материалға аударуға, сондай-ақ білім алушылардың жеке ерекшеліктері мен қажеттіліктеріне сәйкес оқу процесін даралауға; оқу іс-әрекетінің әртүрлі тәсілдерін ескере отырып, оқу материалын ұйымдастыруға; оқу материалын көрнекі қабылдауды күшейтуге және игеруді жеңілдетуге; білім алушылардың танымдық іс-әрекетін жандандыруға мүмкіндік беретіні сөзсіз. Осылайша, инновациялық технологияларды қолдана отырып, электрондық оқыту құралын әзірлеу оқыту процесінде интерактивті режимді барынша тиімді қамтамасыз етеді, әртүрлі оқу-танымдық зерттеу міндеттерін шешеді; көрнекі түрде ақпарат береді; тапсырмаларды орындау нәтижелерін бақылау және талдау жүргізуге мүмкіндік береді, одан бөлек оқу қарқыны мен тапсырмаларды орындауды дербес реттеу мүмкіндігін сыйлайды.

Қорытындылар

Білім беруде инновациялық тәсілдерді қолдану материалды тереңірек игеруге және білім алушылардың ынтасын арттыруға ықпал етеді, студенттердің жеке қажеттіліктерін ескере отырып, дербестендірілген білім беру траекторияларын құруға мүмкіндік береді, білім беру мүмкіндіктерін кеңейтеді, процесті интерактивті және қызықты етеді. Тұтастай алғанда, инновациялық тәсілдерге негізделген электрондық оқыту құралдарын әзірлеу оқыту сапасын жақсартып қана қоймай, білім беру процесін оңтайлы пайдалану үшін қосымша зерттеулер мен әзірлемелерді қажет ететін қуатты құрал болып табылады. Бұл – білім берудің болашағын қалыптастыратын, оны барлық оқушылар үшін қол жетімді, тиімді және жекелендіретін негізгі элемент.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

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 Геймификация учебного процесса в высшем учебном заведении: теория и методология. [Электронный ресурс]. – <https://cyberleninka.ru/>

[article/n/geymifikatsiya-uchebnogo-protssesa-v-vysshem-uchebnom-zavedenii-teoriya-i-metodologiya](#) [дата обращения 28.02.2023].

4 Геймификация как средство повышения эффективности онлайн-курсов. – [Электронный ресурс]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/geymifikatsiya-kak-sredstvo-povysheniya-effektivnosti-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 научно-практической 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 условиях внедрения технологий e-learning. [Текст] // Вестник Таганрогского государственного педагогического института. Физико-математические и естественные науки. Таганрог: Издво Таганрог. гос. пед. ин-та. – 2011. – № 1. – С. 116–122.

REFERENCES

1 **Krasilnikova, V. A.** Īspolzovanie 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.** Sovremennyye innovatsionno-informatsionnye tehnologii v obrazovatelnom protsesse [Modern innovative information technologies in the educational process] [Text] // NOVAINFO.RU. – 2015. – № 36(1). – P. 187–191.3 Joğary oqy ornyndağy oqy prosesin geimifikasialay: teoria jáne adisteme [Gamification of the educational process in higher education: theory and methodology]. – [Electronic resource]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/geymifikatsiya-uchebnogo-protssesa-v-vysshem-uchebnom-zavedenii-teoriya-i-metodologiya> [accessed 02/12/2023].

4 Geimifikatsiya kak sredstvo povыsheniya effektivnosti onlain-kursov [Gamification as a means of increasing the effectiveness of online courses].

– [Electronic resource]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/geymifikatsiya-kak-sredstvo-povыsheniya-effektivnosti-onlain-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 znanii [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 elektronnoho 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.

15.01.24 ж. баспаға түсті.

15.01.24 ж. түзетулерімен түсті.

23.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

Ж. Б. Исабеков, *Б. Б. Исабекова, Г. С. Балгабаева, А. Т. Әбенова

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Поступило в редакцию 15.01.24.

Поступило с исправлениями 15.01.24.

Принято в печать 23.06.2024.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ

Современное общество нацелено на осуществление «образования будущего». Этот термин мы можем трактовать как современный образовательный процесс в реально существующих условиях обучения и воспитания, а именно, как осуществление образовательного процесса в контексте технологизации образования. Технологизацию образовательного процесса, в свою очередь, можно рассматривать и как внедрение, и как применение различных инновационных проектов, а также методов, методик, подходов и средств. Различия между традиционной и инновационной системами образования заключаются, прежде всего, в целевой установке, которая реализуется посредством разных образовательных технологий. Необходимо не только выпустить специалиста, получившего подготовку высокого уровня, но и уже на стадии обучения подключить его к разработке новых технологий, адаптировать к условиям конкретной производственной среды, сделать его проводником новых решений.

Специалисты, которых готовит вуз, должны не только соответствовать самым последним требованиям различных сфер деятельности общества, но и быть готовыми к осуществлению прогресса во всех этих областях.

Постоянное развитие информационных технологий предлагает другие варианты их использования в учебном процессе, рассматриваемые в данной статье. Применение интерактивных упражнений, мобильных устройств, интерактивных онлайн-досок, сервисов для создания ментальных карт, микроблогинга, приложений на базе дополненной реальности позволяют реализовать инновационные подходы к процессу обучения. В данной статье представлен анализ приложений, позволяющих осуществить данные возможности, рассмотрены направления их применения в образовательном процессе и даны методические указания по их использованию в процессе обучения с целью повышения познавательной активности и интереса учащихся, а также эффективности процесса обучения в целом.

Ключевые слова: электронные учебники, инновационные подходы, средства обучения, образовательный процесс, технологизация образования.

Zh. B. Issabekov, *B. B. Issabekova, G. S. Balgabaeva, A. T. Abenova

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 15.03.24.

Received in revised form 15.01.24.

Accepted for publication 23.06.24.

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC LEARNING TOOLS USING INTERACTIVE METHODS

Modern society is aimed at implementing the «education of the future». We can interpret this term as a modern educational process in the actual conditions of education and upbringing, namely, as the implementation of the educational process in the context of the technologization of education. The technologization of the educational process, in turn, can be considered both as the introduction and as the application of various innovative projects, as well as methods, techniques, approaches and tools. The differences between traditional and innovative education systems are primarily in the target setting, which is implemented through different educational technologies. It is necessary not only to release a specialist who has received high-level training, but also at the training stage to connect him to the development of new technologies, adapt him to the conditions of a specific production environment, make him a conductor of new solutions.

The specialists who are trained by the university must not only meet the latest requirements of various fields of activity of the society, but also be ready to make progress in all these areas.

The constant development of information technologies offers other options for their use in the educational process, which are discussed in this article. The use of interactive exercises, mobile devices, interactive online whiteboards, services for creating mental maps, microblogging, and augmented reality-based applications make it possible to implement innovative approaches to the learning process. This article presents an analysis of applications that allow these opportunities to be realized, examines the directions of their application in the educational process and provides methodological guidelines for their use in the learning process in order to increase the cognitive activity and interest of students, as well as the effectiveness of the learning process as a whole.

Keywords: electronic textbooks, innovative approaches, learning tools, educational process, technologization of education.

С. В. Мельничук

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, г. Томск

*e-mail: osbereg@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0431-1554>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ТАНДЕМНЫХ СТЕНОЗОВ В БИФУРКАЦИЯХ КОРОНАРНЫХ СОСУДОВ

Для более комплексного анализа локальной гемодинамики коронарных сосудов в рамках представленного исследования, было предложено использование программных средств, таких как *Comsol Multiphysics*, *Blender*, и специализированного ПО для 3D-печати, например, *Slicer*. *Comsol Multiphysics* позволяет провести численный анализ и симуляции на основе уравнений Навье-Стокса и уравнения непрерывности для моделирования кровотока в стенозированных сосудах. Это программное обеспечение предоставляет возможности для детального анализа течений жидкостей и их взаимодействия различными биологическими структурами, что особенно важно при исследовании гемодинамики в условиях стенозов различного типа. *Blender* был использован для создания 3D-моделей коронарных артерий, которые затем могут быть импортированы в *Comsol Multiphysics* для проведения вычислительных экспериментов. *Blender* предоставляет широкий набор инструментов для моделирования и визуализации сложных биологических структур, что позволяет более точно и наглядно представить геометрию исследуемых сосудов.

Slicer — это программное обеспечение, которое позволяет создавать 3D-печатные модели на основе данных медицинских изображений, таких как КТ и МРТ. Оно было использовано для подготовки физической модели исследуемой сосудистой системы, что может быть полезно для дальнейшей валидации результатов численных экспериментов и для проведения хирургических симуляций.

Совместное использование этих программных продуктов позволяет проводить персонализированный анализ гемодинамической значимости стенозов в бифуркациях коронарных артерий и может помочь в принятии оптимальных врачебных решений при планировании лечения пациентов с атеросклеротическими поражениями.

Ключевые слова: вязкость крови, коронарный кровоток, физико-математическое моделирование, локальная гемодинамика, стенозы коронарных артерий, 3D-модель локальной гемодинамики.

Введение

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) – является наиболее распространенным кардиологическим заболеванием и основной причиной смертности в мире [1]. В настоящее время уровень летальности, масштабы инвалидизации и временной нетрудоспособности при ИБС в целом, и заболеваниях коронарных артерий в частности, представляют не только важную медицинскую, но и серьезную социально-экономическую проблему, так как, в первую очередь, речь идет о наиболее молодой, высококвалифицированной и творчески активной части населения. ИБС обусловлена атеросклерозом коронарных артерий (КА), который ограничивает кровоток к сердечной мышце и может привести к тяжелым последствиям, в частности к острому инфаркту миокарда и острой сердечной недостаточности. Гемодинамические факторы, такие как разделение и рециркуляция потока, низкое и колебательное напряжение сдвига стенки, играют важную роль в локализации и прогрессии атеросклероза с момента появления поражения и до разрыва атеросклеротической бляшки атеросклеротических бляшек. В коронарной ангиопластике наиболее сложными и частыми случаями являются поражения коронарных артерий в области бифуркаций. Лечение этого поражения связано с низкой процедурной эффективностью, высокой частотой осложнений и рестенозов [2; 3].

Одним из современных методов оценки ишемии миокарда является определение фракционного коронарного резерва (ФРК) по данным компьютерно-томографической коронарной ангиографии (КТКАГ) [4]. Данный метод демонстрирует высокую информативность и позволяет с высокой точностью идентифицировать гемодинамически значимые стенозы [4; 5]. К сожалению, в клинической практике данный метод используется недостаточно широко в связи с высокой стоимостью и тем фактом, что такой анализ КТКАГ проводит только фирма HeartFlow Inc [6]. В связи с этим разработана альтернативных решений для оценки ФРК, которые пригодны для широкого использования в целях своевременного выявления

значимых стенозов коронарных артерий по данным КТКАГ, является актуальной задачей. Возможности прямых измерений морфологических и гемодинамических параметров сосудов ограничены, в то время как математическое моделирование коронарного кровотока на основе доступных экспериментальных данных позволяет обеспечить детальную информацию о состоянии сосудов. Успех численного эксперимента зависит от соответствия математической и вычислительной модели реальным физическим процессам, протекающим в системе кровообращения человека. Численное моделирование кровотока в нормальных физиологических условиях является чрезвычайно трудной задачей ввиду сложной анатомии коронарных сосудов, гибкости артериальной стенки, пульсирующего потока, переменного сосудистого сопротивления и неньютоновских свойств крови. В общем случае гемодинамические процессы описываются трехмерными нестационарными уравнениями Навье-Стокса совместно с уравнениями динамики эластичных оболочек сосудов с учетом пространственной геометрии сосудов, физических свойств крови и вариации сердечной нагрузки [7; 8; 9; 10]. Решение таких многопараметрических задач связано с огромными вычислительными затратами, что требует применения высокопроизводительных систем и решения проблем, связанных с минимизацией ошибок метода вычисления [11; 12]. Поэтому наилучшее в практическом отношении качество или эффективность любой модели достигается как оптимальный компромисс между тождественностью модели к оригиналу и простотой, обеспечивающей необходимую точность и возможность ее использования по прямому назначению.

Такого рода упрощенные модели позволяют получать достаточно качественные характеристики кровотока в артериальной системе и являются важным инструментом исследования и диагностики сердечно-сосудистой системы человека [13; 14]. Актуальность такого рода моделей особенно проявляется при наличии пограничных тандемных стенозов коронарных артерий, когда необходимо принять решение об реваскуляризации [15]. В этих случаях моделирование коронарного кровотока на стенозированных участках коронарного сосуда является эффективным методом неинвазивной экспресс-диагностики. Частыми случаями атеросклеротических поражений коронарных сосудов являются стенозы бифуркационной локализации, наиболее подверженные гемодинамической нагрузке [16; 17; 18]. В бифуркационных областях коронарного сосуда возникает нарушение ламинарного кровотока, в результате чего возникает существенное изменение пристеночного напряжения сдвига (ПНС). Низкое ПНС обычно возникает на внутренних областях изгибов и проксимальнее сужений артерий колебательное ПНС характеризуется значительными изменениями как направления, так и средней величины в течение сердечного цикла.

Колебательное ПНС отмечается, в основном, дистальнее сужений и на латеральных стенках ветвей в бифуркации [17].

Особые затруднения в оценке гемодинамической значимости бифуркационных нарушений вносит наличие в этой области тандемных стенозов. Под тандемным стенозом понимается наличие двух поражений, разделенных между собой участком неискаженной артерии. В таких случаях при расчете ФРК необходимо учитывать влияние соседнего стеноза на коронарный кровоток [15; 16].

В работе [18] нами предложен метод локальной гемодинамики для экспресс-оценки коронарного кровотока на стенозированных линейных участках артерии с учетом влияния вязкости крови на основе 2D-геометрической модели сосудистого русла. В настоящей работе представлено применение данного метода для вычисления коронарного кровотока и определения гемодинамической значимости тандемных и бифуркационных стенозов.

Материалы и методы

Описание математической модели локальной гемодинамики.

На рис. 1 представлена схема коронарного сосуда с атеросклеротическим поражением в бифуркационной области.

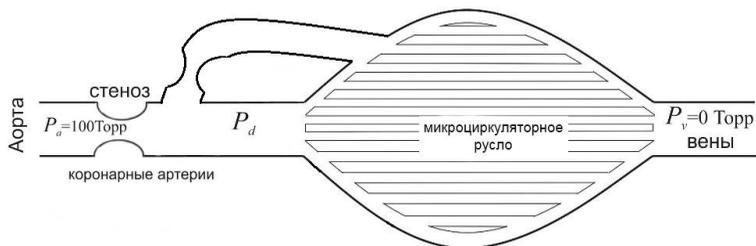


Рисунок 1 – Схема коронарного кровотока в бифуркационной области в представлении сосредоточенных параметров: (1) – магистральный сосуд; (2) – боковая ветвь; P_a – среднее давление в аорте, P_d – давление за стенозом, P_v – давление при переходе микроциркуляторного русла в вены.

Для проведения расчетов коронарного кровотока и экспресс-оценки ФРК использовалась трехмерная (3D) -модель локальной гемодинамики с сосредоточенными параметрами, в основу которой, аналогично работе [18], положены следующие упрощающие положения:

рассматривается схема коронарного кровотока на разных уровнях сосудистой сети: артерия – микроциркуляторное русло, вена – в виде сосредоточенных элементов. Эластичности стенок артерии и гидродинамического сопротивления микроциркуляторного русла, подобно

электрической цепи;

учет геометрии сосуда – выбранной области артерии со стенозом, определенной на основании данных МСКТ-коронарографии;

задание физических свойств крови как изотропной, несжимаемой и однородной ньютоновской жидкости с постоянной плотностью $\rho = 1056 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ и коэффициентом вязкости $\eta = 4.5 \text{ мПа}\cdot\text{с}$;

рассмотрение стационарного ламинарного кровотока в артерии с недеформируемыми стенками, зависящего от разности средних давлений, определенных во время систолы и диастолы.

Математическая модель коронарного потока основана на уравнении Навье – Стокса и уравнении непрерывности в стационарном приближении, представляющими собой систему дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных для вязкой несжимаемой жидкости, которые в декартовой системе координат имеют вид [16]

где ν – кинематическая вязкость.

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \Delta u_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \Delta u_y \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \Delta u_z \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{u} = 0 \quad (4)$$

Уравнения (1)-(4) использовались для моделирования скорости кровотока при различной геометрии коронарных сосудов.

Граничными условиями на стенках сосуда являются: условие прилипания жидкости к стенкам сосуда $\vec{u}_{r \in L} = \vec{0}$ и условие не протекания $\frac{\partial \rho}{\partial \vec{n}} = 0$, где L – поверхность коронарной артерии, \vec{n} – нормаль к стенке сосуда

(граничные условия Дирихле и Неймана [19]). Скорость кровотока на левой границе сосуда определялась из величины давления на выходе из аорты. На правой границе сосуда скорость кровотока определялась подбором величины гидродинамического сопротивления микроциркуляторного русла.

Для задания правой границы, с учетом наличия микроциркуляторного русла, использовалось измеренное значение скорости кровотока на выходе из аорты в нисходящей левой коронарной артерии 0,4 м/с [15]. При

измерении FFR инвазивным методом (датчик давления), изменяют скорость кровотока, используя сосудорасширяющие препараты, увеличивающие ее значение в примерно четыре раза [16]. Поэтому для определенной разности давлений на левой и правой границах гидродинамическое сопротивление микроциркуляторного русла подбиралось таким образом, чтобы смоделировать условия максимальной гиперемии (скорость кровотока на левой границе была равна 1.6 м/с.). Для апробации метода локальной гемодинамики проводилось моделирование нескольких случаев бифуркационного тандемного стеноза сферической формы. Согласно схеме, на рисунке 1, среднее давление на выходе из аорты принималось за 100 Торр, а со стороны капиллярной системы – 0 Торр.

Результаты и обсуждение

Численное моделирование кровотока в коронарных артериях проводилось методом конечных элементов. Расчеты проводились для левой коронарной артерии, геометрия которой была получена на основании снимков мультиспектральной компьютерной томографии. На рисунке 2 представлено рассчитанное распределение давления и скорости кровотока в русле левой коронарной артерии в отсутствии стеноза. На этом этапе моделирования, при заданных давлениях на границах, проводился подбор гидродинамического сопротивления микроциркуляторного русла, для согласования заданной скорости кровотока на выходе из аорты при условии максимальной гиперемии.

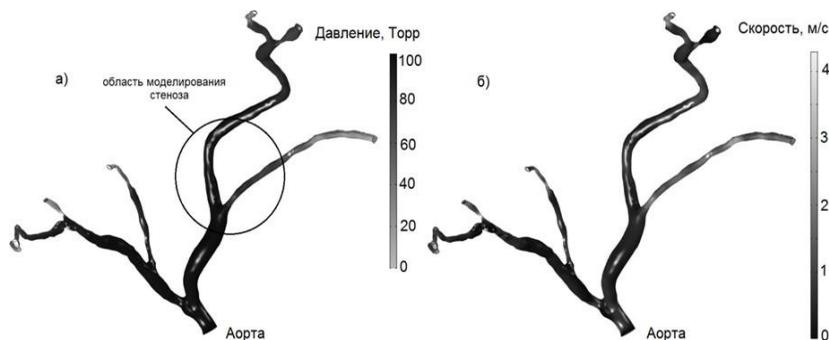


Рисунок 2 – Распределение давления (а) и скорости кровотока (б) в русле левой коронарной артерии без стеноза

Для анализа взаимного влияния стенозов и расчета ФРК (отношение давления после стеноза к давлению до стеноза) нами моделировался односторонний стеноз двух видов сферической формы, согласно классификации Medina [20]. Для этого сфера заданного диаметра погружалась

на глубину ее радиуса в коронарную артерию и область их взаимного пересечения исключалась из численных расчётов. Стенозы размещались в бифуркационной области на латеральных стенках артерии, где существует повышенная вероятность их возникновения.

На рисунке 3 представлено рассчитанное распределение давления на стенозированном участке коронарной артерии для двух стенозов различной гемодинамической значимости. В случае (а) просвет коронарной артерии в месте стеноза больше чем случае (б), поэтому ФРК в случае (а) больше, чем в случае (б). Наличие бифуркации на данном участке приводит к перераспределению потока крови. Скорость кровотока на оси боковой ветви увеличивается от 2.3 м/с (а), до значения 2.4 м/с (б).

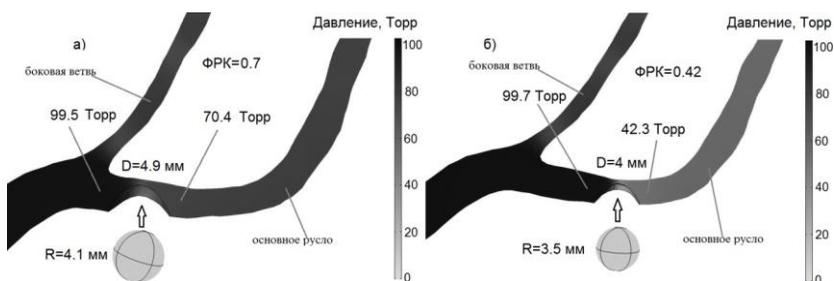


Рисунок 3 – Распределение давления на стенозированном бифуркационном участке левой коронарной артерии:

R – радиус сферы, моделирующей геометрию стеноза,

D – диаметр коронарной артерии в месте стеноза

На рисунке 4 представлены результаты расчета распределения давления на участке русла коронарной артерии в случае множественного последовательного (а) и параллельного (б) стенозов для двух значений вязкости крови: 4 мПа·с и 10 мПа·с. В случае параллельного стеноза для расчета ФРК требуется проводить вычисление динамических характеристик кровотока боковых ветвей.

Значения давления для вязкости 10 мПа·с на этом рисунке показаны в круглых скобках. Расчеты показывают, что совокупный ФРК в случае последовательного стеноза всегда меньше, чем в отдельных случаях, причем ФРК1 первого от карины стеноза возрастает от 0.7 (рис. 3а) до 0.83 (рис. 4а). ФРК2 второго после карины стеноза на рисунке 4а возрастает от 0.42 (рис. 3б) до 0.46 (рис. 4б). В случае рис. 4(б) ФРК2 в основном русле возрастает от 0.7 (рис. 3а) до 0.71 (рис. 4б) за счет уменьшения средней скорости кровотока в ответвлении. Как видно из рис. 4, при увеличении вязкости крови

от 4 мПа*с до 10 мПа*с, ФРК при последовательном стенозе и ФРК1, ФРК2 при параллельном стенозе – значительно убывают. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными и результатами более сложных моделей [19; 20] показывает, представленный нами метод локальной гемодинамики дает хорошее согласие с результатами других работ.

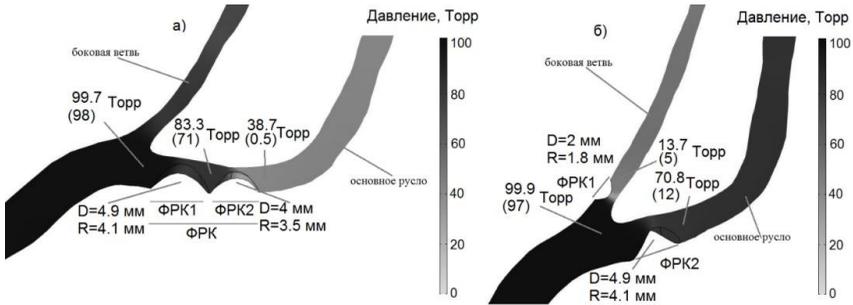


Рисунок 4 – Распределение давления на участке русла коронарной артерии в случае множественного последовательного (а) и параллельного (б) стенозов для двух вязкостей крови: 0.004 Па*с и 0.01 Па*с (значения указаны в скобках)

Выводы

Для определения коронарного кровотока в области бифуркаций использована 3D-геометрическая модель артерии. Исходными данными для применения данной модели являются: геометрические параметры участка артерии, определяемые из КТ снимков, измеренные значения скорости кровотока и давления на границе микроциркулярного русла. Проведение расчетов данным методом не требует специализированного программного обеспечения, а осуществляется с помощью стандартных математических пакетов на обычном персональном компьютере в течение 10 минут. Проведенный вычислительный эксперимент показал, что результаты расчетов ФРК, основанные на локальной физико-математической модели кровотока в коронарных артериях хорошо согласуются с экспериментальными результатами результатами более сложных моделей. Представленный в данной работе метод расчета ФРК позволяет оперативно провести персонифицированную оценку значимости стеноза для принятия врачебного решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Timmis A., Townsend N., Gale C. P., Torbica A., Lettino M.** European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics, European Heart Journal. – 2019. – Vol. 41. – P. 12–85.

2 **Кoo B.-K., Kang H.-J., Youn T.-J.** Physiologic assessment of jailed side branch lesions using fractional flow reserve, J. Amer. Coll. Cardiol. – 2010. – Vol. – 46(4). P. 633–7.

3 **Хелимский Д. А., Бадоян А. Г., Эралиев Т. К., и др.** Российский кардиологический журнал. – 2020. – Т. 25. (5). – С. 106–113.

4 **Мочула А. В., Мальцева А. Н., Шипулин В. В. и др.** Российский кардиологический журнал. – 2020. – Т. 25(2). – С. 74–80.

5 **Doukas D., Allen S., Wozniak A.** Relationship of Stress Test Findings to Anatomic or Functional Extent of Coronary Artery Disease Assessed by Coronary Computed Tomography Angiography-Derived Fractional Flow Reserve, Biomed. Res. Int. – 2021. – № 6674144.

6 **Ambrosy A. P., Fonarow G. C., Butler J.** The global health and economic burden of hospitalizations for heart failure: lessons learned from hospitalized heart failure registries, J. Amer. Coll. Cardiol. – 2014. – Vol. 63(12). – P. 1123–1133.

7 **Malota Z. Glowacki J., Sadowski W., Kostur M.** Numerical analysis of the impact of flow rate, heart rate, vessel geometry, and degree of stenosis on coronary hemodynamic indices, BMC Cardiovascular Disorders. – 2018. – Vol. 18. – P. 132.

8 **Kim H. J., Vignon-Clementel I. E., Coogan J. S.** Patient-specific modeling of blood flow and pressure in human coronary arteries, Ann Biomed. Eng. – 2010. Vol. 38(10). – P. 3195–209.

9 **Бирюков А. Г., Гриневич А.** Математическое моделирование и информатика, Труды МФТИ. – 2013. – Том 5(2). – С. 160–174.

10 **Астраханцева Е. В., Гидаспов В. Ю., Ревизников Д. Л.** Математическое моделирование. – 2010. – Т.17(8). – С. 61–80.

11 **Симаков С.** Компьютерные исследования и моделирование. – 2018. – Т.10(5). – С. 581–604.

12 **Formaggia L., Nobile F., Quarteroni A., Veneziani A.** Multiscale modelling of the circulatory system: a preliminary analysis, Corpus. – ID: 18635412.

13 **Муса, Е. У., Испулов, Н. А., Досумбеков, К. Р., Жумабеков, А. Ж.** Анизотропты орталарда термосерпімді толқындардың таралуы туралы // Вестник ТоУ. Серия: Физ.-мат. и комп. наук. – 2022. – Выпуск : 1. – С. 58–67.

14 **Figuroa C.A., Vignon-Clementel I. E., Jancen K. C.** A coupled momentum method for modeling blood flow in three-dimensional deformable arteries, *Comput. Methods Appl. Mech. Energ.* – 2009. – Vol. 195. – P. 5685–706.

15 **Pim A. L. Tonino, Bernard De Bruyne.** Fractional Flow Reserve versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention, *The New England Journal of Medicine.* – 2009. – Vol. 36(3).

16 **Nakanishi R, Matsumoto S, Alani A, Li D, Kitslaar P. H., Broersen A., et al.** Diagnostic performance of transluminal attenuation gradient and fractional flow reserve by coronary computed tomographic angiography (FFR(CT)) compared to invasive FFR: a sub-group analysis from the Discover-Flow and DeFacto studies, *Int. J. Cardiovasc Imaging.* – 2015. – Vol. 31(6). P. 1251–9.

17 **Демкин В. П., Мельничук С. В., Завадовский К. В., Хоряк М. Н., Руденко В. В., Суюндукова А. Т., Кукарцева Д. Н., Цибулина А. О., Удуд В. В.** Известия высших учебных заведений, Физика. – 2021. – Т. 64(12). – С. 172–178.

18 **Vignon-Clementel I. E., Figuroa A. C., Kenneth E. J., Charles A. T.** Outflow boundary conditions for three-dimensional finite element modeling of blood flow and pressure in arteries. – 2009. – Vol. 195(29–32). – P. – 3776–3796.

19 **Park S.-J., Ahn J.-M., Nico Pijls H.J., Bruyne De B.** Validation of Functional State of Coronary Tandem Lesions Using Computational Flow Dynamics. – 2012. – Vol. 110(11). – P. 1578–1584.

20 **Blagojević M., Nikolić A., Živković M., Živković M., Stanković G., Pavlović A.** Role of oscillatory shear index in predicting the occurrence and development of plaque, *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics.* – 2012. – Vol. 7(2). – P. 29–37.

REFERENCES

1 **Timmis A., Townsend N., Gale C.P., Torbica A., Lettino M.** European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics, *European Heart Journal.* – 2019. – Vol. 41. – P. 12–85.

2 **Koo B.-K., Kang H.-J., Youn T.-J.** Physiologic assessment of jailed side branch lesions using fractional flow reserve, *J. Amer. Coll. Cardiol.* – 2010. – Vol. 46(4). P. 633–7.

3 **Xelimskij D. A, Badoyan A. G., E`raliev T. K., i dr.** Rossijskij kardiologičeskij zhurnal. [Russian Journal of Cardiology]. – 2020. – Т. 25. (5). – P. 106–113.

4 **Mochula A. V., Mal`ceva A. N., Shipulin V. V. i dr.** Rossijskij kardiologičeskij zhurnal. [Russian Journal of Cardiology]. – 2020. – Т. 25(2). – P. 74–80.

5 **Doukas D., Allen S., Wozniak A.** Relationship of Stress Test Findings to Anatomic or Functional Extent of Coronary Artery Disease Assessed by Coronary Computed Tomography Angiography-Derived Fractional Flow Reserve, *Biomed. Res. Int.* – 2021. – № 6674144.

6 **Ambrosy A. P., Fonarow G. C., Butler J.** The global health and economic burden of hospitalizations for heart failure: lessons learned from hospitalized heart failure registries, *J. Amer. Coll. Cardiol.* – 2014. – Vol. 63(12). – P. 1123–1133.

7 **Malota Z., Glowacki J., Sadowski W., Kostur M.** Numerical analysis of the impact of flow rate, heart rate, vessel geometry, and degree of stenosis on coronary hemodynamic indices, *BMC Cardiovascular Disorders.* – 2018. – Vol. 18. – P. 132.

8 **Kim H. J., Vignon-Clementel I. E., Coogan J. S.** Patient-specific modeling of blood flow and pressure in human coronary arteries, *Ann Biomed. Eng.* – 2010. Vol. 38(10). – P. 3195–209.

9 **Biryukov A. G., Grinevich A.** Matematicheskoe modelirovanie i informatika, *Trudy MFTI. [Mathematical modeling and Computer Science, Proceedings of the MPhTI].* – 2013. – T. 5(2). – P. 160–174.

10 **Astraxanceva E. V., Gidasov V. Yu., Reviznikov D. L.** Matematicheskoe modelirovanie. [Mathematical modeling]. – 2010. – T.17(8). – P. 61–80.

11 **Simakov S.** Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie. [Computer research and modeling]. – 2018. – T.10(5). – P. 581–604.

12 **Formaggia L., Nobile F., Quarteroni A., Veneziani A.** Multiscale modelling of the circulatory system: a preliminary analysis, *Corpus.* – ID: 18635412

13 **Musa, E. U., Ispulov, N. A., Dosumbekov, K. R., Zhumabekov, A. Zh.** Anizotroptı ortalarda termoserpimdi tolqu ndardy ң taralu turalı [On the propagation of thermosuppressive waves in anisotropic media. *Vestnik Tou. Series:fiz.-matt. and comp. nauk.*] – 2022. – Vy`pusk:1. P. 58–67.

14 **Figueroa C. A., Vignon-Clementel I. E., Jancen K. C.** A coupled momentum method for modeling blood flow in three-dimensional deformable arteries, *Comput. Methods Appl. Mech. Energ.* – 2009. Vol. 195. P. 5685–706.

15 **Pim A. L., Tonino, Bernard De Bruyne.** Fractional Flow Reserve versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention, *The New England Journal of Medicine.* – 2009. Vol. 36(3).

16 **Nakanishi R, Matsumoto S, Alani A, Li D, Kitslaar P. H., Broersen A., et al.** Diagnostic performance of transluminal attenuation gradient and fractional flow reserve by coronary computed tomographic angiography (FFR(CT)) compared to invasive FFR: a sub-group analysis from the Discover-Flow and DeFacto studies, *Int. J. Cardiovasc Imaging.* – 2015. Vol. 31(6). – P. 1251–9.

17 Demkin V. P., Mel' nichuk S. V., Zavadovskij K. V., Xoryak M. N., Rudenko V. V., Suyundukova A. T., Kukarceva D. N., Cibulina A. O., Udut V. V. Izvestiya vy' sshix uchebny`x zavedenij. Fizika, [News of higher educational institutions. Physics]. – 2021. – Т. 64(12). – P. 172–178.

18 Vignon-Clementel I. E., Figueroa A. C., Kenneth E. J., Charles A. T. Outflow boundary conditions for three-dimensional finite element modeling of blood flow and pressure in arteries. – 2009. – Vol. 195(29–32). – P. – 3776–3796.

19 Park S.-J., Ahn J.-M., Nico Pijls H.J., Bruyne De B. Validation of Functional State of Coronary Tandem Lesions Using Computational Flow Dynamics. – 2012. – Vol. 110(11). – P. 1578–1584.

20 Blagojević M., Nikolić A., Živković M., Živković M., Stanković G., Pavlović A. Role of oscillatory shear index in predicting the occurrence and development of plaque, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics. – 2012. – Vol. 7(2). – P. 29–37.

Поступило в редакцию 10.09.24.

Поступило с исправлениями 10.09.24.

Принято в печать 20.09.2024.

***С. В. Мельничук**

Томбы мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті,

Ресей Федерациясы, Томбы қ.

10.09.24 ж. баспаға түсті.

10.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

20.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**КОРОНАРЛЫҚ ТАМЫРЛАРДЫҢ БИФУРКАЦИЯСЫНДАҒЫ
ТАНДЕМДІК СТЕНОЗДАРДЫҢ ГЕМОДИНАМИКАЛЫҚ
МАҢЫЗДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУДЫ МОДЕЛЬДЕУ**

Ұсынылған зерттеу аясында коронарлық тамырлардың жергілікті гемодинамикасын жан-жақты талдау үшін Comsol Multiphysics, Blender сияқты бағдарламалық жасақтаманы және Slicer сияқты 3D басып шығаруға арналған мамандандырылған бағдарламалық жасақтаманы қолдану ұсынылды. Comsol Multiphysics стеноздалған тамырлардағы қан ағымын модельдеу үшін Навье-Стокс теңдеулері мен үздіксіздік теңдеулеріненегізделген сандық талдау мен модельдеуге мүмкіндік береді. Бұл бағдарламалық жасақтама сұйықтық ағындарын және олардың әртүрлі биологиялық құрылымдармен өзара әрекеттесуін егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік береді, бұл әр түрлі стеноз жағдайында гемодинамиканы зерттеу кезінде өте маңызды. Blender коронарлық артериялардың 3D

модельдерін жасау үшін пайдаланылды, содан кейін оларды есептеу эксперименттерін жүргізу үшін Comsol Multiphysics-ке импорттауға болады. Blender күрелі биологиялық құрылымдарды модельдеу және визуализациялау құралдарының кең жиынтығын ұсынады, бұл зерттелетін тамырлардың геометриясын дәлірек және көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Slicer-KT және MPT сияқты медициналық кескін деректері негізінде 3D басып шығарылған үлгілерді жасауға мүмкіндік беретін бағдарламалық құрал. Ол зерттелетін тамыр жүйесінің физикалық моделін дайындау үшін пайдаланылды, бұл сандық эксперименттердің нәтижелерін одан әрі тексеру және хирургиялық модельдеу үшін пайдалы болуы мүмкін.

Осы бағдарламалық өнімдерді ортақ пайдалану коронарлық артерия бифуркациясындағы стеноздардың гемодинамикалық маңыздылығын жеке талдауға мүмкіндік береді және атеросклеротикалық зақымданулары бар науқастарды емдеуді жоспарлау кезінде оңтайлы медициналық шешімдер қабылдауға көмектеседі.

Кілтті сөздер: қанның тұтқырлығы, Коронарлық қан ағымы, физика-математикалық модельдеу, жергілікті гемодинамика, коронарлық артерия стеноздары, жергілікті гемодинамиканың 3D моделі.

***S. V. Melnichuk**

National Research Tomsk State University, Russian Federation, Tomsk

Received 10.09.24.

Received in revised form 10.09.24.

Accepted for publication 20.09.24.

MODELING THE ASSESSMENT OF THE HEMODYNAMIC SIGNIFICANCE OF TANDEM STENOSES IN BIFURCATIONS OF CORONARY VESSELS

For a more comprehensive analysis of the local hemodynamics of coronary vessels within the framework of the presented study, it was proposed to use software tools such as Comsol Multiphysics, Blender, and specialized 3D printing software, for example, Slicer. Comsol Multiphysics allows numerical analysis and simulations based on the Navier-Stokes equations and the continuity equation to simulate blood flow in stenosed vessels. This software provides opportunities for detailed analysis of fluid flows and their interaction with various biological structures, which is especially important in the study of hemodynamics in conditions of various types of stenosis. Blender was used to create 3D models of coronary arteries, which can then be imported into Comsol Multiphysics for computational experiments. Blender provides a wide range of tools for modeling and visualizing complex biological structures, which allows you to more accurately and visually represent the geometry of the vessels under study. Slicer is a software that allows you to create 3D printed models based on medical image data such as CT and MRI. It was used to prepare a physical model of the vascular system under study, which can be useful for further validation of the results of numerical experiments and for conducting surgical simulations.

The combined use of these software products allows for a personalized analysis of the hemodynamic significance of stenoses in coronary artery bifurcations and can help in making optimal medical decisions when planning treatment of patients with atherosclerotic lesions.

Keywords: blood viscosity, coronary blood flow, physical and mathematical modeling, local hemodynamics, coronary artery stenosis, 3D model of local hemodynamics.

***А. О. Потапенко¹, А. А. Сембенова², А. О. Юсупова³**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: asel.icq@gmail.com

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9523-5333>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7473-9365>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕБ-СТРАНИЦ

Цифровая трансформация различных сфер общества, таких как правительство, розничная торговля, путешествия, финансы и банковское дело, привела к тому, что как клиентские, так и внутренние услуги предоставляются с использованием веб-страниц и доступны на различных устройствах, от настольных компьютеров до мобильных устройств. Производительность веб-страниц является важным фактором, поскольку является основной точкой взаимодействия для пользователей, пользующихся цифровыми услугами. Некоторые исследования связывают производительность веб-страниц с пользовательским опытом, который, в свою очередь, оказывает прямое влияние на конверсию, прибыль и ценность бренда организации. Результаты оценки производительности используются для оптимизации веб-страниц, что напрямую влияет на удовлетворенность пользователей и достижение бизнес-целей. В отличие от традиционных методов, которые требуют завершения разработки для оценки производительности, внедрение методов машинного обучения в процесс разработки сайтов может быть использована для прогнозирования производительности веб-страниц на начальных этапах реализации проекта. В статье предлагается использование разнообразных методов машинного обучения, основанных на структурных показателях страницы, для учета возможных внешних факторов при прогнозировании времени загрузки. Таким образом быстро и качественно работающая веб-страница на сегодняшний день, является одним из показателей успеха того или иного бренда, а процесс оценки производительности веб-страниц с использованием современных методов машинного

обучения может стать одним из основополагающих вопросов их разработки.

Ключевые слова: производительность, веб-страницы, машинное обучение, прогнозирование, время загрузки.

Введение

В настоящее время организации постоянно измеряют эффективность критически важных для бизнеса пользовательских циклов, используя сочетание синтетических и реальных подходов к мониторингу пользователей. Синтетический мониторинг запускает записанные сценарии в браузере через заданные интервалы времени, чтобы имитировать взаимодействие пользователя с приложением. Мониторинг опыта реальных пользователей или конечных пользователей измеряет эффективность просмотра страниц путем сбора данных, связанных с реальными действиями пользователей, с помощью JavaScript (JS), внедренного в веб-страницы во время выполнения или вручную разработчиком. Для веб-приложений время загрузки страницы является полезным показателем ее производительности, который можно прогнозировать на ранних этапах, поскольку оно учитывает все события, происходящие в процессе загрузки. Время загрузки страницы широко изучалось в исследованиях [1–4], измеренных и зарегистрированных с помощью различных инструментов мониторинга и доступных в общедоступных наборах данных [5–7]. Это время, необходимое для загрузки и обработки всех ресурсов страницы, таких как HTML, JS, каскадные таблицы стилей (CSS) и изображений. На время загрузки влияют как внешние, так и внутренние факторы. Внешние факторы — это характеристики, которые не находятся под контролем разработчика (например, задержка, пропускная способность, мощность сервера). Напротив, внутренние факторы — это характеристики, которые находятся под контролем разработчика и больше связаны с формой и структурой страницы (например, размер, количество ресурсов, сторонний контент). Исследование машинного обучения Google выявило сильную корреляцию между временем загрузки страницы и показателем отказов. На протяжении многих лет Google использовал ряд инструментов для измерения и составления отчетов о производительности.

Материалы и методы

Исследователи и практики сходятся во мнении, что большинство проблем с производительностью программных систем возникают из-за архитектурного выбора, сделанного на ранних стадиях жизненного цикла разработки. Соображения производительности и использование моделей прогнозирования должны быть неотъемлемой частью жизненного цикла разработки программного обеспечения, особенно на ранних этапах. Практики принимают проектные или архитектурные решения, основываясь

на интуиции, опыте и ограниченных исходных данных. Коммерческие проекты программного обеспечения редко имеют время или ресурсы для использования методов моделирования производительности. В эпоху цифровой трансформации все большее число организаций внедряют гибкие методы разработки программного обеспечения. Гибкая разработка программного обеспечения способствует непрерывной итерации разработки и тестирования на протяжении всего жизненного цикла разработки программного обеспечения. Agile включает в себя короткие циклы выпуска продуктов, которые поддерживаются автоматизированными сборками кода, тестированием и продвижением в различных средах, таких как промежуточная или производственная среда (непрерывная интеграция и непрерывное развертывание или CI/CD).

Измерение производительности веб-страниц осуществляют во время проведения нагрузочного тестирования и технического аудита сайтов. Данные действия анализируют работоспособность веб-ресурсов, могут имитировать нагрузку в «боевых» условиях, создаваемых реальными пользователями, помогают предотвратить ошибки и рассчитать запас прочности сервера. Ошибки, выявляемые при техническом аудите, отрицательно влияют на индексацию в поисковых системах, что делает проведение данных мероприятий обязательными при создании и сопровождении информационных систем.

Хотя работы, подчеркивающие необходимость раннего прогнозирования производительности на основе моделей, больше сосредоточены на архитектуре систем, а не на веб-страницах, эта идея в равной степени актуальна и для веб-страниц. В гибком сценарии определение времени загрузки страницы в программных системах корпоративного уровня только путем фактических измерений создает несколько проблем. Сначала для модульного тестирования разработчики развертывают сборку, содержащую страницу, в локальном контейнере (например, Tomcat). Время загрузки страницы, измеренное при таких настройках, может быть нереалистичным, так как обычно тестовое окружение значительно отличается от рабочего (production). В условиях современного бизнеса не представляется возможным проводить тесты производительности в рабочем окружении, так как возникает риск полного отказа в обслуживании клиентов сервером. Поэтому, чтобы получить реалистичное время загрузки, сборку необходимо развернуть в среде с вычислительными ресурсами, подобными производственным, с последующим модульным тестированием или тестированием производительности. В реальном мире такие среды обычно являются уменьшенными в масштабе и не представляют собой архитектурно репрезентативную версию целевой системы из соображений стоимости; тестирование в такой среде может все еще не выявить проблемы с

производительностью. Во-вторых, подготовка среды и запуск тестов требуют значительного времени и усилий, что делает невозможным выполнение каждой сборки. В результате дефекты производительности обнаруживаются очень поздно в жизненном цикле разработки, и для их исправления требуются значительные усилия и затраты. В таких ситуациях использование модели для прогнозирования времени загрузки с разумной точностью может помочь сэкономить время, усилия и затраты, необходимые для проведения фактического тестирования. Модель может помочь архитекторам и проектировщикам на этапах архитектуры и проектирования для снижения рисков производительности путем оценки альтернатив дизайна, влияния изменений и принятия логических решений. Разработчикам не нужно откладывать решение проблемы производительности до тех пор, пока их страница не будет развернута и запущена.

Результаты и обсуждение

Поскольку веб-страницы становятся все более сложными, между показателями могут существовать скрытые взаимосвязи, которые эксперт в данной области также не сможет визуализировать. Метрики, связанные с внешними факторами, не находятся под контролем разработчиков, и их трудно определить на ранних этапах. Инструменты измерения полезны только на более поздних стадиях разработки, поскольку они требуют, чтобы страницы были полностью разработаны и функционировали. Простые статические сайты не требуют значительных вычислительных ресурсов и загружаются очень быстро, однако в наши дни активно разрабатываются веб-приложения в виде SPA (англ. single page application – одностраничное приложение), в которых клиентская часть запрашивает множество ресурсов с серверной части приложения, что может стать узким местом в отзывчивости сайта.

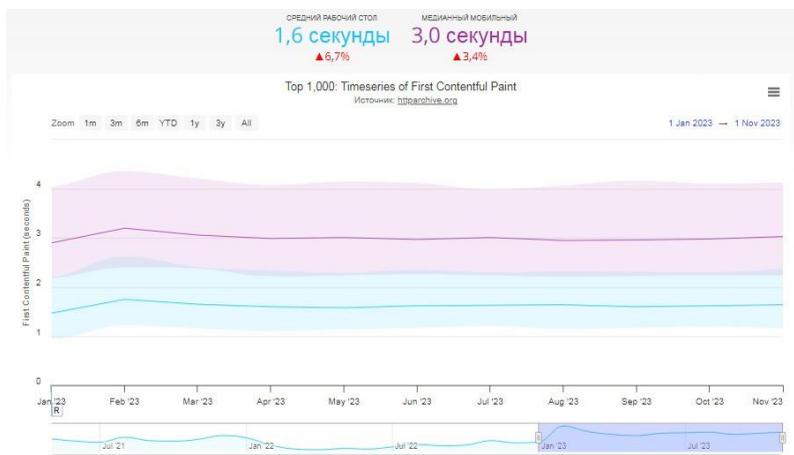
На этапе проектирования было обнаружено, что реальная домашняя страница случайно выбранного веб-приложения имеет общий размер 471 931 байт и состоит из шести файлов JS, двух файлов CSS и 43 изображений размером 59 139 байт, 4634 байт и 382 989 байт соответственно. Веб-страница развертывается в одном домене и не использует сеть доставки контента. В SLO для домашней страницы указано, что 90 % просмотров страниц загружаются в браузере менее чем за 5 секунд. Время загрузки чаще всего измеряется с помощью синтетического инструмента мониторинга, который воспроизводит заранее записанный сценарий открытия домашней страницы с помощью веб-браузера. Инструмент может воспроизводить сценарий определенное количество раз в час по каналу со скоростью 5 Мбит/с с пустым кэшем браузера. Подобная оценка производительности сайтов представлена на HTTP Archive – базы данных с информацией о веб-производительности, широко используемой для проведения исследований [6].

HTTP Archive – проект, являющийся своеобразным «архивом интернета», однако содержит информацию не о контенте, а статистические данные по технической стороне сайтов. Для анализа данных в рамках проекта сканируются миллионы URL во всей всемирной паутине, используется различные метрики производительности:

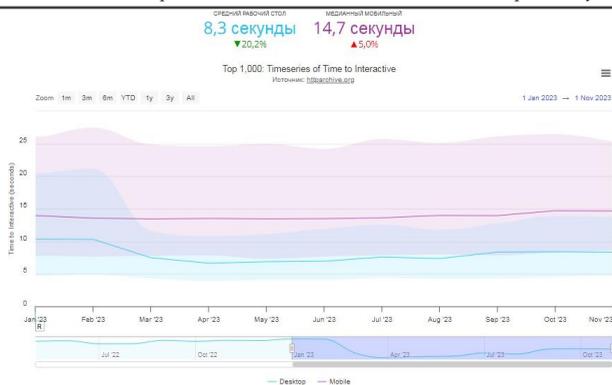
- FCP (англ. First Contentful Paint) – время от первого перехода на страницу до момента отрисовки первого элемента содержимого страницы;
- TTI (англ. Time To Interactive) – требуемое время интерактивности страницы;
- DOMContentLoaded – событие, наступающее после анализа HTML, загрузки и выполнения скриптов, предшествует загрузке изображений и асинхронных скриптов;
- onLoad – время окончания загрузки ресурсов и подресурсов.

Предоставляемые сайтом данные:

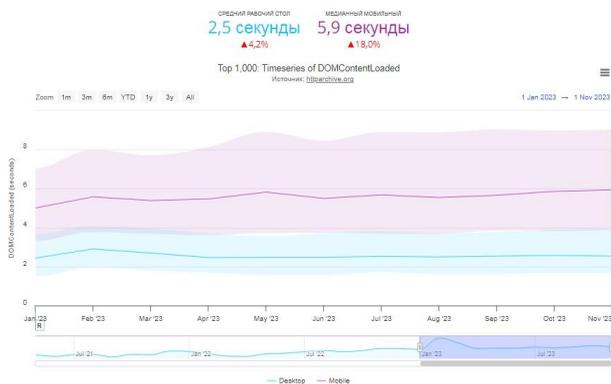
Количество секунд с момента начала навигации до появления основного содержимого страницы на экране.



Количество секунд с момента начала навигации до момента, когда ЦП находился в состоянии покоя не менее 5 секунд



Количество секунд с момента начала навигации до полной загрузки и анализа исходного HTML-документа



Количество секунд с момента начала навигации до завершения загрузки документа и всех его зависимых ресурсов

Чтобы осуществить подобную оценку с учетом большого количества взаимосвязанных данных, нужна достаточно сложная модель. Следование традиционному подходу потребует от архитектора дожидаться этапа тестирования, чтобы оценить время загрузки страницы. Если доступна реалистичная модель для прогнозирования времени загрузки, ее можно использовать, не дожидаясь начала этапа тестирования. Кроме того, модель не должна требовать значительных усилий и времени ни для сбора необходимых данных, ни для использования модели. Приведенный пример устанавливает необходимость наличия моделей прогнозирования для использования на ранних этапах.



Рисунок 1

Машинное обучение (МО) как дисциплина существует в исследовательском сообществе уже много лет. В последнее время его актуальность среди практиков индустрии программного обеспечения возросла из-за растущей способности собирать большие объемы данных и снижения затрат на обработку этих данных. МО может обнаруживать скрытые или неявные взаимосвязи в данных, которые не может обнаружить эксперт в предметной области, и, таким образом, открывает возможность для разработки точных моделей прогнозирования. Буткевич и др. использовали регрессию для прогнозирования времени загрузки страницы [8], тогда как другие авторы использовали модели классификации, чтобы классифицировать уровень производительности страницы как отличный, хороший, удовлетворительный и неприемлемый [9]. Р. Salvaоисследует, как различные показатели производительности коррелируют с характеристиками страницы [10]. В целом, исследован ограниченный объем работ в области оценки пригодности методов машинного обучения для прогнозирования времени загрузки с использованием показателей, связанных с формой, структурой и разворачиванием веб-страницы (например, размер страницы, количество запросов, контент). типы, распространение запросов и типов контента по различным серверам). Чтобы устранить это ограничение, используют различные модели прогнозирования времени загрузки, разработанные с использованием контролируемых методов машинного обучения, а именно:

- многомерная линейная регрессия,
- простая линейная регрессия,
- регрессия наименьших медианных квадратов,

- регрессия темпа,
- изотоническая регрессия,
- метод опорных векторов или SVM (англ. Support Vector Machines),
- многослойный персептрон,
- радиальная базисная функция,
- дерево решений,
- дерево сокращения ошибок REPT или (англ. Reduced Error Pruning Tree),
- метод случайного леса,
- M5.

В моделях используются только те показатели, которые относятся к форме и структуре страницы, поскольку такие показатели легко определить на ранних этапах с минимальными усилиями. Модели машинного обучения не только явно включают структурные характеристики страницы; они также неявно включают внешние факторы задержки, которые находятся вне контроля разработчика, такие как нагрузки на сервер и сеть, путем обучения.

Выводы

В статье обосновано, что быстро и качественно работающая веб-страница на сегодняшний день, является одним из показателей успеха того или иного бренда. А процесс оценки производительности веб-страниц с использованием современных методов машинного обучения один из основополагающих вопросов их разработки. Сделаны выводы, что анализ производительности веб-страниц для прогнозирования времени загрузки с использованием моделей машинного обучения является наиболее перспективным. Традиционные методы оценки требуют завершения разработки для оценки производительности, в то время как модели МО позволяют делать прогнозы на ранних этапах. Такие модели учитывают, как структурные характеристики страниц, так и внешние факторы, не поддающиеся контролю разработчика, обнаруживая скрытые взаимосвязи в данных для более точного прогнозирования. Предлагается использовать разнообразные методы машинного обучения, основанные на структурных показателях страницы, для прогнозирования времени загрузки, учитывая возможные внешние факторы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Nagarajan, S. N., Ravikumar, S.** Model for Predicting End User Web Page Response Time [Text]. – Arxiv preprint, 2012. [Electronic resource]. – <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1204/1204.6304.pdf>.

2 **Jing, Z.** Web Page Design and Download Time [Text]. – Int. CMG Conference, 2001. [Electronic resource]. – <https://www.cmg.org/?s2member>

3 **Domenech, J., Gil, J.A., Sahuquillo, J, Pont, A.** Using current web page structure to improve prefetching performance [Text]. – Computer Networks, 2010. – [Electronic resource]. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128609003685>

4 **Mohamed, A., Ismail, I. A.** Performance Comparative on Most Popular Internet Web Browsers [Text]. – Procedia Computer Science, 2022. – [Electronic resource]. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922021329>

5 Synthetic monitoring. [Электронный ресурс]. – <https://www.dynatrace.com/platform/synthetic-monitoring/> (Дата обращения 01.02.2024)

6 The HTTP Archive. [Электронный ресурс]. – <https://httparchive.org> (Дата обращения 01.02.2024)

7 GTmetrix Website Performance Testing and Monitoring. [Электронный ресурс]. – <https://gtmetrix.com/> (Дата обращения 01.02.2024)

8 **Butkiewicz, M., Madhyastha, H.V. and Sekar, V.** Understanding website complexity: measurements, metrics, and implications [Text]. – ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement Conference, 2011. [Электронный ресурс]. – <https://web.eecs.umich.edu/~harshavm/papers/imc11.pdf>.

9 **Calvano, P.** Correlating Performance Metrics to Page Characteristics, 2019. [Электронный ресурс]. – <https://paulcalvano.com/2019-01-11-correlating-performance-metrics-to-page-characteristics>

10 **Hossain, M. S.** Performance evaluation web testing for ecommerce web sites [Text] – IEEE, 2012. [Электронный ресурс]. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/6317531>.

Поступило в редакцию 07.07.24.

Поступило с исправлениями 10.07.24.

Принято в печать 03.09.2024.

***А. О. Потапенко, А. А. Сембенова, А.О. Юсупова**

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

07.07.24 ж. баспаға түсті.

10.07.24 ж. түзетулерімен түсті.

03.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ВЕБ-БЕТТЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУДЫҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІ

Үкімет, бөлік сауда, саяхат, қаржы және банк ісі сияқты қоғамның әртүрлі салаларының цифрлық трансформациясы клиенттік және ішкі қызметтерді веб-беттер арқылы ұсынуға және жұмыс үстелінен мобильді құрылғыларға дейін әртүрлі құрылғыларда қол жетімді етуге әкелді. Веб-беттердің өнімділігі маңызды фактор болып табылады, өйткені ол цифрлық қызметтерді пайдаланатын пайдаланушылар үшін негізгі өзара әрекеттесу нүктесі болып табылады. Кейбір зерттеулер веб-беттердің өнімділігін пайдаланушы тәжірибесімен байланыстырады, бұл өз кезегінде ұйымның брендіннің конверсиясына, пайдасына және құндылығына тікелей әсер етеді. Өнімділікті бағалау нәтижелері веб-беттерді оңтайландыру үшін пайдаланылады, бұл пайдаланушылардың қанағаттануына және бизнес мақсаттарына қол жеткізуге тікелей әсер етеді. Өнімділікті бағалау үшін әзірлеуді аяқтауды қажет ететін дәстүрлі әдістерден айырмашылығы, сайтты әзірлеу процесіне машиналық оқыту әдістерін енгізу жобаны іске асырудың бастапқы кезеңдерінде веб-беттердің өнімділігін болжау үшін пайдаланылуы мүмкін. Мақалада жүктеу уақытын болжау кезінде мүмкін болатын сыртқы факторларды ескеру үшін беттің құрылымдық көрсеткіштеріне негізделген машиналық оқытудың әртүрлі әдістерін қолдану ұсынылады. Осылайша, бүгінгі күні жылдам және сапалы жұмыс істейтін веб-бет белгілі бір брендтің табысының көрсеткіштерінің бірі болып табылады және заманауи машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, веб-беттердің өнімділігін бағалау процесі оларды дамытудың негізгі мәселелерінің бірі болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: өнімділік, веб-беттер, машиналық оқыту, болжау, жүктеу уақыты.

***A. O. Potapenko, A. A. Sembenova, A. O. Yusupova**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 07.10.24.

Received in revised form 10.07.24.

Accepted for publication 03.09.24.

MODERN METHODS FOR EVALUATING THE PERFORMANCE OF WEB PAGES

The digital transformation of various spheres of society, such as government, retail, travel, finance and banking, has led to the fact that both client and internal services are provided using web pages and are available on various devices, from desktop computers to mobile devices. The performance of web pages is an important factor because it is the main point of interaction for users using digital services. Some studies have linked web page performance to user experience, which in turn has a direct impact on the conversion, profit, and brand value of an organization. The results of the performance assessment are used to optimize web pages, which directly affects user satisfaction and the achievement of business goals. Unlike traditional methods that require completion of development to evaluate performance, the introduction of machine learning methods into the website development process can be used to predict the performance of web pages at the initial stages of the project. The article proposes the use of various machine learning methods based on the structural indicators of the page to take into account possible external factors when predicting loading time. Thus, a fast and high-quality web page today is one of the indicators of the success of a particular brand, and the process of evaluating the performance of web pages using modern machine learning methods can become one of the fundamental issues of their development.

Keywords: performance, web pages, machine learning, forecasting, loading time.

<https://doi.org/10.48081/IFJW2753>

МРНТИ 30.19.15

**Абдул Кадыр¹, *Н. А. Испулов², А. А. Кисабекова³,
Р. М. Каримова⁴, А. Ж. Жумабеков⁵**

¹Шукур университет бизнес администрирования, Пакистан, Шукур.

^{2,5}НАО «Торайгыров университет», Республика Казахстан, г. Павлодар.

^{3,4}НАО «Павлодарский педагогический университет имени Э.Марғұлан», Республика Казахстан, г. Павлодар.

*e-mail: nurlybek_79@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

О ТРЕХМЕРНОМ ТЕНЗОРЕ УПРУГОСТИ В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ

Формула закона Гука для относительных величин выражается как $\sigma = E\varepsilon$. В такой форме он справедлив для любых малых объёмов материала. В области классической линейной упругости с тензором напряжений σ и тензором деформации ε обобщенная форма закона Гука задается как $\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}$ где тензор четвертого порядка $C = (C_{ijkl})$ известен как тензор упругости. Этот тензор существенно расширяет понятие константы жесткости пружины k , применяя его к более сложным, многомерным системам, что позволяет точнее описывать механические свойства различных материалов. В то время как пружинная константа описывает поведение простой пружины, тензор упругости способен охватить значительно более сложные и многокомпонентные взаимодействия в материалах. Инварианты этих тензоров упругости инкапсулируют ключевые механические свойства материалов, эффективно обобщая и дополняя понятие «жесткости пружины» в сложных контекстах. В рамках этой статьи мы применяем обобщенное представление Кельвина для параметризации тензора

*Торайгыров университетінің Хабаршысы, ISSN 2959-068X.
Физика, математика және компьютерлік ғылымдар сериясы. № 3, 2024
напряжений, что значительно упрощает делает более наглядным
процесс определения действия на тензорупругости. Это, в свою
очередь, способствует более глубокому пониманию механических
характеристик материалов и их реакции на внешние воздействия.*

Ключевые слова: закон Гука, количественная симметрия, теория представлений, анизотропия, линейная упругость.

Введение

Тензор упругости, тензор четвертого ранга, характеризует связь между напряжением и деформацией в линейно-упругом материале [1;2]. Согласно обобщенному закону Гука для однородного анизотропного тела, эта связь определяется как линейная корреляция между тензором напряжений второго ранга σ_{ij} и тензором деформации ε_{kl}

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (1)$$

Компоненты C обычно изменяются при базисном преобразовании. Однако некоторые преобразования дают комбинации компонентов, называемых инвариантами, которые остаются постоянными. Эти инварианты определяются на основе определенного набора преобразований, называемых групповой операцией. Например, инвариант для группы собственных ортогональных преобразований, обозначаемый как $SO(3)$, сохраняет постоянное значение при любом трехмерном вращении.

Авторы работы [3] исследовали данную проблему, первоначально используя для определения независимых инвариантов в двумерном и в трехмерном случаях.

В монографии [4] получены инвариантные соотношения, отражающие внутреннюю симметрию различных анизотропных сред. Автором доказано, что инвариантные соотношения имеют место для уравнений упругих, электромагнитных волн в различных кристаллах, а также отражают общие свойства решений уравнений движения.

Определение инвариантов имеет первостепенное значение в механике, особенно когда речь идет о реконструкции геометрических и механических свойств материала. Эти инварианты позволяют описывать внутреннюю структуру материала и его отклик на различные внешние воздействия, что особенно важно для материалов с анизотропными или сложными свойствами. Ряд исследователей [5;6;7;8;9;10;11;12;13] предложили методы для определения инвариантов тензора упругости в трехмерном пространстве.

В рамках этой статьи мы применяем обобщенное представление Кельвина для параметризации тензора напряжений. Это позволяет существенно упростить процесс анализа, а также сделать его более наглядным, что особенно полезно для определения воздействия на тензор упругости. Такой подход дает возможность глубже изучить механические свойства различных материалов и их поведение при внешних нагрузках, включая напряжения и деформации. Понимание инвариантов тензора упругости помогает улучшить прогнозирование поведения материалов в сложных условиях эксплуатации, что имеет прикладное значение в таких областях, как инженерия, материаловедение и проектирование новых материалов с заданными свойствами.

Материалы и методы

Здесь описывается подход, используемый для определения инвариантов путем воздействия элемента $SO(3)$ на тензор упругости.

Закон Гука и представление Кельвина

Орбиты пространства тензора упругости $S^2S^2R^3$ под действием $SO(3)$ на R^3 описываются E , когда для линейного представления:

$$C' = \rho(r)C$$

где

$$E = \left\{ C' \in E(3) \mid \exists r \in SO(3), C' = \rho(r)C \right\}$$

В классической линейной упругости закон Гука гласит, что $\sigma = C\varepsilon$. Этот закон может быть представлен представлением Фойгта и Кельвина. Обозначение Фойгта не существенно для базового исследования симметрий. Следовательно, мы применим представление Кельвина [10; 11], в котором выражение для C имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & \sqrt{2}C_{1123} & \sqrt{2}C_{1113} & \sqrt{2}C_{1112} \\ C_{1122} & C_{2222} & C_{2233} & \sqrt{2}C_{2223} & \sqrt{2}C_{2213} & \sqrt{2}C_{2212} \\ C_{1133} & C_{3322} & C_{3333} & \sqrt{2}C_{3323} & \sqrt{2}C_{3313} & \sqrt{2}C_{3312} \\ \sqrt{2}C_{2311} & \sqrt{2}C_{2322} & \sqrt{2}C_{2333} & 2C_{2323} & 2C_{2313} & 2C_{2312} \\ \sqrt{2}C_{1311} & \sqrt{2}C_{1322} & \sqrt{2}C_{1333} & 2C_{1323} & 2C_{1313} & 2C_{1312} \\ \sqrt{2}C_{1211} & \sqrt{2}C_{1222} & \sqrt{2}C_{1233} & 2C_{1223} & 2C_{1213} & 2C_{1212} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Используя представление в терминах Кельвина и заменяя обозначение тензора напряжений σ на s , можем получить следующую универсальную форму:

$$\begin{cases} s_{ij} = \sigma_{ij} \text{ для } i = 1, 2, 3, \dots, d \\ s_{\left(3 + \frac{d(d+1)}{2} - (i+j)\right)} = \sqrt{2}\sigma_{ij} \text{ для } i, j = 1, 2, 3, \dots, d, \text{ with } i < j \end{cases} \quad (3)$$

Так для $d=3$ мы имеем:

$$\begin{aligned} s_1 &= \sigma_{11}; s_2 = \sigma_{22}; s_3 = \sigma_{33}; s_4 = \sqrt{2}\sigma_{23}; \\ s_5 &= \sqrt{2}\sigma_{13}; s_6 = \sqrt{2}\sigma_{12} \end{aligned}$$

Результаты и обсуждение

Параметризация тензора напряжений

Поворот на угол θ применяется к тензору напряжений вдоль оси Z в трёхмерном пространстве. Согласно Монтегетти [15] и Эйлеру [16], матрица поворота r_θ имеет следующий вид:

$$r_\theta = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Далее пишем $\sigma' = r_\theta^t \sigma r_\theta$, мы можем написать $\sigma' = R' \sigma$:

$$\begin{pmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & 0 & 0 & 0 & 2\sin\theta\cos\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & 0 & 0 & 0 & -2\sin\theta\cos\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -\sin\theta\cos\theta & \sin\theta\cos\theta & 0 & 0 & 0 & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{pmatrix} \quad (5)$$

Рассматривая соотношение (2) таким же образом, имеем:

$$\begin{aligned} s'_1 &= \sigma'_{11}; s'_2 = \sigma'_{22}; s'_3 = \sigma'_{33}; s'_4 = \sigma'_{23}; \\ s'_5 &= \sigma'_{13}; s'_6 = \sigma'_{12} \end{aligned}$$

Элементы S' имеют вид:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Вдоль оси e^1 мы имеем один инвариант (p) , (s_3) вдоль оси e_6 , $(q_1)^2$ сформировано как e_2 и e_3 и $(q_2)^2$ сформировано как e_4 и e_5 . Первые два представляют собой прямые, тогда как последние два описывают окружности Мора с радиусом q_1 и $(1/\sqrt{2})q_2$ соответственно.

Мы также проверяем, что R является матрицей вращения: $\det(R) = 1$ и $R^t = R$.

Именно эту матрицу вращения R мы будем использовать в последующем.

Модификации и разложение тензора упругости

По аналогии с представлением Кельвина положим $C_{IJ} = C_{ijkl}$. Учитывая перестановки, выполненные в (7), перепишем C согласно закону Гука:

$$s = Ce$$

где s — тензор напряжений, C — упругость, e — тензор деформаций. Из уравнения (8) выведем следующее:

$$C^* = P^{-1}CP \quad (11)$$

где:

$$P = P^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Получаем новый тензор упругости, который мы записали C^* . Пусть сейчас $\check{C} = C^* \cdot \check{C}_{ij} = C_{ij}^*$. В дальнейшем будет использоваться упрощенная форма тензора упругости, представляемая здесь.

Действие R над \check{C}
Действие R над \check{C} дает:

$$\check{C} = R^t \check{C} R \quad (12)$$

Запишем R в следующей сокращенной форме:

$$R = \begin{pmatrix} R_{2\theta} & 0_3 \\ 0_3 & r_\theta \end{pmatrix}$$

$$R^t = \begin{pmatrix} R_{2\theta}^t & 0_3 \\ 0_3 & r_\theta^t \end{pmatrix}$$

$$\check{C} = \begin{pmatrix} C_1 & C_2 \\ C_2^t & C_3 \end{pmatrix}$$

Эта сокращенная форма помогает нам упростить расчет, и мы получаем:

$$\check{C}' = \begin{pmatrix} R_{2\theta}^t C_1 R_{2\theta} & R_{2\theta}^t C_1 r_\theta \\ r_{2\theta}^t C_2^t R_{2\theta} & r_\theta^t C_3 r_\theta \end{pmatrix} \quad (13)$$

Обозначим $C_1' = R_{2\theta}^t C_1 R_{2\theta}$, $C_2' = r_{2\theta}^t C_2^t R_{2\theta}$, $C_2'^t = R_{2\theta}^t C_1 r_\theta$ и $C_3' = r_\theta^t C_3 r_\theta$. Мы можем переписать в виде:

$$\check{C}' = \begin{pmatrix} C_1' & C_2'^t \\ C_2' & C_3' \end{pmatrix} \quad (14)$$

Мы видим, что \check{C}' делится на три группы, связанные C_1' C_2' C_3' . Преобразование каждой группы не связано с другими.

Видно, что тензор C делится на шесть групп по Тингу [8]. Проанализировав данные, он обнаружил, что инварианты некоторых групп состоят из компонентов, связанных с различными группами C_k для $k=1,2,3,\dots,6$. Важно отметить, что другие исследователи использовали то же самое разложение, что и Тинг, но выражали преобразования явно, а не в матричном виде.

В следующей статье мы попытаемся определить инварианты каждого преобразования по отдельности. Для каждого компонента \check{C}^{\wedge} у нас есть шесть независимых инвариантов.

Выводы

Таким образом, мы определили вращение $SO(3)$, которое позволило выявить восемнадцать независимых инвариантов в декартовой системе координат, подтверждая их существование как глобальных инвариантов. При рассмотрении типов материалов, соответствующих каждому инварианту, мы сосредоточились на изотропном случае, что продемонстрировало потенциал этих инвариантов для классификации материалов. Интересным направлением дальнейших исследований будет предоставление механической интерпретации и завершение классификации на основе обнаруженных инвариантов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Cowin S.** Properties of the anisotropic elasticity tensor, The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics. – 2009. – P. 249–266.

2 **Hehl F. W., Itin Y.** The Cauchy Relations in Linear Elasticity Theory, Journal of elasticity and the physical science of solids. – 2012. – P. 185–192.

3 **De Saxé G., Vallee C.** Invariant Measures of the Lack of Symmetry with Respect to the Symmetry Groups of 2D Elasticity Tensors, J Elast. – 2012. – P. 21–39.

4 **Tleukenov S. K.** Matricant Method. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 157 p.

5 **Atchounglo K., de Saxcé G., Ban M.** 2d elasticity tensor invariants, invariants definite positive criteria, Advances in Mathematics: Scientific Journal. – 2021. – P. 2999–3012.

6 **Ahmad M.** Invariants and structural invariants of the anisotropic elasticity tensor, Q. Jl Mech. Appl. Math. – 2022. – P. 597–606.

7 **Norris A.** Quadratic invariants of elastic moduli, Q. Jl Mech. Appl. Math. – 2017. – P. 367–389.

8 **Desmorat R. and others.** Minimal functional bases for elasticity tensor symmetry classes, Journal of Elasticity. – 2022.

9 **Ting T.** Invariants of anisotropic elastic constants, The Quarterly Journal

of Mechanics and Applied Mathematics. – 2010. – P. 431–448.

10 **Thomson W. and Kelvin B.** Mathematical and Physical Papers. Elasticity, Heat, Electro-Magnetism (Paperback). – 2016. – P. 548.

11 Thomson W. Elements of a Mathematical Theory of Elasticity, «Philosophical Transactions». – 2009. – P. 481–498.

12 **Kurmanov A. A., Ispulov N. A., Abdul Qadir and others.** Propagation Of Electromagnetic Waves In Stationary Anisotropic Media, Physica Scripta, 96, Number of article: 085505. – 2021. – <https://doi.org/10.1088/1402-4896/abfe87>

13 **Ispulov N. A., Akhmetsafin M. R.** On non-classical boundary conditions of non-rigid contact during the propagation of thermoelastic waves in anisotropic medium of tetragonal syngony. Bulletin of Toraighyrov University Physics, Mathematics & Computer Science series – № 1 – 2023. – P. 81–95. – <https://doi.org/10.48081/XEYZ6093>

14 **Ispulov N. A., Ospanova Zh. D., Kapenova M. M., Sultanova M. Zh.** On reflection coefficients of thermoelastic waves at the boundaries of isotropic and anisotropic media. Bulletin of Toraighyrov University Physics, Mathematics & Computer Science series – №4 – 2023. – P. 74–87. – <https://doi.org/10.48081/XEYZ609310.48081/DLRG9115>

15 **Monteghetti F.** Quaternions, orientation et mouvement, [Rapport de recherche] ISAE-SUPAERO, hal–01618257. – 2012.

16 **Euler L.** Problema algebraicum ob affectiones prorsus singulans memorabile, Novi Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae. – 1771. – P. 75–106.

Поступило в редакцию 06.09.24.

Поступило с исправлениями 09.09.24.

Принято в печать 20.09.2024.

*Абдул Қадыр¹, *Н. А. Испулов², А. А. Кисабекова³,*

Р. М. Каримова⁴, А. Ж. Жумабеков⁵

¹Шукур бизнес әкімшілік университеті, Пәкістан, Шукур

^{2,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.,

^{3,4}Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

06.09.24 ж. баспаға түсті.

09.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

20.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

АНИЗОТРОПТЫҚ ОРТАЛАРДАҒЫ ҮШ ӨЛШЕМДІ СЕРПІМДІЛІК ТЕНЗОРЫ ТУРАЛЫ

Салыстырмалы шамалар үшін Гук заңының формуласы $\sigma = E\varepsilon$ түрінде өрнектеледі. Бұл пішінде ол кез келген шағын көлемдегі материал үшін жарамды. Кернеу тензоры σ және деформация тензоры ε болатын классикалық сызықтық серпімділік облысында Гук заңының жалпыланған түрі $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$ түрінде берілген, мұнда төртінші ретті тензор $C = (C_{ijkl})$ серпімділік тензоры ретінде белгілі. Бұл тензор серіппелі тұрақты k ұғымын айтарлықтай кеңейтеді, оны күрделірек, көп өлшемді жүйелерге қолданады, бұл әртүрлі материалдардың механикалық қасиеттерін дәлірек сипаттауға мүмкіндік береді. Серіппе тұрақтысы қарапайым серіппенің әрекетін сипаттаса, серпімді тензор материалдардағы әлдеқайда күрделі және көп компонентті өзара әрекеттесулерді түсіруге қабілетті. Бұл серпімді тензорлардың инварианттары күрделі контексттерде «серіппелі қаттылық» түсінігін тиімді түрде жалпылайтын және кеңейтетін материалдардың негізгі механикалық қасиеттерін қамтиды. Бұл мақалада біз кернеу тензорын параметрлеу үшін жалпылама Кельвин көрінісін қолданамыз, бұл икемділік тензорындағы әрекетті анықтау процесін айтарлықтай жеңілдетеді және айқынырақ етеді. Бұл өз кезегінде материалдардың механикалық сипаттамаларын және олардың сыртқы әсерлерге реакциясын тереңірек түсінуге ықпал етеді.

Кілтті сөздер: Гук заңы, сандық симметрия, өкілдік теориясы, анизотропия, сызықтық серпімділік.

**Abdul Qadir¹, * N. A. Ispulov², A. A. Kissabekova³,
R. M. Karimova⁴, A. Zh. Zhumabekov⁵**

¹Sukkur IBA University, Pakistan, Sukkur

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

^{3,4}Margulan University, Kazakhstan of Republic, Pavlodar

Received 06.09.24.

Received in revised form 09.09.24.

Accepted for publication 20.09.24.

ABOUT THE THREE-DIMENSIONAL ELASTICITY TENSOR IN ANISOTROPIC MEDIA

The formula of Hooke's law for relative quantities is expressed as $\sigma = E\varepsilon$. In this form, it is valid for any small volumes of material. In the realm of classical linear elasticity, with the stress tensor σ and the strain

tensor ϵ , the generalized form of Hooke's Law is given by $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$ where the fourth-order tensor $C = (C_{ijkl})$ is known as the elasticity tensor. This tensor significantly extends the concept of the spring constant k by applying it to more complex, multidimensional systems, which allows for a more accurate description of the mechanical properties of various materials. While the spring constant describes the behavior of a simple spring, the elasticity tensor is able to capture much more complex and multi-component interactions in materials. Invariants of these elasticity tensors encapsulate key mechanical properties of materials, effectively generalizing and complementing the concept of «spring stiffness» in complex contexts. In this paper, we apply the generalized Kelvin representation to parameterize the stress tensor, which significantly simplifies and makes more intuitive the process of defining the action on the elasticity tensor. This, in turn, facilitates a deeper understanding of the mechanical properties of materials and their response to external influences.

Keywords: Hooke's Law, quantifying symmetry, representation theory, anisotropy, linear elasticity.

***I. Kudryavtseva¹, A. Krasnikov², E. Shablonin³**

^{1,2,3}Institute of Physics, University of Tartu, Estonia, Tartu

*e-mail: irina.kudryavtseva@ut.ee

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0693-6247>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6977-8468>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-5913>

LUMINESCENCE CHARACTERISTICS OF CaSO₄:Tb,M (M=Na,K,Rb) PHOSPHORS

In the present study, the investigation of complex luminescence terbium centres as well as the analysis of technological features of the synthesis of small-grained wide-gap CaSO₄:Tb³⁺ anhydrite phosphors containing 1% of Tb³⁺ and some amount of additional impurity ions (Na⁺, K⁺, Rb⁺) have been continued using the methods of optical and thermoactivation spectroscopy. Of particular interest was a contribution of calcium ions into formation of complex luminescence centres. Ca causes efficient dynamic hybridization of electronic states and influence on the formation of terbium and near-terbium electronic excitations.

The excitation spectra of Tb³⁺-centre emission have been measured in the VUV spectral range at 77 or 300 K. The excitation band related to the lowest f-d transition of Tb³⁺ ions at ≈5.9 eV in CaSO₄ undergoes broadening toward the long-wavelength side, when the radius of a charge compensator increases (K⁺→Rb⁺). The band at 7.5–9 eV ascribed to the excitation of oxyanions has a different shape in CaSO₄:Tb,K and CaSO₄:Tb,Rb. Thermally stimulated luminescence (80–700 K) have been analyzed for a set of anhydrite phosphors previously irradiated by X-rays at 80 and 300 K.

Keywords: CaSO₄, Tb³⁺, photoluminescence, thermoluminescence, vacuum ultraviolet spectroscopy.

Introduction

Wide-bandgap materials doped with rare-earth ions are currently of great interest as new vacuum ultraviolet (VUV) phosphors for lighting and displays. CaSO₄ has a wide bandgap with a weak crystal field. An ionic-covalent CaSO₄ compound (anhydrite) has the orthorhombic (dipyramidal) crystal structure, a unit cell contains many atoms and has parameters $a=6.993$, $b=6.995$ and $c=6.245$ Å [1].

The energy gap experimentally determined for CaSO_4 at a low temperature $E_g=9.8$ eV (see, for example, [2–6]) coincides with the results of the recent theoretical calculation of the electronic structure of the anhydrite [6], according to which the lowest conduction s subband ($E_{gs}\approx 9.6$ eV) is followed by the conduction d subband starting at $E_{gd}=11.2$ eV. The energy is measured from the top of the upper valence oxygen subband with a width of ≈ 1 eV, which is separated by an energy gap from the wider and more complex oxygen–sulfur subband. The minimum photon energy for the generation of a p hole and an s electron is approximately equal to 9.8 eV, whereas the generation of a pair consisting of a p hole and a d conduction electron requires a photon energy $h\nu > 11.2$ eV. The broad excitation band of many impurity emissions (Mn^{2+} , Gd^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+}) in the range from 7.5 to 9 eV, where there is no excitation of recombination luminescence of the aforementioned impurity ions, was interpreted as the excitation of the SO_4^{2-} oxyanion in CaSO_4 [2, 7, 8]. Unfortunately, there is still no rigorous theoretical calculation of excited (excitonic) states of the SO_4^{2-} oxyanion. The Tb^{3+} ion is the first ion in the second group of seven RE^{3+} ions with eight $4f$ electrons. The emission and absorption spectra of Tb^{3+} ions in liquid and solid solutions were experimentally investigated in the spectral range up to 6.2 eV by Zeidel' [9], who determined the ground state as 7F_6 from the difference between the frequencies in the quasi-linear spectra. In this and other studies (see, for example, [7, 8, 10, 11]), it was shown that the emission spectra of trivalent terbium in CaSO_4 each contain two series of transitions ${}^5D_3 \rightarrow {}^7F_J$ and ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_J$ (the blue and green series, respectively) with the sequence of the values $J=6, 5, 4, 3, 2, 1$, and 0. This paper presents new experimental results on the detailed structure of complex terbium luminescence centers in $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}$ with a sufficiently high concentration of impurity Tb^{3+} ions. For the formation of stable and neutral (relative to the lattice) luminescence centers in the synthesis of phosphors, in addition to terbium compounds we also used the monovalent positively charged ions Na^+ , K^+ , Rb^+ occupying calcium positions. The ionic radii of these ions are 1.16, 1.52, 1.66 Å, respectively, and the ionic radii of Ca^{2+} and Tb^{3+} are 1.14 and 1.06 Å, with a coordination number of 6. Impurity potassium and rubidium ions, unlike sodium ions, will be space deficient, replacing calcium ions. This may manifest itself in the deformation of the crystal lattice.

In this work, the luminescence excitation (efficiency) spectra of complex terbium centers in the anhydrite CaSO_4 were thoroughly investigated in the region of $h\nu=5\text{--}12$ eV with respect to the standard sodium salicylate characterized by the quantum yield, which is almost constant in a wide range of excitation photon energies. The obtained information allows one to evaluate the prospects for the use of $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}$ phosphors in mercury-free light sources as spectral transformers of VUV radiation of a monomer or dimer inert-gas discharge into the visible light. Particular attention was paid to the spectral range covering a discharge in a xenon

monomer (147 nm, 8.44 eV) and dimers of xenon (172 nm, 7.2 eV), krypton (146 nm, 8.5 eV), and argon (127 nm, 9.76 eV). This study is the logical development of the investigations started by our research group.

The aim of this work was to investigate the possibility of the short-wave shift of the near-impurity excitations of Tb^{3+} centres in the case of codoping by NaCl, KCl or RbCl.

Methods and materials

Samples preparation. In our work, the fine-grained $CaSO_4:Tb^{3+}$ phosphors were synthesized by the solid-state reaction method taking into account the specific features of the matrix [12, 13] at the Institute of Physics of the University of Tartu (Estonia). $CaSO_4$ (99.993), $(NH_4)_2SO_4$ (99.999), Tb_4O_7 (99.998), MeCl ($Me^+=K^+,Na^+,Rb^+$) (ultra-pure) were used as starting materials. The concentration of Tb^{3+} ions and MeCl in our phosphors was 1% with respect to Ca^{2+} ions, which substituted for with impurity ions. The size of the synthesized particles was $\approx 5 \mu m$.

A fine-grained mixture of the components of the raw material was thoroughly triturated in an agate bowl. Then, the mixture in a platinum boat was placed in a special reactor, i.e., in a super-high-purity quartz vessel with an atmosphere of dry air, a part of which, together with volatile components of the solid-state reactions in the mixture, escaped from the reactor. The mixture was slowly heated to $750^\circ C$, and after the two-hour calcination at $750^\circ C$, the phosphor in the platinum boat was removed from the reactor and rapidly cooled to room temperature.

The synthesized powder taken from the reactor was washed three times with double-distilled water through a vacuum glass filter for the removal of insoluble impurities and then was dried in a thermostat at $160^\circ C$.

Experimental methods. The luminescence spectra were recorded either through the monochromator MDR-4 or using a nitrogen-cooled CCD detector. In some cases, impurity emissions were detected through special combinations of optical filters that separated regions of green luminescence (${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_j$, 1.94–2.55 eV or 639–486 nm) and blue luminescence (${}^5D_3 \rightarrow {}^7F_j$, 2.55–3.35 eV or 486–370 nm). The excitation spectra of these emissions were measured on a laboratory setup. Under irradiation of the sample by photons with different energies (5–12 eV, $T = 80$ –295 K), which were separated by a VMR-2 vacuum monochromator from the hydrogen discharge spectrum in a flow capillary tube. In this case, the constant number of different-energy excitation photons incident on the object was achieved by varying the slit width of the vacuum monochromator and using the constant signal from sodium salicylate for the normalization. The samples were irradiated with X-ray (tungsten anticathode, 50 keV) at 80 and 295 K and the irradiation times were 60 and 20 seconds. Thermally stimulated luminescence (TSL) curves from low temperature were measured at a heating rate of $\beta = 0.17$ K/s, and from room temperature $\beta = 2$ K/s.

Results and discussion

Figure 1 shows the excitation spectra for blue and green luminescence of terbium ions with different charge compensator ions at room temperature.

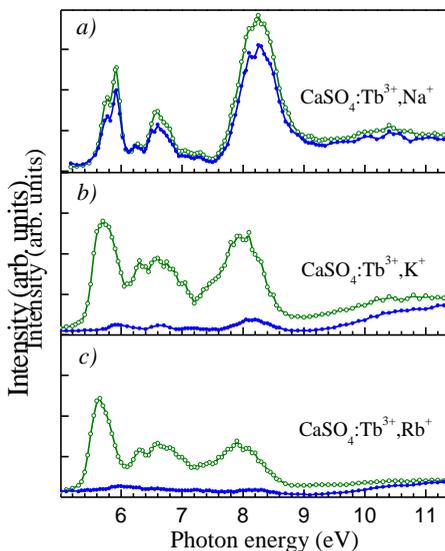


Figure 1 – Excitation spectra measured for green (${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_4$, green line) or blue (${}^5D_3 \rightarrow {}^7F_4$, blue line) emission of Tb^{3+} ions in $CaSO_4:Tb^{3+},Na^+$ (a), $CaSO_4:Tb^{3+},K^+$ (b), $CaSO_4:Tb^{3+},Rb^+$ (c) at 300 K.

At liquid nitrogen temperature, the spectra have the same appearance, but for the sake of practicality, we present the measurements at room temperature. At direct intracentre excitation with photons ≈ 5.9 eV (the first f-d transition in terbium ions), the green luminescence intensity of the three samples is almost identical. The energy transfer from the excited oxyanion SO_4^{2-} (7.5-9 eV) to complex terbium centres decreases in the cation substitution series from sodium to rubidium by a factor of 4. Blue luminescence is practically not observed when potassium and rubidium ions are introduced. In these cases, the maximum of green luminescence shifts to the red region and is located at ≈ 5.6 eV in the case of the presence of Rb^+ ions.

Figure 2 shows the emission spectra of the samples at three significant excitation energies: at direct excitation of the terbium centre (5.9 eV), at the oxyanion excitation band maximum (8.2 eV) and at the creation of separated electrons and holes (11.2 eV).

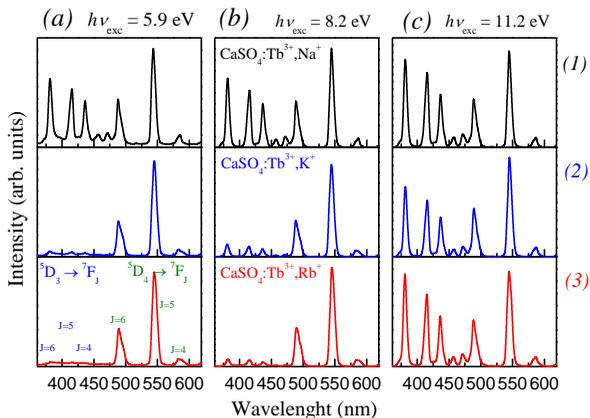


Figure 2 – Emission spectra of Tb^{3+} ions at the photoexcitation 5.9 eV (a), 8.2 eV (b), 11.2 eV (c) in $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Na}^+$ (1), $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{K}^+$ (2), $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Rb}^+$ (3) at 300 K.

The data obtained are in good agreement with the curves in Figure 1. Blue luminescence is well recorded for all samples when irradiated with photons of energies above 10 eV. The green luminescence is dominated by the 545 nm band.

Figure 3 shows the fine structure of the 545 nm line corresponding to the ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$ transition in terbium ions in different samples. The narrowest band is observed in the $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Na}^+$ sample.

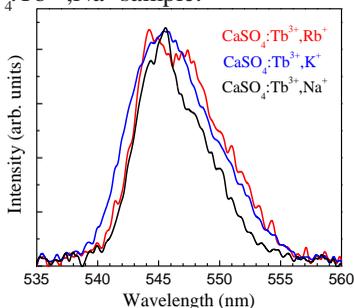


Figure 3 – Fine structure of the ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$ transition for Tb^{3+} ions of $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Na}^+$, $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{K}^+$, $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Rb}^+$ at in the photoexcitation 5.8 eV at 300 K. Curves are normalized.

The ionic radius of sodium is almost the same as that of calcium (sodium ion is 1.8 % larger). The ionic radii of potassium and rubidium are much larger (by 33 and 46 %) and they cause a strong deformation of the crystal lattice, which

leads to broadening of this band.

The complex TSL curves of the irradiated samples with X-rays at 80 K are shown in Figure 4. Our experiments show that this luminescence is related to the excitation of terbium ions. By analysing these curves, it appears that the size of the cationic impurity (Na^+ , K^+ , Rb^+) affects the number and depth of traps for electrons and holes. Intense luminescence is recorded for $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Na}^+$ where a complex peak dominates in the 200-300 K region and less intense in the 300-450 K region. 300 K seems to be the boundary where above this temperature deeply traps for irradiation-generated electrons and holes, enhanced by larger sized cations, predominate.

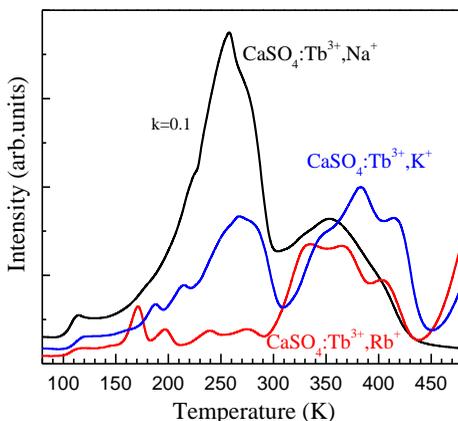


Figure 4 – Spectrally integrated (3.7-1.7 eV) TSL curves measured for $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Na}^+$, $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{K}^+$ and $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Rb}^+$ phosphors previously irradiated by the equal dose of X-rays at 80 K. $\beta=0.17 \text{ K s}^{-1}$.

A similar situation is observed (Figure 5) when the samples are X-ray irradiated at room temperature and high-temperature TSL is measured up to 650 K. In this case, the conventional boundary is 420 K, above which the number of deep traps increases with the introduction of large-sized rubidium ions. At the same time the number of shallow traps decreases. At such concentrations of terbium ions the blue luminescence by 2-3 times prevails over the green in thermoluminescence spectra.

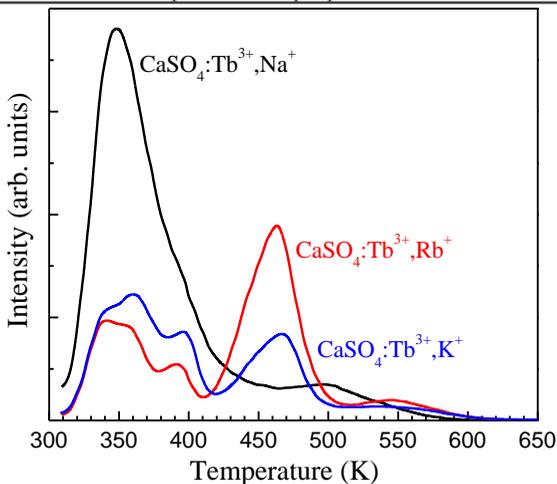


Figure 5 – Spectrally integrated (3.7-1.7 eV) TSL curves measured for $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Na}^+$, $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{K}^+$ and $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+},\text{Rb}^+$ phosphors previously irradiated by the equal dose of X-rays at 300 K. $\beta=2\text{ K s}^{-1}$.

Conclusions

Substance $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ has to be added during the synthesis of $\text{CaSO}_4:\text{RE}^{3+}$ for qualitative synthesis. The intensity of green luminescence upon excitation by photons in the first f-d transition in Tb^{3+} ions is the same for different impurity ions $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Rb}^+$. Upon X-ray irradiation of $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}, \text{Rb}^+$ sample, the occupancy of deep traps by electrons and holes increases, which is manifested in intense high-temperature TSL peaks.

REFERENCES

- 1 **Kirfel A. and Will, G.** Charge Density in Anhydrite, CaSO_4 , from X-Ray and Neutron Diffraction Measurements // Acta Crystallographica Section B. – 1980. – 36. – P. 2881–2890.
- 2 **Kudryavtseva I., Liblik P., Lushchik A., Maaros A., Vasil’chenko E., Azmaganbetova Z., Nurakhmetov T., Toxanbayev B., Lumin J.** Recombination luminescence of $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}$ and $\text{CaSO}_4:\text{Gd}^{3+}$ phosphors // Open Physics. – 2009. – 129. – P. 1890.
- 3 **Lushchik A., Lushchik Ch., Kudryavtseva I., Maaros A., Savikhin F., Shablonin E. and Vasil’chenko E.** Low-temperature investigation of electronic excitations in wide-gap materials doped with RE^{3+} or Cr^{3+} ions // Opt. Spectrosc.

– 2011. – 111(3). – P. 434.

4 **Kudryavtseva I., Lushchik A., Maaros A., Azmaganbetova Z., Nurakhmetov T. and Salikhodja Z.** Recombination luminescence of $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}$ and $\text{CaSO}_4:\text{Gd}^{3+}$ phosphors // Cent.Eur. J. Phys. – 2012. – 10. – pp. 995-1001.

5 **Lushchik A., Lushchik Ch., Kudryavtseva I., Maaros A., Nagirnyi V. and Savikhin F.** Resonant processes causing photon multiplication in $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}$ // Radiat. Meas. – 2013. – 56. – pp. 139-142.

6 **Kudryavtseva I., Klopov M., Lushchik A., Lushchik Ch., Maaros A. and Pishtshev A.** Electronic excitations and self-trapping of electrons and holes in CaSO_4 // Phys. Scr. – 2014. – 89. – P. 044013.

7 **Van der Kolk E., Dorenbos P., Vink A. P., Perego R. C., C. van Eijk W. E. and Lakshman A. R.** Vacuum ultraviolet excitation and emission properties of Pr^{3+} and Ce^{3+} in $M_2\text{X}_2\text{SO}_4$ ($M=\text{Ba}, \text{Sr}, \text{and Ca}$) and predicting quantum splitting by Pr^{3+} in oxides and fluorides // Phys. Rev. B: Condens. Matter. – 2001. – 64. – P. 195129.

8 **Lakshmanan A. R., Kim S.-B., Jang H. M., Kum B. G., Kang B. K., Heo S., and Seo D.** A Quantum-Splitting Phosphor Exploiting the Energy Transfer from Anion Excitons to Tb^{3+} in $\text{CaSO}_4:\text{Tb}, \text{Na}$ // Adv. Funct. Mater. – 2007. – 17. – P. 212.

9 **Zaidel' A. N.** Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz. – 1945. – 9. – P. 329.

10 **El'yashevich M. A.** Spectra of the Rare Earths (Gostekhizdat, Moscow, 1953; United States Atomic Energy Commission, Washington, 1961).

11 **Dieke G. H.** Spectra and Energy Levels of Rare Earth Ions in Crystals // Interscience, New York. – 1969.

12 **Freyer D. and Voig W.** Crystallization and phase stability of CaSO_4 and CaSO_4 -based salts // Monatsh. Chem. – 2003. – 134. – P. 693.

13 **Lakshmanan A., Kim S.-B., Kum B. G., Jang H. M. and Kang B. K.** Rare earth doped CaSO_4 luminescence phosphors for applications in novel displays – new recipes // Phys. Status Solidi A. – 2006. – 203. – P. 565.

Received 11.09.24.

Received in revised form 14.09.24.

Accepted for publication 21.09.24.

***И. Кудрявцева, А. Красников, Е. Шаблинин**

Физика институты, Тарту университеті, Эстония, Тарту к.

11.09.24 ж. баспаға түсті.

14.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

21.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

CaSO₄: Tb, M (M=Na, K, Rb) ФОСФОРЛАРЫНЫҢ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Бұл жұмыста күрделі люминесцентті тербийлік орталықтарды зерттеу, сондай-ақ құрамында 1% Tb³⁺ және кейбір қосымша қоспа иондары (Na⁺, K⁺, Rb⁺) бар CaSO₄:Tb³⁺ ұсақ түйіршікті кең аймақтық ангидритті люминофорлары синтезінің технологиялық ерекшеліктерін талдау жүргізілді. Жұмыс оптикалық және термоактивациялық спектроскопия әдістерін қолдану арқылы жалғасты. Кальций иондарының күрделі люминесценция орталықтарының пайда болуына қосқан үлесі ерекше қызығушылық тудырды. Са электронды күйлердің тиімді динамикалық будандастырылуын тудырады және тербиум мен периотербиумның электронды қозуының пайда болуына әсер етеді. Tb³⁺-центрлік сәулеленудің қозу спектрлері VUV спектрлік диапазонында 77 немесе 300 К-де өлшенді. CaSO₄-те ~5,9 эВ кезінде Tb³⁺ иондарының ең аз f-d ауысуымен байланысты қозу жолағы заряд компенсаторының радиусы (K⁺~Rb⁺) ұлғайған кезде ұзын толқын ұзындығының кеңеюіне ұшырайды. Оксидиондардың қозуымен байланысты 7,5-9 эВ диапазоны CaSO₄-те әртүрлі пішінге ие: Tb, K және CaSO₄: Tb, Rb. 80 және 300 К рентген сәулелерімен алдын ала сәулеленген ангидритті люминофорлар жиынтығы үшін термиялық ынталандырылған люминесценция (80-700 К) талданды.

Кілтті сөздер: CaSO₄:Tb³⁺, фотолюминесценция, термолюминесценция, вакуумдық ультракүлгін спектроскопия.

***И. Кудряцева, А. Красников, Е. Шаблонин**

Институт физики, Тарту университет, Эстония, г. Тарту,

Поступило в редакцию 11.09.24.

Поступило с исправлениями 14.09.24.

Принято в печать 21.09.2024.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ФОСФОРОВ CaSO₄:Tb, M (M=Na, K, Rb)

В настоящей работе проведено исследование сложных люминесцентных тербиевых центров, а также анализ технологических особенностей синтеза мелкозернистых

широкозонных ангидритных люминофоров $\text{CaSO}_4:\text{Tb}^{3+}$, содержащих 1% Tb^{3+} и некоторое количество дополнительных примесных ионов (Na^+ , K^+ , Rb^+). работа была продолжена с использованием методов оптической и термоактивационной спектроскопии. Особый интерес представлял вклад ионов кальция в формирование сложных центров люминесценции. Са вызывает эффективную динамическую гибридизацию электронных состояний и влияет на формирование тербиевых и околотербиевых электронных возбуждений.

Спектры возбуждения излучения Tb^{3+} -центра были измерены в спектральном диапазоне VUV при 77 или 300 К. Полоса возбуждения, связанная с наименьшим $f-d$ переходом ионов Tb^{3+} при $\sim 5,9$ эВ в CaSO_4 , претерпевает уширение в длинноволновую сторону при увеличении радиуса компенсатора заряда ($\text{K}^+ \approx \text{Rb}^+$). Полоса при 7,5-9 эВ, связанная с возбуждением оксианионов, имеет различную форму в $\text{CaSO}_4:\text{Tb},\text{K}$ и $\text{CaSO}_4:\text{Tb},\text{Rb}$. Для набора ангидритовых люминофоров, предварительно облученных рентгеновскими лучами при 80 и 300 К, была проанализирована термически стимулированная люминесценция (80-700 К).

Ключевые слова: CaSO_4 , Tb^{3+} , фотолюминесценция, термолюминесценция, вакуумная ультрафиолетовая спектроскопия.

***З. А. Сатбаева¹, А. К. Сейтханова², Н. Бердимуратов³,
Д. Р. Байжан⁴, А. Маулит⁵**

¹ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск,

^{1,4,5}Университет имени Шакарима города Семей,

Республика Казахстан, г. Семей

²Павлодарский педагогический университет имени

Ә. Марғұлана, Республика Казахстан, г. Павлодар

^{3,4,5}Восточно-Казахстанский университет имени

С. Аманжолова, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

*e-mail: satbaeva.z@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6880-6439>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9105-3129>

МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ХРОМНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Электролитно-плазменное азотирование - это привлекательное решение для химико-термической обработки, используемое для улучшения свойств поверхности стали путем осуществления насыщения азотом. Этот метод широко применяется для стали и сплавов на основе железа, работающих в различных условиях эксплуатации. В данной работе с использованием технологии жидкофазного плазменного азотирования был получен азотированный слой на поверхности стали 40ХН в электролите. В качестве объекта исследования была выбрана конструкционная легированная сталь 40ХН. Для проведения ЭПА был выбран электролит на основе карбоната натрия и карбамида. Выбор карбамида связан с тем, что данное вещество является источником азота и углерода, а также характеризуется дешевизной и экологической безопасностью. Микроструктуру и фазовый состав азотированного слоя исследовали и анализировали с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM) и рентгеновской дифракции (XRD). Исследование показало, что после электролитно-

плазменного азотирования формируются многослойные диффузионные слои. В поверхностном слое образуется оксидно-нитридная зона толщиной 25–30 мкм, содержащая нитрид железа Fe_2N и оксид железа Fe_3O_4 . Под этой зоной расположен нитридно-мартенситный подслои. Далее следует третья зона внутреннего азотирования.

Ключевые слова: электролитно-плазменное азотирование, сталь, структура, электролит, карбамид.

Введение

В настоящее время для изготовления деталей машин, работающих в условиях высоких механических и тепловых воздействий, сопровождающихся ударными нагрузками, выбираются легированные и специальные стали [1]. Однако зачастую поверхностные слои нуждаются в дополнительном упрочнении. В настоящее время уже имеется массив научных исследований по различным технологическим способам поверхностного упрочнения металлических сплавов для повышения функциональных свойств поверхностных слоев, таким как термическая обработка [2], в том числе с использованием концентрированных потоков энергии различной природы [3], химико-термическая обработка [4;5]. Однако потенциал их эффективности исчерпан. Поэтому в последнее время ведутся многочисленные исследования по созданию дуплексных технологий, сочетающих известные процессы [6]. Но эмпирический подход и связанные с этим затраты на многочисленные эксперименты с целью установления закономерностей между технологическими параметрами и получаемыми структурой и свойствами, не позволяют управлять структурообразованием и делают их неконкурентными для производства.

Также в технологии машиностроения при модификации поверхностных слоев сталей и сплавов можно эффективно использовать многокомпонентную химико-термическую обработку (ХТО), заключающуюся в одновременном или последовательном диффузионном насыщении поверхности несколькими химическими элементами [7]. Такие комплексные методы ХТО как азотирование, карбонитрирование позволяют в значительной мере увеличить сопротивление износу, а также повысить коррозионную стойкость и ряд других свойств поверхностных слоев деталей машин. Тем не менее, на сегодняшний день задача по разработке теории формирования азотированного и карбонитрированного слоя, обладающим комплексом ценных свойств – высокими износо- и коррозионной стойкостью, остается до конца не решенной [8]. Традиционная химико-термическая обработка в газовой среде (азотирование) и твердом карбюризаторе (цементация) имеет недостатки в сложности применения диффузионно-активной среды

и сложного нестандартного дорогого оборудования, а также при химико-термическом упрочнении чаще требуется повторная термическая обработка для окончательного формирования свойств изделия.

Перспективным методом повышения ресурсных и эксплуатационных свойств стальных деталей считается химико-термическая обработка электролитно-плазменным воздействием (диффузионное насыщение), применяемая для насыщения поверхности материалов легкими элементами (азотом и углеродом) [9]. Данная технология обладает рядом преимуществ перед другими методами поверхностной модификации стальных деталей, основными из которых являются высокая скорость обработки, низкая себестоимость, возможность получения перспективных структур и совмещения диффузионного насыщения с закалкой в одном технологическом процессе.

При технологии электролитно-плазменного азотирования заготовка помещается в электролит и обрабатывается дуговым электрическим разрядом, что позволяет за несколько минут сформировать слой с высокой твердостью, коррозионной и износостойкостью. Основные параметры, определяющие производительность процесса, включают напряжение, время обработки, плотность тока, частоту и состав электролита. Преимущества этого метода перед другими существующими методами химико-термической обработки включают высокую скорость нагрева заготовки (до 250 °C/c) и высокую скорость диффузионного насыщения (до 20 мкм/мин) [10]. Кроме того, использование электролитно-плазменного нагрева позволяет сформировать на поверхности защитный оксидный слой, который дополнительно повышает коррозионную стойкость. Тем не менее, трибологические характеристики этого процесса остаются недостаточно изученными. К азотосодержащим электролитам относятся водные растворы азотных удобрений, прежде всего сульфат и хлорид аммония [11] и карбамид (мочевина) [12]. Соли аммония, анионы которых проявляет более резко выраженные окислительные свойства, распадаются необратимо: протекает окислительное-восстановительная реакция, в ходе которой ион аммония окисляется, а анион восстанавливается.

Материалы и методы

В соответствии с поставленной целью в качестве объекта исследования была выбрана конструкционная легированная сталь 40ХН. Выбор материала исследования обоснован тем, что сталь широко применяется для изготовления ответственных нагруженных деталей, подвергающихся вибрационным и динамическим нагрузкам, к которым предъявляются требования повышенной прочности и вязкости. Перед проведением электролитно-плазменного азотирования поверхность образцов стали 40ХН размером 2×2×1 см³ была отшлифована на шлифовальной бумаге с зернистостью от P100 до P2000 и

отполирована алмазными пастами размером 0,25-0,5 мкм, затем очищена спиртом.

Электролитно-плазменное азотирование (ЭПА) образцов стали проводили на установке, которая состоит из источника питания, камеры электролитно-плазменной обработки материалов и персонального компьютера. Схема проведения ЭПА образцов показана на рисунке 1. Химический состав исследуемой стали 40ХН: С: 0.36 - 0.44%; Si: 0.17 - 0.37%; Mn: 0.5 - 0.8%; Ni: 1.0 - 1.4%; Cr: 0,45 - 0,75%; Cu: до 0,3%; S: до 0.035%; P: до 0.035% (ГОСТ 4543 - 71).

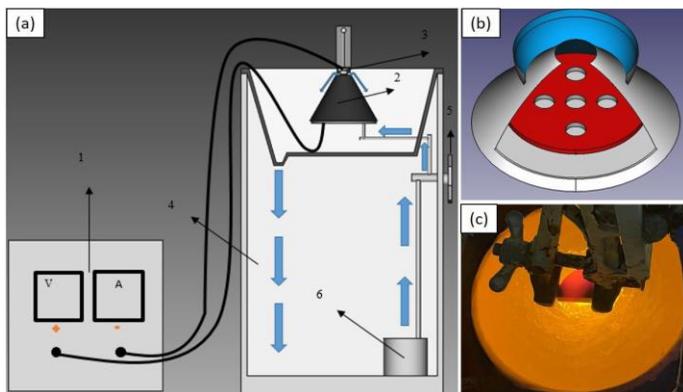
Для проведения ЭПА был выбран электролит на основе карбоната натрия и карбамида. Выбор карбамида связан с тем, что данное вещество является источником азота и углерода, а также характеризуется дешевизной и экологической безопасностью. Таким образом, ЭПА было проведено в электролитах, состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав электролита

Образец	Состав электролита	Режимы
40ХН-2	10% кальцинированная сода (Na_2CO_3) 20% карбамид ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) 70% дистиллированная вода (H_2O)	320В – 7 с 220В – 7 минут

Электролитно-плазменное азотирование проводилось следующим образом: ванна (4) наполнялась электролитом, с помощью насоса (6) электролит поступает в электролитическую ячейку (2), затем через край сливается обратно в ванну. Таким образом, электролит находится в циркуляционном режиме. Скорость подачи электролита регулируется. Обрабатываемый образец крепится с помощью специального устройства для крепления (3). Электролитическая ячейка состоит из конусообразного сопла и перегородки из нержавеющей стали, являющейся анодом. Через отверстие конусообразного сопла на обрабатываемую зону подается струя электролита. Анод подключается к положительному полюсу источника питания, а обрабатываемое изделие (катод) к его отрицательному полюсу. Для получения эффекта азотирования в электролитной плазме необходимым условием является существование устойчивой парогазовой оболочки вокруг обрабатываемого материала, в которой имеются ионы азота, которые внедряясь вглубь поверхности материала образуют азотированные слои. Для получения стабильного разряда был использован способ двухступенчатого электролитно-плазменного нагрева, который представляет собой нагрев обрабатываемого изделия (катада) до 400–500 °С аномальным разрядом при напряжении 320 В с последующим переходом на режим пленочного

кипения резким снижением напряжения до 220 В. Положительные ионы азота и металлов создают слой, прилегающий к нагретой поверхности изделия – катода. Электрические разряды проходят через этот слой и интенсифицируют процессы массопереноса. Ввод в электролит соответствующей растворимой в воде соли обеспечивает легирование поверхности изделия элементами, которые образуют положительные ионы.



1 – источник питания, 2 – электролитическая ячейка, 3 – устройство для крепления образца, 4 – ванна, 5 – регулятор подачи электролита, 6 – насос

Рисунок 1 – Схема проведения электролитно-плазменного азотирования.

- а) общая схема установки, б) схема электролитической ячейки,
- с) процесс электролитно-плазменного азотирования

Рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре X>PertPro (Philips, Нидерланды) в монохроматизированном $\text{CuK}\alpha$ -излучении при напряжении 40 кВ и анодном токе 30 мА. Съёмки осуществляли в непрерывном режиме со скоростью 0,05 град/с. Для расшифровки фазового состава использовали картотеку PDF-2. При обработке данных рентгеноструктурного анализа использовали программу автоматизированного программного комплекса PowderCell 2.4. Микроструктуру образцов выявили химическим способом травления с применением 4%-ного раствора азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте. Исследования структуры образцов проводили растровом электронном микроскопе TESCAN MIRA3 с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа.

Результаты и обсуждение

На дифрактограмме поверхности исходного образца из стали 40ХН видна кристаллическая структура, характерная только для α -Fe (ОЦК, феррит). Другие рефлексы не обнаруживаются, либо их интенсивность находится на уровне фонового «шума». Параметр кристаллической решётки, измеренный в направлении нормали к исследуемой поверхности составляет $a=2.8690\text{\AA}$. По данным рентгеновского анализа поверхностный слой после азотирования стали 40ХН в аммиачно-хлоридном и карбамидных электролитах включает нитриды Fe_2N и оксиды Fe_3O_4 , мартенсит и феррит исходной структуры. Выявлено, что при карбамидных электролитах растет интенсивность пиков Fe_2N , что свидетельствует об интенсификации диффузии азот. Предполагается образование фаз Fe_3O_4 в результате высокотемпературного окисления стали, нитридов железа Fe_2N в результате диффузии азота и мартенсит в результате закалки.

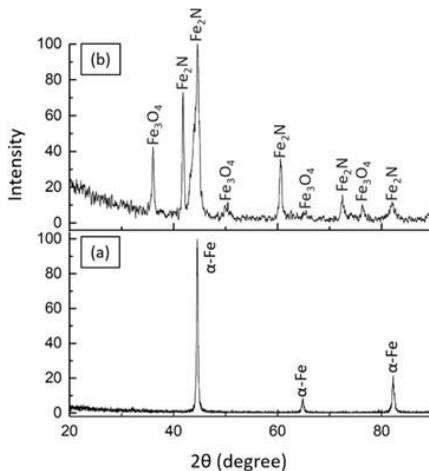
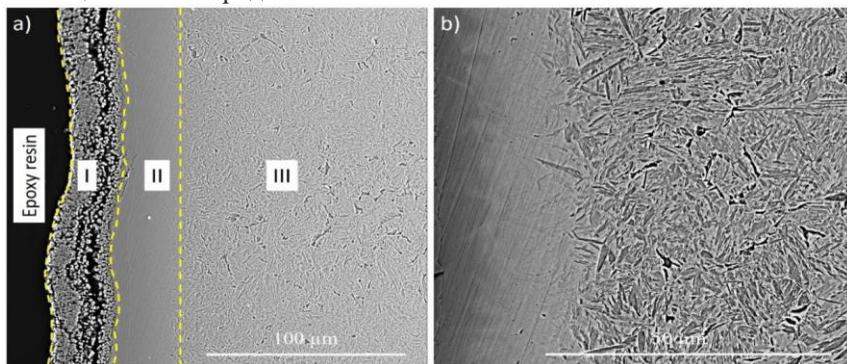


Рисунок 2 – Дифрактограммы а) исходного стали 40ХН и б) азотированного слоя 40ХН-2 после ПЭА

Таблица 2 – Данные рентгеноструктурного анализа

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, мас. %	Параметры решетки, Å
40ХН исходный	Fe_229_ОЦК	100	a=2.8690
40ХН-2	Fe2N_164_trigonal	30	a = 2.6650 c = 4.3369
	Fe2N_60_orthorombic	50	a = 4.3200 b = 5.5793 c = 4.6916
	Fe3O4_166_rhombohedral	20	a = 5.8514 c = 14.5110

На образце 40ХН-2 после азотирования в результате диффузионного насыщения азотом формируются многослойные диффузионные слои (рисунок 3). В поверхностном слое образуется оксидно-нитридная зона толщиной 25–30 мкм, содержащая, согласно данным рентгеновского анализа, нитрид железа Fe_2N и оксид железа Fe_3O_4 . Под этой зоной расположен нитридно-мартенситный подслои, часто называемый белым слоем. Далее следует третья зона внутреннего азотирования. Эта зона представляет собой гетерофазную область на основе высокоазотистого α -твердого раствора с избыточными выделениями нитридов γ' -фазы или специальных нитридов.



I – оксидно-нитридный слой; II – наружная часть нитридно-мартенситного слоя; III – внутренняя часть нитридно-мартенситного слоя

Рисунок 3 – Микроструктура поперечного сечения образца 40ХН-2

В данном случае образование мартенсита происходит только в области проникновения азота, что снижает температуру закалки. Наличие остаточного

аустенита свидетельствует о неполном мартенситном превращении. После сплошного мартенситного подслоя с дисперсными нитридами Fe₂N наблюдаются зерна мартенсита и перлита, что подтверждает неполную закалку. Согласно данным рентгеновского энергодисперсионного анализа концентрация азота максимальна непосредственно под оксидным слоем и далее снижается вглубь образца (рисунок 4), что полностью отражает чередование фаз в поверхностном слое после азотирования.

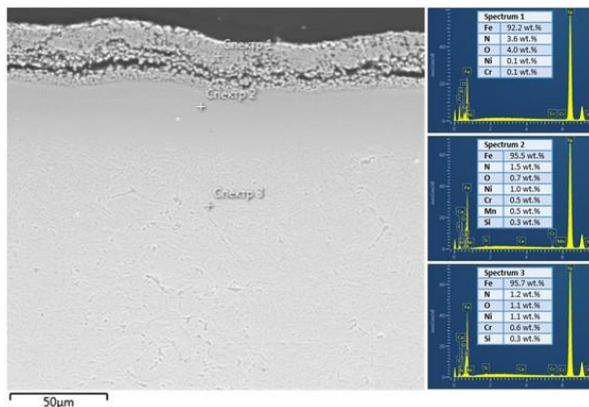


Рисунок 4 – EDS анализ образца 40XH-2

Выводы

Таким образом, на основе металлографического и рентгеноструктурного анализов определено, что после электролитно-плазменного азотирования формируются многослойные диффузионные слои. В поверхностном слое образуется оксидно-нитридная зона толщиной 25–30 мкм, содержащая нитрид железа Fe₂N и оксид железа Fe₃O₄. Под этой зоной расположен нитридно-мартенситный подслоя. Далее следует третья зона внутреннего азотирования.

Информация о финансировании

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14972599).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Belkin, P. N., Kusmanov, S. A.** Plasma electrolytic hardening of steels: Review. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 52. – 2016. – P. 531–546. <https://doi.org/10.3103/S106837551606003X>.

2 **Kusmanov, S. A., Smirnov, A. A., Kusmanova, Yu.V. and Belkin, P. N.** *Surf. Coat. Technol.* – 2015. – Vol. 269. – P. 308–313.

3 **Belkin, P. N.** Plasma Electrolytic Hardening and Nitrohardening of Medium Carbon Steels / P. N. Belkin, S. A. Kusmanov, A. A. Smirnov // Materials Science Forum. – 2016. – V. 844. – P. 146–152.

4 **Hurtado-Delgado, E., Huerta-Larumbe, L., Miranda-Pérez, A., Aguirre-Sánchez, Á.** Microcracks reduction in laser hardened layers of ductile iron. Coatings. – 2021. – 11, 3. <https://doi.org/10.3390/coatings11030368>

5 **Rakhadilov, B. K., Miniyazov, A. Z., Skakov, M. K., Sagdoldina, Z. B., Tulenbergenov, T. R., Sapataev, E. E.** Structural modification and erosion of plasma-irradiated tungsten and molybdenum surfaces. Technical Physics, 2020. – 65. – P. 382–391. – <https://doi.org/10.1134/S1063784220030202>

6 **Ayday, A., Kirsever, D., Demirkıran, A. Ş.** The effects of overlapping in electrolytic plasma hardening on wear behavior of carbon steel. Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2022. – 75. – P. 27–33. <https://doi.org/10.1007/s12666-021-02368-6>

7 **Dyakov, I. G.; Burov, S. V.; Belkin, P. N.; Rozanov, E. V.; Zhukov, S. A.** Increasing wear and corrosion resistance of tool steel by anodic plasma electrolytic nitriding. Surface and Coatings Technology 2019, 362. – P. 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.107>

8 **Kusmanov, S. A., Silkin, S. A., Smirnov, A. A., Belkin, P. N.** Possibilities of increasing wear resistance of steel surface by plasma electrolytic treatment. Wear 2017. – P. 386–387, P. 239–246. – <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.053>

9 **Kumruoglu, L. C., Becerik, D. A., Ozel, A., Mimaroglu, A.** Surface modification of medium carbon steel by using electrolytic plasma thermocyclic treatment. Materials and Manufacturing Processes. – 2009. – 24. – P. 7–8, P. 781–785. – <https://doi.org/10.1080/10426910902813034>

10 **Tabiyeva, Y. Y., Rakhadilov, B. K., Uazyrkhanova, G. K., Zhurerova,**

L. G., Maulit, A., Baizhan, D. Surface modification of steel mark 2 electrolytic plasma exposure. Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 2019. – 3, 4, P. 355–362. – <https://doi.org/10.29317/ejpfm.2019030408>

11 **Belkin, P. N., Kusmanov, S. A., Parfenov, E. V.** Mechanism and technological opportunity of plasma electrolytic polishing of metals and alloys surfaces. Applied Surface Science Advances 2020. – 1. 100016. – P. – <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2020.100016>

12 **Bayati, M. R., Molaie, R., Janghorban, K.** Surface alloying of carbonsteels from electrolytic plasma. Metal Science and Heat Treatment 2011. – 53. – P.1–2, P. 91–94. – <https://doi.org/10.1007/s11041-011-9347-5>

Поступило в редакцию 06.09.24.

Поступило с исправлениями 09.09.24.

Принято в печать 19.09.2024.

***З. А. Сатбаева¹, А. К. Сейтханова², Н. Бердимуратов³,
Д. Р. Байжан⁴, А. Маулит⁵**

¹«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.,

^{1,4,5}Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

Қазақстан Республикасы, Семей қ.

²Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{3,4,5}С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

06.09.24 ж. баспаға түсті.

09.09.24 ж. түзетулерімен түсті.

19.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЭЛЕКТРОЛИТТІ-ПЛАЗМАЛЫҚ АЗОТТАУ ӘДІСІМЕН ХРОМОНИКЕЛЬДІ БОЛАТ БЕТІН МОДИФИКАЦИЯЛАУ

Электродиттік-плазмалық азоттау - бұл болат бетінің қасиеттерін жақсарту үшін азотпен қанықтыруда қолданылатын химиялық-термиялық өңдеу ұтымды шешімі. Бұл әдіс әртүрлі эксплуатациялық жағдайда жұмыс істейтін болат пен темір негізіндегі қорытпаларды өңдеу үшін кеңінен қолданылады. Бұл жұмыста сұйық фазалық плазмалық азоттау технологиясын қолдана отырып, электродиттегі 40ХН болатының бетіне азотталған қабат алынды. Зерттеу нысаны ретінде 40ХН құрылымдық легирленген болаты таңдалды. ЭПӨ жүргізу үшін натрий карбонаты мен карбамид негізіндегі электродит таңдалды. Карбамидті таңдау себебі ол азот пен көміртектің негізгі көзі болып табылады, сонымен қатар арзан және экологиялық қауіпсіздікпен сипатталады. Азотталған қабаттың микроқұрылымы мен фазалық құрамы сканерлеуші электронды микроскопия (SEM) және рентгендік дифракция (XRD) көмегімен зерттелді және талданды. Зерттеу көрсеткендей, электродиттік-плазмалық азоттаудан кейін көп қабатты диффузиялық қабаттар пайда болады. Беткі қабатта Fe_2N темір нитридтері мен Fe_3O_4 темір оксиді бар қалыңдығы 25–30 мкм оксидті-нитридті аймақ түзіледі. Бұл аймақтың астында нитрид-мартенсит қабаты орналасқан. Одан кейін ішкі азоттаудың үшінші аймағы болып табылады.

Кілтті сөздер: электродит-плазмалық азоттау, болат, құрылым, электродит, карбамид.

*Z. A. Satbayeva¹, A. K. Seitkhanova², N. Berdimuratov³,
D. R. Baizhan⁴, A. Maulit⁵

¹PlasmaScience, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

^{1,4,5}Shakarim University of Semey city, Republic of Kazakhstan, Semey

²A. Margulan Pavlodar Pedagogical University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

^{3,4,5}S. Amanzholov East Kazakhstan University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Received 06.09.24.

Received in revised form 09.09.24.

Accepted for publication 19.09.24.

SURFACE MODIFICATION OF CHROMIUM-NICKEL STEEL BY ELECTROLYTE-PLASMA NITRIDING METHOD

Electrolyte-plasma nitriding is an attractive solution for chemical heat treatment, used to improve the surface properties of steel by implementing nitrogen saturation. This method is widely used for steel and iron-based alloys operating under various operating conditions. In this work, using liquid phase plasma nitriding technology, a nitrided layer was obtained on the surface of 40XN steel in electrolyte. Structural alloy steel 40XH was chosen as the object of the study. An electrolyte based on sodium carbonate and urea was selected for EPA. The choice of urea is associated with the fact that this substance is a source of nitrogen and carbon, as well as characterised by cheapness and environmental safety. The microstructure and phase composition of the nitrided layer were investigated and analysed using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The study showed that after electrolyte- plasma nitriding multilayer diffusion layers are formed. In the surface layer an oxide-nitride zone with a thickness of 25–30 microns containing iron nitride Fe_2N and iron oxide Fe_3O_4 is formed. Under this zone is located nitride-martensitic sublayer. This is followed by a third zone of internal nitriding.

Keywords: electrolyte-plasma nitriding, steel, structure, electrolyte, urea.

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИКА И СТАТИСТИКА»

FTAMP 27.43.17

<https://doi.org/10.48081/ENTM9258>

***Д. С. Қабдолла**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

*e-mail: Mr.dynmuhamed@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7322-8571>

ПЛАТОН ДЕНЕЛЕРІ

Мақалада Платон денелерінің симметриялары топ теориясы тұрғысынан қарастырылады. Тетраэдрлік симметрия тобына ерекше назар аударылады. 12 элементтен тұратын топтың құрылымына талдау жасалды және топтың барлық жұптарының көбейту нәтижелерін көрсететін Кали кестесі құрылды. Зерттеу физика және химия сияқты ғылымның әртүрлі салаларында Платон денелерінің симметрия теориясының қолданылуын көрсетеді. Симметриялардың осы жүйелердің физикалық және химиялық қасиеттерін болжауға қалай көмектесетінін көрсететін молекулалар мен кристалдық құрылымдардың симметрияларының мысалдары қарастырылады. Жұмыс симметрия теориясын түсінуді және оның ғылым мен білім берудегі күрделі мәселелерді шешудегі маңыздылығын тереңдетуге ықпал етеді. Алынған нәтижелер мен құрастырылған Кэйли кестелерін топ теориясы мен симметрия курстарын одан әрі зерттеу мен оқытуда қолдануға болады.

Зерттеу мақсаты – Платон денелерінің симметрияларын топ теориясы тұрғысынан зерттеу және сипаттау. Мақалада Платон денелерінің негізгі қасиеттері – тетраэдр қарастырылады. Мақаланың негізгі міндеттеріне мыналар жатады: Платон денелерінің симметрияларының теориялық негіздерін зерттеу. Тетраэдрлік симметрия тобының құрылымын талдау және осы топ үшін Кали кестесін құру. Физика мен химияда симметрия теориясының қолданылуын зерттеу. Әртүрлі жүйелердің физикалық және химиялық қасиеттерін болжау үшін симметрия теориясының маңыздылығын көрсету. Студенттердің топ теориясы мен симметрия туралы білімдерін тереңдету үшін білім беру мақсатында қолдануға болатын материалды дайындау. Сайып келгенде, мақала Платон денелерінің симметрия теориясын

түсінуді және оларды ғылымда қолдануды тереңдетуге, әрі қарай зерттеу мен оқыту үшін пайдалы ресурстармен қамтамасыз етуге бағытталған. Зерттеу нәтижелері: топ теориясын қолданатын Платон денелерінің симметриялары осы құрылымдардың ғылымдағы маңыздылығы мен пайдалылығын көрсетеді. Калидің салынған кестелері және симметрия топтарының құрылымын талдау әрі қарай зерттеу мен оқытудың маңызды құралы болып табылады. Нәтижелер физика мен химиядағы білімдерді тереңдетуге және симметрияларды түсінуге ықпал етеді, бұл әртүрлі жүйелердің қасиеттері мен мінез-құлқын болжауда практикалық маңызы бар.

Кілтті сөздер: Платондық денелер; топ теориясы; симметрия; симметрия тобы; тетраэдр; Кэли кестесі.

Кіріспе

Платондық денелер өздерінің ерекше симметриялары мен эстетикалық сұлулығының арқасында геометрия мен топ теориясында ерекше орын алады. Оларды философиясы аясында зерттеген ежелгі грек философы Платонның есімімен аталған бұл денелер тұрақты көпбұрыштар болып табылады, олардың әр беті тұрақты көпбұрыш, ал барлық шыңдары, шеттері мен бұрыштары бір-біріне тең. Табиғатта және ғылымда платондық денелер молекулалардың құрылымынан кристалдық формаларға дейінгі әртүрлі контексттерде кездеседі. Платондық денелерге бес полиэдр жатады: Тетраэдр: 4 беті бар, олардың әрқайсысы тең бүйірлі үшбұрыш. Текше (Гексаэдр): 6 беті бар, олардың әрқайсысы шаршы. Октаэдр: 8 беті бар, олардың әрқайсысы тең бүйірлі үшбұрыш. Додекаэдр: 12 беті бар, олардың әрқайсысы тұрақты бесбұрыш. Икосаэдр: 20 беті бар, олардың әрқайсысы тең бүйірлі үшбұрыш. Бұл денелердің әрқайсысында дене пішінін сақтайтын барлық мүмкін айналулар мен шағылыстарды қамтитын симметрия тобы бар. Осы симметрия топтарын зерттеу математика, физика және химияның әртүрлі салаларында құнды түсініктер береді. Мысалы, Платон денелерінің симметриялары топ теориясында, кристаллографияда және молекулалық химияда шешуші рөл атқарады. Бұл мақаланың мақсаты—Платон денелерінің симметрияларын топ теориясы тұрғысынан зерттеу, сондай-ақ олардың әртүрлі ғылыми контексттерде қолданылуын көрсету. Басқа платондық денелердің күрделі симметрияларының үлгісі ретінде қызмет ететін тетраэдрлік симметриялар тобына ерекше назар аударылады. Біз тетраэдрлік симметриялар тобының құрылымын қарастырамыз, Кэли кестесін құрамыз және оны талдаймыз. Сонымен қатар, біз теориялық нәтижелерді Платон денелерінің симметриясына ие жүйелердің физикалық және химиялық қасиеттерін түсіну үшін қалай қолдануға болатынын көрсетеміз. Осылайша, бұл зерттеу Платон денелерінің математикалық және геометриялық

аспектілерін түсінуді тереңдетіп қана қоймайды, сонымен қатар олардың ғылым мен техникадағы практикалық есептерді шешудегі маңыздылығын көрсетеді.

Материалдар мен әдістері

Платондық денелер: Бұл зерттеу келесі платондық денелерді талдады: тетраэдр, текше, октаэдр, додекаэдр және икосаэдр. Бұл тұрақты полиэдрлер бірегей симметрияға ие және топ теориясы тұрғысынан қызығушылық тудырады. Симметрия топтары: Әрбір платондық дене үшін симметрия топтары келесідей анықталады: Тетраэдр: шамамен 4 альтернативті топ A_4 Текше және октаэдр: 4 ретті симметриялық топ S_4 Додекаэдр және икосаэдр: шамамен 5 альтернативті топ A_5 . Математикалық құралдар: Топтар теориясының негізгі ұғымдары Симметрияларды талдау және Кали кестелерін құру үшін қолданылды. MATLAB және GAP (Groups, Algorithms, Programming) сияқты бағдарламалық жасақтама есептеу және визуализация үшін қолданылды. Ғылыми әдебиеттер мен оқу құралдары: Зерттеудің теориялық негізі үшін Джозеф Галлианның «заманауи дерексіз алгебра» сияқты оқулықтар, сондай-ақ Кристаллография және молекулалық химия бойынша мақалалар қолданылды.

Әдістері Симметрияларды талдау: Әрбір платондық дененің барлық симметрияларын анықтау олардың геометриялық қасиеттерін қолдана отырып жүргізілді. Симметриялар түрлерге, соның ішінде айналуды, шағылысу және аралас түрлендірулерге жіктелді. Симметрия топтарын құру: Әрбір платондық дене үшін симметрия тобы құрылды. Симметриялар топ элементтері ретінде жазылды және олардың өзара әрекеттесуі Кэйли кестелері арқылы сипатталды. Тетраэдрлік симметрия тобына арналған Кали кестесінің мысалы A_4 мамандандырылған әдебиеттер мен гар бағдарламалық жасақтамасынан табуға болады. Топ теориясын қолдану: Симметрия топтарының құрылымы топтар теориясы арқылы талданды. Кіші топтар, олардың қасиеттері мен мінездері анықталды. Бұл теориялық әдістер Платон денелерінің симметрияларының негізгі ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Есептеу әдістері: Кэйли кестелерін құру және талдау үшін гар сияқты есептеу бағдарламалары қолданылды. Есептеуді автоматтандыру симметрия топтарындағы операцияларды тексеру кезінде дәлдік пен тиімділікті қамтамасыз етті. Ғылымда қолдану: Платон денелерінің симметрияларын зерттеу молекулалық құрылымдар мен кристалдық торларды талдау үшін қолданылды. Платондық денелердің симметриясына ие молекулалар мен кристалдар олардың физикалық және химиялық қасиеттерін болжау үшін талданды.

Тетраэдрлік симметрия тобына сипаттама және зерттеу.

Тетраэдр – бірегей симметрияға ие бес Платон денесінің бірі. Тетраэдр симметрия тобы топ теориясында маңызды рөл атқарады және

математикамен ғылымның әртүрлі салаларында қосымшалары бар. Бұл мақалада тетраэдр симметрия тобының қасиеттері, оның құрылымы, басқа топтармен изоморфизм және қолдану мысалдары егжей-егжейлі қарастырылады.

Тетраэдрдің негізгі қасиеттері

Тетраэдр келесі негізгі геометриялық қасиеттерге ие:

- Беттер: 4 тұрақты Үшбұрыш.
 - Төбесі: 4 төбесі.
 - Қабырғалар: 6 қабырға.
 - Симметрия: тетраэдрдің пішінін сақтайтын айналу және шағылысу.
- Тетраэдрлік симметрия тобы Тетраэдрлік симметриялар тобы A_4 деп белгіленеді және оның пішінін сақтайтын барлық мүмкін тетраэдрлік айналулардан тұрады. Тетраэдр симметриялары шағылысуды қамтымайтынын, тек айналуы қамтитынын ескеру маңызды [1].

A_4 тобының құрылымы

1 Топ элементтері: A_4 тобында оның бағытын сақтайтын тетраэдрдің төрт шыңының барлық мүмкін болатын ауыстыруларын білдіретін 12 элемент бар.

2 Топ реті: A_4 тобының реті 12-ге тең, бұл 12 түрлі Симметрияның болуын білдіреді.

3 Басқа топтармен Изоморфизм: A_4 тобы тіпті төрт элементтің пермутация тобына изоморфты (A_4 альтернативті тобы), оның құрамында 12 элемент бар [2].

Топ элементтерін ұсыну

A_4 тобының элементтерін қарама-қарсы шеттердің шыңдары мен центрлері арқылы өтетін әртүрлі осьтердің айналасындағы айналу комбинациясы ретінде ұсынуға болады. Атап айтқанда, олар мыналарды қамтиды:

- Тривиальды айналу: айналуың болмауы (бірдей түрлендіру).
 - Қарама-қарсы беттің шыңы мен ортасынан өтетін осьтердің айналасында 120° және 240° айналу. Мұндай айналулар 8.
 - Қарама-қарсы қабырғалардың ортасынан өтетін осьтердің айналасында 180° айналу. Мұндай айналулар 3 [3].

A_4 тобын қолдану. Комбинаторика және топтар теориясы.

A_4 тобы комбинаторика мен топ теориясында, әсіресе симметрия мен пермутацияны зерттеуде маңызды рөл атқарады. Ол симметриялы объектілерді және олардың қасиеттерін талдау үшін қолданылады. Мысалы, A_4 тобы тетраэдрлік симметрияға ие болуы мүмкін молекулалар мен кристалдардың симметрияларын түсіну үшін маңызды [4;5].

Физика және химия

Физика мен химияда тетраэдр симметрия тобы молекулалық және кристалдық құрылымдарды сипаттау үшін қолданылады. Мысалы, метан молекуласы CH_4 тетраэдрлік симметрияға ие және оның қасиеттерін A_4 тобымен талдауға болады. Тетраэдр симметриясы кристалдық құрылымдарды жіктеу үшін кристаллографияда да қолданылады [6;7].

Кванттық механика

Кванттық механикада тетраэдр симметриялары кванттық жүйелердің күйлерін сипаттау үшін қолданылады. A_4 тобы жүйелердің мүмкін күйлерін жіктеуге және эксперимент нәтижелерін болжауға көмектеседі. Мысалы, тетраэдр симметрияларын атомдар мен молекулалардың спектрлік қасиеттерін талдау үшін пайдалануға болады [8].

A_4 тобының көріністері

A_4 тобының көріністерін зерттеу оның құрылымы мен қасиеттерін жақсы түсінуге мүмкіндік береді. Топтың көрінісі—оның элементтерін векторлық кеңістіктерге әсер ететін матрицалар немесе сызықтық операторлар ретінде сипаттау тәсілі. A_4 тобында симметрияларды және олардың қолданылуын талдау үшін қолдануға болатын бірнеше қысқартылмайтын көріністер бар [9].

Алгебралық қасиеттері

A_4 тобы қарапайым топ болып табылады, яғни оның тривиальды және өзінен басқа қалыпты кіші топтары жоқ. Бұл оны топтардың алгебралық теориясындағы маңызды зерттеу объектісіне айналдырады. A_4 тобының алгебралық қасиеттерінің мысалдарына оның кіші топтары, орталығы және коммутатор кіші тобы жатады [10].

Екілік көбейту:

$$\begin{aligned} a_1 \cdot a_1 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} = a_1 \\ a_1 \cdot a_2 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 3 & 4 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 3 & 4 & 2 \end{pmatrix} = a_2 \\ a_1 \cdot a_3 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 4 & 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 4 & 2 & 3 \end{pmatrix} = a_3 \\ a_1 \cdot a_4 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} = a_4 \\ a_1 \cdot a_5 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \end{pmatrix} = a_5 \\ a_1 \cdot a_6 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix} = a_6 \end{aligned}$$

$$a_1 \cdot a_7 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 1 & 3 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 1 & 3 & 2 \end{pmatrix} = a_7$$

$$a_1 \cdot a_8 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = a_8$$

$$a_1 \cdot a_9 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 1 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 1 & 4 \end{pmatrix} = a_9$$

$$a_1 \cdot a_{10} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 1 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 1 & 2 \end{pmatrix} = a_{10}$$

$$a_1 \cdot a_{11} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} = a_{11}$$

$$a_1 \cdot a_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 4 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 4 & 3 \end{pmatrix} = a_{12}$$

Нәтижелер және талқылау

Тетраэдр симметрияларын анықтау: Тетраэдр платондық денелердің бірі ретінде әр түрлі айнаруды қамтитын 12 симметрияға ие. Бұл симметриялар 4 ретті альтернативті топты құрайды A_4 , оған 12 элемент кіреді. Тетраэдрлік симметрия тобы: Топ A_4 ол келесі элементтерден тұрады: 1 бірлік элемент (сәйкестік), 8 үш рет айналу элементі және 3 екі рет айналу элементі. Бұл элементтер 4–ретті альтернативті топқа тән құрылымды құрайды. Топқа арналған Кэйли кестесі A_4 : Тетраэдрлік симметрия тобына арналған Кэйли кестесі топ элементтері арасындағы өзара әрекеттесуді визуализациялау үшін салынған. Кесте топтың окшаулануын, операциялардың ассоциативтілігін және әр элемент үшін инверсиялардың болуын көрсетеді. Топтың кіші топтары A_4 : Кіші топтарға 3–ретті үш циклдік топ кіреді. Бұл кіші топтарда топтың құрылымын растайтын үш рет айналу элементтері бар A_4 . Тетраэдр симметрияларын қолдану: Тетраэдр симметриясы молекулалық химияда метан CH_4 сияқты молекулалардың симметрияларын сипаттау үшін қолданылады. Бұл симметрия молекулалардың реактивтілігі мен тұрақтылығына әсер ететін физикалық және химиялық қасиеттерін анықтайды.

Құрылымдық талдау: Тетраэдр симметрия тобы A_4 Симметрияның жоғары дәрежесін көрсетеді, бұл оның алгебралық құрылымымен расталады. Топтың элементтері және олардың Кэйли кестесінде көрсетілген өзара әрекеттесуі теориялық үміттерге сәйкес келеді және операциялардың окшаулануы мен ассоциативтілігін растайды. Теориялық маңызы: Топты талдау A_4 топтар теориясын және оның қолданылуын түсінуді тереңдетеді. Топ A_4 бұл топ теориясындағы маңызды мысал, окшаулану, инверсиялар мен

кіші топтардың болуы сияқты қасиеттерді көрсетеді. Практикалық қолдану: Тетраэдр симметриясы молекулалық химия мен кристаллографияда өте маңызды. Тетраэдр симметрияларын түсіну жаңа материалдар мен химиялық қосылыстарды жасау үшін пайдалы молекулалар мен кристалдардың қасиеттерін болжауға және түсіндіруге мүмкіндік береді. Білім беру аспектілері: Зерттеу нәтижелері білім беру мақсатында пайдаланылуы мүмкін. Тетраэдр және топ симметрияларын зерттеу A_4 студенттерге топ теориясының дерексіз тұжырымдамаларын және олардың ғылымда нақты қолданылуын жақсы түсінуге көмектеседі. Болашақ зерттеулер: Болашақ зерттеулер күрделі полиэдрлерге және олардың симметрияларына, сондай-ақ осы симметрияларды әртүрлі ғылыми және техникалық салаларда практикалық қолдануға назар аудара алады.

Қорытынды

Тетраэдр симметриялары: Тетраэдрде топты құрайтын 12 симметрия бар A_4 . Бұл симметрияларға айналулар мен шағылыстарға сәйкес келетін бірдей түрлендіру және әр түрлі шыңдарды ауыстыру кіреді.

Симметрия тобының құрылымы: Кэйли кестесімен сипатталған тетраэдрлік симметрия тобы барлық мүмкін симметрия комбинацияларын көрсетеді. Кэйли кестесі көбейту кезінде топ элементтерінің өзара әрекеттесуін нақты көрсетеді.

Кристаллография мен молекулалық химияда қолдану: Тетраэдр симметриялары тетраэдрлік симметрияға ие метан молекуласы CH_4 сияқты молекулалық құрылымдарды сипаттауда маңызды. Бұл молекулалар мен кристалдардың физикалық және химиялық қасиеттерін болжауға мүмкіндік береді.

Теориялық маңызы: Тетраэдр симметрияларын зерттеу топтық құрылымдар мен олардың қасиеттерін зерттеуге мысалдар келтіре отырып, топ теориясын терең түсінуге ықпал етеді. Топ қарапайым, бірақ тривиальды емес топтың мысалы ретінде қызмет етеді, бұл оны білім беру мақсатында маңызды етеді.

Практикалық маңызы: Зерттеу нәтижелері оқу курстарында топ теориясы мен симметрияны оқытуда пайдалы. Олар сонымен қатар физика, химия және материалтану сияқты әртүрлі ғылыми салаларда симметрияны талдауда қолдануды табады.

Басқа платондық денелермен байланыс: Тетраэдрлік симметрия тобын зерттеу басқа платондық денелердің симметрияларын жақсырақ түсінуге мүмкіндік береді, өйткені тетраэдрді талдау үшін қолданылатын әдістер мен тәсілдерді кубқа, октаэдрге, додекаэдрге және икосаэдрге қолдануға болады.

Бұл тұжырымдар тетраэдрдің ғылымның теориялық және практикалық аспектілеріндегі маңыздылығын көрсетеді, оның симметрия мен оның қолданылуын зерттеудегі шешуші рөлін көрсетеді

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Верховский, Л. И.** Платоновы тела и элементарные частицы. – Химия и жизнь. – [Текст]. – 2006. – № 6. [Электронды ресурс]. – http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/4df74c8d-3fdd-5a12-6873-8b8d788c586e/38-41_06_2006.pdf
- 2 **Тарасов, Л. В.** Этот удивительный симметричный мир: пособие для учителя [Текст]. – М. : Просвещение. – 1982. – 176 с. – [Электронды ресурс]. – <https://sovietime.ru/geometriya/udivitelno-simmetrichnyj-mir-1982>
- 3 **Кон, П.** Универсальная алгебра [Текст]. – М. : Мир. – 1969. – 351 с. – [Электронды ресурс]. – <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/Kon1968ru.pdf>
- 4 **Куликов, Л. Я.** Алгебра и теория чисел. – [Текст]. – М. : Высшая школа. – 1979. – 559 с. – <https://mahalex.net/151-153/algebra.pdf>
- 5 **Сагалович, Ю. Л.** Введение в алгебраические коды. – [Текст]. – 2011. – 302 с. [Электронды ресурс]. – <http://iitp.ru/upload/content/790/algebcodes.pdf6>
- 6 **Курош, А. Г.** Теория групп [Текст]. – 3-е изд. – М. : Наука. – 1967. – 648 с. – [https://www.vixri.ru/d/Kurosh%20A.G. Teorija%20grupp.pdf](https://www.vixri.ru/d/Kurosh%20A.G.%20Teorija%20grupp.pdf)
- 7 **Винберг, Э. Б.** Курс алгебры [Текст]. – 2-е изд. – М. : Факториал Пресс, 2001. 504 с. – https://mathprofi.com/uploads/files/2581_f_41_e.b.vinberg-kurs-algebr-2-e-izd.pdf
- 8 **Журавлёв, Ю. И., Флёров, Ю. А., Вялый, М. Н.** Дискретный анализ. Основы высшей алгебры [Текст]. – 2-е изд. – М. : МЗ Пресс, 2007. – 224 с. – <https://vyalyu.narod.ru/da2-090419.pdf>
- 9 **Хамермеш, М.** Теория групп и ее применение к физическим проблемам. Пер. с англ. Ю. А. Данилова. – [Текст]. – М. : Мир, 1966. – 588 с. – <https://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/%D0%A5%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%88.pdf>
- 10 **Стахов, А. П., Владимиров, В. Л.** «Платоновы тела» – Эта статья рассматривает Платоновы тела с точки зрения энтропии, рекурсии и связи с «золотым сечением». – [Текст]. – <https://mathscinet.ru/files/StaxovAA.pdf>

REFERENCES

- 1 **Verkhovskii, L. I.** Platonovy tela I ehlementarnye chasticy khimiya-I zhizn [Platonic bodies and elementary particles. Chemistry and Life]. – [Text]. – 2006. – № 6. – [Electronic resource]. – https://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/4df74c8d-3fdd-5a12-6873-8b8d788c586e/38-41_06_2006.pdf
- 2 **Tarasov, L. V.** Ehtot udivitelnyj simmetrichnyj mir [This amazing symmetrical world] : posobie dlya uchitelya [Text]. – M.: Prosveshchenie, 1982. – 176 p. – [Electronic resource]. – <https://sovietime.ru/geometriya/udivitelno-simmetrichnyj-mir-1982> **Universalnaia algebra** [Text]. – M. : Mir, 1969. – 351 p. – 3 **Kon, P.** Universalnaia algebra [Universal algebra] [Text]. – M. : Mir, 1969. – 351 p. – [Electronic resource]. – <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/Kon1968ru.pdf>
- 4 **Kulikov, L. Ia.** Algebra i teoriia chisel [Algebra and number theory] [Text].– M. : Vysshiaia shkola, 1979. – 559 p. – [Electronic resource]. – <https://mahalex.net/151-153/algebra.pdf>
- 5 **Sagalovich, Iu. L.** Vvedenie v algebraicheskie kody [Introduction to algebraic codes] [Text]. 2011. – 302 p. – [Electronic resource]. – <https://iitp.ru/upload/content/790/algebpcodes.pdf>
- 6 **Kurosh, A. G.** Teoriia grupp [Theory of groups] [Text]. – 3-e izd. – M. : Nauka, 1967. – 648 p. – [Electronic resource]. – <https://www.vixri.ru/d/Kurosh%20A.G.-Teoriija%20grupp.pdf>
- 7 **Vinberg, E. B.** Kurs algebrы [Course of algebra] [Text]. – 2-e izd. – M. : Faktorial Press, 2001. – 504 p. – [Electronic resource]. – https://mathprofi.com/uploads/files/2581_f_41_e.b.vinberg-kurs-algebrы-2-e-izd.pdf
- 8 **Zhuravlev, Iu. I., Flerov, Iu. A., Vialyi, M. N.** Diskretnyi analiz. Osnovy vysshei algebrы [Discrete analysis. Fundamentals of higher Algebra] [Text]. – 2-e izd. – M. : MZ Press, 2007. – 224 p. – [Electronic resource]. – <https://vvalyy.narod.ru/da2-090419.pdf>
- 9 **Khamermesh, M.** Teoriia grupp i ee primenenie k fizicheskim problemam [Group theory and its application to physical problems] [Text]. Per. s angl. Iu. A. Danilova. – M. : Mir, 1966. – 588 p. – <https://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/%D0%A5%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%88.pdf>
- 10 **Stakhov, A. P., Vladimirov, V. L.** – «Platonovy tela». – [Platonic bodies] [Text]. – Eta statia rassmatrivaet Platonovy tela s tochki zreniia entropii, rekursii i sviazi s «zlotym secheniem». – [Electronic resource]. – <https://mathscinet.ru/files/StaxovAA.pdf>

19.09.24 ж. баспаға түсті.

27.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

09.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

***Д. С. Кабдолла**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Поступило в редакцию 19.06.24.

Поступило с исправлениями 27.06.24.

Принято в печать 09.09.2024.

ТЕЛА ПЛАТОНА

В статье рассматриваются симметрии тел Платона с точки зрения теории групп. Особое внимание уделяется группе тетраэдрической симметрии. Был проанализирован состав группы из 12 элементов и составлена таблица Кали, показывающая результаты умножения всех пар группы. Исследование демонстрирует применение теории симметрии тел Платона в различных областях науки, таких как физика и химия. Рассматриваются примеры симметрии молекул и кристаллических структур, которые показывают, как симметрии могут помочь предсказать физические и химические свойства этих систем. Работа способствует углублению понимания теории симметрии и ее важности для решения сложных проблем в науке и образовании. Полученные результаты и составленные таблицы Кейли могут быть использованы при дальнейшем изучении и преподавании курсов теории групп и симметрии.

Целью исследования является изучение и описание симметрии тел Платона с точки зрения теории групп. В статье рассматриваются основные свойства Платоновых тел – тетраэдр. К основным задачам статьи относятся: изучение теоретических основ симметрии тел Платона. Анализ структуры группы тетраэдрической симметрии и построение таблицы Кали для этой группы. Изучение применения теории симметрии в физике и химии. Показать важность теории симметрии для прогнозирования физических и химических свойств различных систем. Подготовка материала, который можно использовать в образовательных целях для углубления знаний студентов о теории групп и симметрии. В конечном счете, статья направлена на углубление понимания теории симметрии тел Платона и их применения в науке, предоставляя полезные ресурсы для дальнейших исследований и обучения. Результаты исследования: симметрии тел Платона, использующие теорию группы, подчеркивают важность и полезность этих структур в науке. Построенные таблицы Кали и анализ структуры групп симметрии являются важными инструментами для дальнейшего изучения и

обучения. Результаты способствуют углублению знаний в физике и химии и пониманию симметрий, которые имеют практическое значение для прогнозирования свойств и поведения различных систем.

Ключевые слова: Платоновы тела; теория групп; симметрия; группа симметрий; тетраэдр; таблица Кэли.

***D. S. Kabdolla**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 19.06.24.

Received in revised form 27.06.24.

Accepted for publication 09.09.24.

PLATO'S BODIES

The article examines the symmetries of Plato's bodies from the point of view of group theory. Special attention is paid to the tetrahedral symmetry group. The composition of the group of 12 elements was analyzed and a Cayley table was compiled showing the results of multiplication of all pairs of the group. The study demonstrates the application of Plato's theory of symmetry of bodies in various fields of science, such as physics and chemistry. Examples of symmetry of molecules and crystal structures are considered, which show how symmetries can help predict the physical and chemical properties of these systems. The work contributes to a deeper understanding of the theory of symmetry and its importance for solving complex problems in science and education. The results obtained and the compiled Cayley tables can be used in the further study and teaching of group theory and symmetry courses.

The aim of the study is to study and describe the symmetry of Plato's bodies from the point of view of group theory. The article discusses the main properties of Platonic bodies—tetrahedrons. The main objectives of the article include: the study of the theoretical foundations of the symmetry of Plato's bodies. Analysis of the structure of the tetrahedral symmetry group and construction of the Kali table for this group. The study of the application of the theory of symmetry in physics and chemistry. To show the importance of symmetry theory for predicting the physical and chemical properties of various systems. Preparation of material that can be used for educational purposes to deepen students' knowledge of group theory and symmetry. Ultimately, the article aims to deepen understanding of Plato's theory of symmetry of bodies and their application in science, providing useful resources for further research and education. The results

of the study: the symmetries of Plato's bodies using the theory of the group emphasize the importance and usefulness of these structures in science. The constructed Kali tables and the analysis of the structure of symmetry groups are important tools for further study and learning. The results contribute to the deepening of knowledge in physics and chemistry and the understanding of symmetries, which are of practical importance for predicting the properties and behavior of various systems.

Keywords: Platonic solids; group theory; symmetry; symmetry group; tetrahedron; Cayley table.

**СЕКЦИЯ ДИДАКТИКА ФИЗИКИ,
МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ**

<https://doi.org/10.48081/JWJZ8214>

FTAMP 27.27.15

***Б. Ж. Сағындықов¹, Ж. Бимұрат²**

¹Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: b.sagindykov@satbayev.university

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

**КВАТЕРНИОНДАР АЛГЕБРАСЫ.
КВАТЕРНИОННЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ
МЕН МЕНШІКТІ ВЕКТОРЛАРЫ**

Мақалада кватернион сандар теориясы элементтерінің арасында бөлу амалы бірімәнді анықталған ассоциативті алгебра тұрғысынан қарастырылады. Кватерниондар алгебрасының базистік бірлік элементтерінің көбейту кестесі анықталды. Коммутативтік заңдылық орындалмайтын кватерниондардың көбейту ережесі тағайындалды. Кватерниондар үшін дистрибутивтік және ассоциативтік заңдылықтардың орындалатыны айтылды. Көбейту ережесінің көмегімен Эйлер тепе-теңдігі дәлелденді. Кватернионның алгебралық, векторлық және тригонометриялық түрдегі жазбалары қарастырылды. Кватерниондар үшін Муавр формуласының аналогы көрсетілді. Кватерниондардың көбейту ережесінен кватернион мен оның матрицасының арасында бірімәнді сәйкестік (изоморфизм) орнатылатыны көрсетілді. Сонда кватерниондардың сәйкес матрицалары арқылы бұрыннан белгілі көптеген амалдарды қарастыруға мүмкіндік туатыны айтылды. Кватернионның характеристикалық матрицасы құрылды. Кватернион матрицасының меншікті мәндері мен меншікті векторларын табу үшін характеристикалық теңдеуі құрылды. Бұл теңдеу – төртінші дәрежелі алгебралық теңдеу. Характеристикалық теңдеудің коэффициенттері алғашқы рет есептеуге ыңғайлы түрде

кватернионның элементтері арқылы өрнектелді. Алгебраның негізгі теоремасы бойынша характеристикалық теңдеудің комплекс сандар жиынында төрт түбірі табылатыны айтылды және кватернион матрицасының спектрі алгебралық еселігі екіге тең өзара түйіндес комплекс сандар болатыны дәлелденді. Әрі қарай бұл түбірлердің көмкеруші минор әдісімен геометриялық еселігі табылды. Бұл ретте түбірлердің алгебралық еселіктері мен геометриялық еселіктері өзара тең болатыны анықталды. Келесі қадамда біртекті алгебралық теңдеулер жүйесін шеше отырып меншікті мәндердің сәйкес меншікті векторлары табылды.

Кілтті сөздер: кватернион, кватернион матрицасының спектрі, меншікті векторлар, Муавр формуласы, Эйлер тепе-теңдігі.

Кіріспе

Бүгінгі таңда әлемді және ондағы заңдылықтарды сипаттау тәсілдерін жеңілдететін әртүрлі математикалық теориялар бар. Солардың бірі – кватерниондар алгебрасы [1–5]. Кватерниондар нақты сандар өрісінде төрт өлшемді векторлық кеңістікті құрайтын гиперкомплекссті сандар жүйесін білдіреді. Қазіргі уақытта кватерниондар теориялық механика менқолданбалы математиканың әртүрлі салаларында кең қолдану тапты [6–12].

Практикалық қосымшалардағы кватерниондық алгебраны зерттеу тек математикалық аппаратты ғана емес, сонымен қатар кватерниондық есептеулерге негізделген кватерниондық мәселелердің шешімдерін тауып, кватерниондық алгебраның бүкіл бағытын дамыту болып табылады.

Адри Пуанкаре кватерниондар туралы былай деп жазды: «Олардыңпайда болуы алгебраның дамуына күшті серпін берді; олардан ғылымсан ұғымын жалпылау жолымен жүре отырып матрица мен сызықтықоператордың қазіргі математикада қарастырылатын тұжырымдарына келді». Математиканың іргетасында зерттелетін нысанның белгілі бір эталонға қатысты сандық жағын сипаттауға мүмкіндік беретін сан ұғымы жатыр.

Кватерниондар алгебрасы және оның қолданысы осындай мәселелердізерттеуге көмегін тигізеді.

Кватерниондар – нақты сандар өрісінде төртөлшемді векторлықкеңістікті құрайтын гиперкомплекссті сандар жүйесі.

Кватернион ұғымын математикаға У. Р. Гамильтон енгізген. Алғашқы алгебралық жұмыстардың ішінен А. Кэли, В. К. Клиффорд,

Б. Пирс және Г. Фробениус сияқты ғалымдардың еңбектерін атап өтугеболады. Олардың жұмыстарында кватерниондар мен олардың сәйкес матрицаларының арасында өзара бірімәнділік сәйкестік орнатылды және әртүрлі алгебралық жүйелердегі кватерниондардың орны анықталды [11,12].

Практикалық қолданыста комплекс айнымалы функциялар теориясыөте жиі қолданылады. Сондықтан кватернион айнымалы кватернион мәнді функциялар ішінен комплекс айнымалы регуляр функцияларға ұқсас арнайы регуляр функциялар класын бөліп қарастыру қажеттілігі туындады. Бұл бағытта Р. Фютер мен оның әріптестерінің [7,8] жұмыстарын атап өтуге болады. В.К. Клиффорд өзінің еңбектерінде комплекс сандар өрісіндегі кватерниондар (бикватерниондар) теориясын дамытты.

Материалдар мен әдістер

Кватерниондар алгебрасы деп $\{1, i, j, k\}$ базистік бірлік элементтерінің көбейту кестесі

$$\begin{aligned}i^2 &= -1, j^2 = -1, k^2 = -1; \\i \circ j &= k, j \circ k = i, k \circ i = j; \\j \circ i &= -k, k \circ j = -i, i \circ k = -j\end{aligned}$$

түрінде анықталатын \mathbb{H} нақты сандар өрісіндегі төртөлшемді алгебраны айтамыз, мұнда “ \circ ” таңбасы кватерниондық көбейтуді білдіреді. Мұндай алгебраның элементтері кватерниондар деп аталады. Кез келген $q \in \mathbb{H}$ кватернионы үшін

$$q = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k \quad (1)$$

теңдігі орындалатындай $q_0, q_1, q_2, q_3 \in \square$ нақты сандары табылады.

(1) теңдік кватернионның алгебралық түрде жазылуы деп аталады. q_0 саны кватернионның скаляр бөлігі деп аталады. $q_1 i + q_2 j + q_3 k$ қосындысы q кватернионының векторлық бөлігі деп аталады. Скалярлық бөлігі нөлге тең кватерниондарды векторлар деп атаймыз. Сонымен кватернионның векторлық формасы

$$q = q_0 + \vec{q}, \quad (2)$$

мұнда $\vec{q} = q_1 i + q_2 j + q_3 k$ түрінде жазылады.

(2) векторлық форма кватерниондардың кватерниондық көбейтіндісін ашып жазуда өте пайдалы. Мысалы q және p кватерниондарының көбейтіндісін

$$q \circ p = (q_0 + \vec{q}) \circ (p_0 + \vec{p}) = q_0 p_0 - (\vec{q}, \vec{p}) + p_0 \vec{q} + q_0 \vec{p} + [\vec{q}, \vec{p}] \quad (3)$$

теңдігі арқылы анықтаймыз. Мұнда (\cdot, \cdot) скалярлық, ал $[\cdot, \cdot]$ векторлық көбейтіндіні білдіреді.

Анықтама. $q = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k \in \mathbb{H}$ элементіне түйіндес элемент $\bar{q} = q_0 - q_1i - q_2j - q_3k$ теңдігі арқылы анықталады.

Анықтама. Әрбір $q \in \mathbb{H}$ үшін оның $\|q\| = q \circ \bar{q} = q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2$ нормасы анықталған. Егер $\|q\| = 1$ болса, онда мұндай кватернион ортонормаланған (бірлік) кватернион деп аталады. q кватернионының модулі деп $|q| = \sqrt{\|q\|} = \sqrt{q \circ \bar{q}}$ шамасын айтады.

Эйлер тепе-теңдігі

Теорема. Екі кватернионның көбейтіндісінің модулі көбейткіштер модульдерінің көбейтіндісіне тең.

Дәлелдеуі. $p = p_0 + \vec{p}$ және $q = q_0 + \vec{q}$ кватерниондары берілсін дейік. Бұлардың кватерниондық көбейтіндісін ашып жазайық:

$$\begin{aligned} p \circ q &= p_0q_0 - (\vec{p}, \vec{q}) + p_0\vec{q} + q_0\vec{p} + [\vec{p}, \vec{q}] = \\ &= (p_0q_0 - p_1q_1 - p_2q_2 - p_3q_3) + (p_1q_0 + p_0q_1 - p_3q_2 + p_2q_3)i + \\ (4) \quad &+ (p_2q_0 + p_3q_1 + p_0q_2 - p_1q_3)j + (p_3q_0 - p_2q_1 + p_1q_2 + p_0q_3)k. \end{aligned}$$

Екінші жағынан норманың анықтамасы бойынша

$$\|p \circ q\| = (p \circ q) \circ (\overline{p \circ q}) = (p \circ q) \circ (\bar{q} \circ \bar{p}) = \|p\|^2 \|q\|^2$$

немесе

$$\begin{aligned} &(p_0^2 + p_1^2 + p_2^2 + p_3^2)(q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2) = \\ (5) \quad &= (p_0q_0 - p_1q_1 - p_2q_2 - p_3q_3)^2 + (p_1q_0 + p_0q_1 - p_3q_2 + p_2q_3)^2 + \\ &+ (p_2q_0 + p_3q_1 + p_0q_2 - p_1q_3)^2 + (p_3q_0 - p_2q_1 + p_1q_2 + p_0q_3)^2 \end{aligned}$$

түрінде белгілі Эйлер тепе-теңдігі алынды.

Егер кватернионды баған-вектор түрінде қарастыратын болсақ, онда кватерниондардың (4) көбейту операциясын

$$p \circ q = \begin{pmatrix} p_0 & -p_1 & -p_2 & -p_3 \\ p_1 & p_0 & -p_3 & p_2 \\ p_2 & p_3 & p_0 & -p_1 \\ p_3 & -p_2 & p_1 & p_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 q_0 - p_1 q_1 - p_2 q_2 - p_3 q_3 \\ p_1 q_0 + p_0 q_1 - p_3 q_2 + p_2 q_3 \\ p_2 q_0 + p_3 q_1 + p_0 q_2 - p_1 q_3 \\ p_3 q_0 - p_2 q_1 + p_1 q_2 + p_0 q_3 \end{pmatrix}$$

(6)

теңдігі арқылы матрицалық түрде жазуға болады.

$$(6) \quad \text{теңдіктен} \quad q = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k \in \mathbb{H} \quad \text{кватернионның}$$

$$\text{матрицалық көрсетілімін} \quad Q = \begin{pmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0 \end{pmatrix} \quad \text{түрінде жаза}$$

аламыз.

Кватернион тригонометриялық түрде де көрсетілуі мүмкін. Ол үшін кватернионды

$$q = |q| \left(\frac{q_0}{|q|} + \frac{\vec{q}}{|q|} \right), \quad \text{мұнда} \quad \vec{q} = q_1 \vec{i} + q_2 \vec{j} + q_3 \vec{k}$$

түрінде жазып аламыз да, \vec{q} векторына коллинеар \vec{e} бірлік векторын осы теңдіктің құрамына енгіземіз. Сонда

$$q = |q| \left(\frac{q_0}{\sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}} + \frac{\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}}{\sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}} \vec{e} \right).$$

$$\text{Одан} \quad \text{әрі} \quad \cos \varphi = \frac{q_0}{\sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}} \quad \text{және}$$

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}}{\sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}} \quad \text{белгілеулерін енгізе отырып, } q \text{ кватернионның}$$

тригонометриялық жазылуын

$$q = |q|(\cos \varphi + \vec{e} \sin \varphi) \quad (7)$$

түрінде табамыз.

(7) формуланың көмегімен комплекс сандар теориясында қарастырылатын Муавр формуласының аналогын

$$(\cos \varphi + \vec{e} \sin \varphi)^n = \cos n\varphi + \vec{e} \sin n\varphi$$

түрінде жазамыз.

Кватернион матрицасының спектрі

Жалпы түрде элементтері нақты сандар болып келетін өлшемі (4x4)

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

квадрат матрицасы берілсін дейік. Осы матрицаның λ айнымалысына қатысты характеристикалық теңдеуді құрайық:

$$\det(A - \lambda E) = |A - \lambda E| = \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - \lambda & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{44} - \lambda & a_{44} \end{vmatrix} = 0.$$

Характеристикалық теңдеуді ашып жазатын болсақ, онда біз белгісіз λ параметріне қатысты

$$\lambda^4 - SpA \cdot \lambda^3 + (M_{12}^{12} + M_{13}^{13} + M_{14}^{14} + M_{23}^{23} + M_{24}^{24} + M_{34}^{34}) \lambda^2 - (M_{11} + M_{22} + M_{33} + M_{44}) \lambda + \det A = 0$$

(8)

түріндегі төртінші дәрежелі алгебралық теңдеу аламыз. Мұнда

$SpA = a_{11} + a_{22} + a_{33} + a_{44}$ өрнегі A матрицасының ізі;

$M_{11}, M_{22}, M_{33}, M_{44}$ сәйкесінше $a_{11}, a_{22}, a_{33}, a_{44}$ элементтерінің

минорлары; M_{12}^{12} өрнегі A матрицасының бірінші, екінші жолдары мен бірінші, екінші бағандарын сызып тасталғаннан қалған матрицаның миноры.

Алгебраның негізгі теоремасы бойынша (13) теңдеудің комплекс сандар жиынында міндетті түрде төрт түбірі табылады.

Енді A матрицасы үшін $Q = [q_0, q_1, q_2, q_3]$ кватернионының матрицалық көрсетілімі болатын

$$Q = \begin{pmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0 \end{pmatrix}$$

матрицасын қарастырайық. Осы матрицаның характеристикалық теңдеуін (8) формуланы қолдана отырып ашып жазайық. Ол үшін алдымен (8) теңдеудің Q матрицасына қатысты коэффициенттерін анықтаймыз:

$$\begin{aligned} SpQ &= 4q_0, \quad M_{12}^{12} = q_0^2 + q_1^2, \quad M_{13}^{13} = q_0^2 + q_2^2, \quad M_{14}^{14} = q_0^2 + q_3^2, \\ M_{23}^{23} &= q_0^2 + q_3^2, \quad M_{24}^{24} = q_0^2 + q_2^2, \quad M_{34}^{34} = q_0^2 + q_1^2, \\ M_{11} &= M_{22} = M_{33} = M_{44} = q_0(q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2). \end{aligned}$$

Сонда Q матрицасының характеристикалық теңдеуі

$$\begin{aligned} &\lambda^4 - 4q_0\lambda^3 + (6q_0^2 + 2q_1^2 + 2q_2^2 + 2q_3^2)\lambda^2 - \\ &- 4q_0(q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2)\lambda + (q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2)^2 = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

түрде жазылады, мұнда $q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = \|Q\|$ – $Q = [q_0, q_1, q_2, q_3]$ кватернионының нормасы. Олай болса (14) теңдеуді

$$\lambda^4 - 4q_0\lambda^3 + (4q_0^2 + 2\|Q\|)\lambda^2 - 4q_0\|Q\|\lambda + \|Q\|^2 = 0 \quad (10)$$

түрде жазуға болады.

(10) теңдеу λ параметріне қатысты төртінші дәрежелі алгебралық теңдеу. Демек оның комплекс сандар жиынында төрт түбірі табылады. Ол түбірлерді табу үшін

$$\lambda = k + q_0 \quad (11)$$

алмастыруын жасаймыз, сонда

$$\begin{aligned} \lambda^2 &= k^2 + 2kq_0 + q_0^2, \\ \lambda^3 &= k^3 + 3k^2q_0 + 3kq_0^2 + q_0^3, \\ \lambda^4 &= k^4 + 4q_0k^3 + 6q_0^2k^2 + 4q_0^3k + q_0^4. \end{aligned}$$

Бұл алмастыруларды (10) теңдеуге қойып, ұқсас мүшелерін біріктіреміз. Нәтижесінде k айнымалысына қатысты

$$k^4 + (-2q_0^2 + 2\|Q\|)k^2 + q_0^4 - 2q_0^2\|Q\| + \|Q\|^2 = 0 \quad (12)$$

түріндегі биквадрат теңдеу алынады, мұнда

$$Q = q_0 + \vec{q}, \quad \vec{q} = q_1\vec{i} + q_2\vec{j} + q_3\vec{k},$$

$$\|Q\| = q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = q_0^2 + |\vec{q}|^2.$$

Соңғы теңдіктен $q_0^2 = \|Q\| - |\vec{q}|^2$ табамыз. Әрі қарай (12) теңдеудің құрамына кіретін q_0^2 шамасын табылған өрнекпен алмастырамыз. Сонда (12) характеристикалық теңдеу

$$\left(k^2 + |\vec{q}|^2\right)^2 = 0 \text{ немесе } k^2 + |\vec{q}|^2 = 0$$

түрде жазылады. Бұдан $k_{1,2} = \pm i|\vec{q}|$. Демек $\lambda_{1,2} = q_0 \pm i|\vec{q}|$, мұнда $i^2 = -1$. Сонымен Q матрицасының әрқайсысының алгебралық еселігі екіге тең

$$\lambda_1 = q_0 + i|\vec{q}| \quad \text{және} \quad \lambda_2 = q_0 - i|\vec{q}|$$

түбірлері табылды, мұнда $|\vec{q}| = \sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}$.

Одан әрі λ_1 және λ_2 түбірлерінің геометриялық еселігін табу үшін $(Q - \lambda_1 E)$ және $(Q - \lambda_2 E)$ матрицаларының рангларын есептейміз. Көмкеруші минор әдісімен бұл характеристикалық матрицалардың ранглары екіге тең болатынына көз жеткізу қиындық туғызбайды:

$$\text{rang}(Q - \lambda_1 E) = \text{rang}(Q - \lambda_2 E) = 2.$$

Демек бұл түбірлердің геометриялық еселіктері де екіге тең, өйткені

$S_k = n - r_k = 2$. Бұл ретте түбірлердің алгебралық еселіктері мен геометриялық еселіктері өзара тең. Сондықтан олардың әрбір меншікті мәнге қосатын үлестері $(C_1 \vec{h}_1 + C_2 \vec{h}_2) e^{\lambda t}$ түрінде жазылатын екі сызықты тәуелсіз меншікті векторлары табылады.

Келесі қадамда осы меншікті векторларды табайық. Ол үшін $(Q - \lambda_1 E) \vec{h}_1 = \vec{0}$ және $(Q - \lambda_2 E) \vec{h}_2 = \vec{0}$ жүйелерінен \vec{h}_1 және \vec{h}_2

меншікті векторларын табамыз, мұнда $\vec{h}_1 = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$ және $\vec{h}_2 = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$ дейік.

Бірінші жолы $(Q - \lambda_1 E) \vec{h}_1 = \vec{0}$ жүйесін ашып жазайық, сонда

$$\begin{pmatrix} -i|\vec{q}| & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & -i|\vec{q}| & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & -i|\vec{q}| & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & -i|\vec{q}| \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

немесе

$$\begin{cases} -i|\vec{q}|a_0 - q_1a_1 - q_2a_2 - q_3a_3 = 0, \\ q_1a_0 - i|\vec{q}|a_1 - q_3a_2 + q_2a_3 = 0, \\ q_2a_0 + q_3a_1 - i|\vec{q}|a_2 - q_1a_3 = 0, \\ q_3a_0 - q_2a_1 + q_1a_2 - i|\vec{q}|a_3 = 0 \end{cases}$$

түріндегі алгебралық теңдеулер жүйесі алынады. Алынған жүйеде тәуелсіз теңдеулердің саны екіге тең. Сондықтан алғашқы екі теңдеуін аламыз (шын мәнісінде кез келген екі теңдеуді алуға болады):

$$\begin{cases} -i|\vec{q}|a_0 - q_1a_1 - q_2a_2 - q_3a_3 = 0, \\ q_1a_0 - i|\vec{q}|a_1 - q_3a_2 + q_2a_3 = 0. \end{cases}$$

(13) теңдеулер жүйесінде a_0 , a_1 белгісіз, ал a_2 , a_3 еркін тұрақтылар деп қабылдайық. Жүйені шешу үшін Крамер ережесін пайдаланамыз:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -i|\vec{q}| & -q_1 \\ q_1 & -i|\vec{q}| \end{vmatrix} = -q_2^2 - q_3^2;$$

$$\Delta_{a_0} = \begin{vmatrix} q_2 a_2 + q_3 a_3 & -q_1 \\ q_3 a_2 - q_2 a_3 & -i|\vec{q}| \end{vmatrix} = -i|\vec{q}|(q_2^2 + q_3^2);$$

$$\Delta_{a_1} = \begin{vmatrix} -i|\vec{q}| & q_2 a_2 + q_3 a_3 \\ q_1 & q_3 a_2 - q_2 a_3 \end{vmatrix} = -q_1(q_2^2 + q_3^2).$$

Крамер формулалары бойынша a_0 , a_1 белгісіздерін

$$a_0 = \frac{\Delta_{a_0}}{\Delta} = i|\vec{q}|, \quad a_1 = \frac{\Delta_{a_1}}{\Delta} = q_1$$

теңдіктері арқылы табамыз. Демек $\lambda_1 = q_0 + i|\vec{q}|$ меншікті мәніне тиесілі \vec{h}_1

меншікті векторы $\vec{h}_1 = \begin{pmatrix} i|\vec{q}| \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix}$ түрінде табылды.

Осы алгоритмді $\lambda_2 = q_0 - i|\vec{q}|$ меншікті мәніне қолданатын болсақ, онда оған тиесілі \vec{h}_2 меншікті векторы $\vec{h}_2 = \begin{bmatrix} -i|\vec{q}| & q_1 & q_2 & q_3 \end{bmatrix}^T$ түрінде табылады, өйткені $\lambda_2 = \bar{\lambda}_1$.

Табылған \vec{h}_1 және \vec{h}_2 меншікті векторлардың дұрыстығын $Q \cdot \vec{h}_1$ және $Q \cdot \vec{h}_2$ матрицаларының көбейтіндісін есептеу және

$$Q \cdot \vec{h}_1 = (q_0 + i|\vec{q}|)\vec{h}_1; \quad Q \cdot \vec{h}_2 = (q_0 - i|\vec{q}|)\vec{h}_2$$

теңдіктерін тікелей тексеру арқылы көз жеткізуге болады. Мысалы, бірінші теңдіктің дұрыстығын дәлелдейік:

$$Q \cdot \vec{h}_1 = \begin{pmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i|\vec{q}| \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} iq_0|\vec{q}| - |\vec{q}|^2 \\ iq_1|\vec{q}| + q_0q_1 \\ iq_2|\vec{q}| + q_0q_2 \\ iq_3|\vec{q}| + q_0q_3 \end{pmatrix} = (q_0 + i|\vec{q}|)\vec{h}_1$$

Нәтижелер мен талқылаулар

Мақала барысында кватернион матрицасының спектрі, яғни меншікті мәндері мен меншікті векторлары табылды және қасиеттері анықталды:

1) меншікті мәндерді табу үшін басқа жұмыстарда қарастырылмаған авторлық (8) характеристикалық теңдеу құрылды;

2) меншікті мәндер бойынша табылған меншікті векторлардың сызықтық тәуелсіз болатыны көрсетілді.

Тақырыптың өзектілігі жаңа технологиялардың дамуына ықпал етіп келе жатқан математиканың қолданысын кеңейту және жоғары мектеп студенттерінің ғылыми шығармашылық қабілетін арттыру болып табылады. Сондықтан бұл жұмыс кватернион алгебрасы мен кватернион айнымалы функцияларды зерттеу барысында әдістемелік құрал болады деген ойдамыз.

Қорытынды

Кватерниондар алгебрасы және кватернион айнымалы кватернион мәнді функциялар теориясы техникалық университеттерде оқылмайды. Қазіргі таңда кватерниондар теориясы роботехника мен ұшқышсыз ұшу аппараттарына, әсіресе олардың ішінде квадрокоптерлерге қолданыла бастады. Көбінесе мұндай мәселелермен техникалық университетте оқитын студенттер айналысады. Сондықтан оларды алдымен кватерниондар алгебрасымен таныстыруды жөн көрдік. Мақаланың өзегі кватернион матрицасының характеристикалық теңдеуінің өзгеше түрде құрылуы және оның спектрі табу болып табылады.

Кейінірек спектр бойынша кватернион айнымалы элементар кватерниондық функциялардың кестесін құруға болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Кантор И. Л., Солодовников А. С.** Гиперкомплексные числа. М. : Наука. – 1973. – 144 с.

2 **Понтрягин Л. С.** Обобщения чисел. М. : Наука, 1986. – 120 с. – 2003 Москва: Едиториал УРСС, 2003

3 **Арнольд В. И.** Геометрия кватернионов. М.: МЦНМО, 2017. – 143 с.

4 **Altmann, S. L. Hamilton, Rodrigues, and the quaternion scandal** / S.L. Altmann // *Mathematics Magazine*. – 1989. – Vol. 62, № 5. – P. 291–308.

5 **Арнольд В. И.** Геометрия комплексны чисел, кватернионов и спинов. М.: МЦНМО, 2002.

6 **Сагиндыков Б. Ж., Джумагулова Н. Б.** /Elementary functions of a quaternion variable and some applications // *Journal of Social Sciences Research*. Vol.7, № 2. ISSN 2321–1091. – April 13, 2015. с. 1265–1270.

7 **Hanson A. J.** Visualizing quaternions. Morgan – Kaufmann/Elsevier, 2006.

8 **Bauchau O. A., Trainelli L.** The vectorial parametrization of rotation // *Nonlinear Dynamics*. – 2003. – Vol. 32. – P. 71–92.

9 **Pobegailo A. P.** Construction of spline curves on smooth manifolds by action of Lie groups // *LMS J. Comput. Math*. 2015. – Vol.18. – № 1. – P. 217–230.

10 **Конвей Дж. К** 64. О кватернионах и октавах, об их геометрии, арифметике и симметриях. М. : МЦНМО, 2009. – 184 с.

11 **Bender C., & Chakrabarti D.** Polarization identities. *Linear Algebra and its Applications*, 2023. – Vol. 665. – P. 211–252. – <https://doi.org/10.1016/j.laa.2023.02.006>

12 **Guo, Z., Jiang T., Vasil'ev, V.I., & Wang, G.** A novel algebraic approach for the Schrödinger equation in split quaternionic mechanics. *Applied Mathematics Letters*, 2023. – Vol. 137. – <https://doi.org/10.1016/j.aml.2022.108485>

REFERENCES

1 **Kantor, I. L., & Solodnikov, A. S.** Giperkompleksnyye chisla (Moscow: Nauka, 1973), 144 p. (in Russ).

2 **Pontriagin, L. S.** Oboбshcheniia chisel (Moscow: Nauka, 1986), 120 p. 3

Arnold, V. I. Geometriia kvaternionov (Moscow: MCCME, 2017), 143 p.4

Altmann, S. L. Hamilton, Rodrigues, and the quaternion scandal.

Mathematics Magazine, 62(5). – 1989. – P. 291–308.

5 **Arnold, V. I.** Geometry of complex numbers, quaternions and spins. In: *The Breadth and Depth of Mathematics*. Moscow: MCCME. – 2002.

6 **Sagindykov, B. Zh., & Jumagulova, N. B.** (2015) Elementary functions of a quaternion variable and some applications. *Journal of Social Sciences Research*, 7(2), P. 1265–1270.

7 **Hanson A. J.** Visualizing quaternions. Morgan – Kaufmann/Elsevier, 2006.

8 **Bauchau O. A., Trainelli L.** The vectorial parametrization of rotation // *Nonlinear Dynamics*. – 2003. – Vol. 32. – P. 71–92.

9 **Pobegailo A. P.** Construction of spline curves on smooth manifolds by action of Lie groups // *LMS J. Comput. Math*. 2015. – Vol.18. – № 1. – P. 217–230.

10 **Конвей Дж. К** 64. О кватернионах и октавах, об их геометрии,

арифметике и симметриях. М.: МЦНМО, 2009. – 184 с.

11 **Bender C., & Chakrabarti D.** Polarization identities. *Linear Algebra and its Applications*, 2023. – Vol. 665. – P. 211–252. – <https://doi.org/10.1016/j.laa.2023.02.006>

12 **Guo, Z., Jiang T., Vasil'ev, V.I., & Wang, G.** A novel algebraic approach for the Schrödinger equation in split quaternionic mechanics. *Applied Mathematics Letters*, 2023. – Vol. 137. – <https://doi.org/10.1016/j.aml.2022.108485>

15.06.24 ж. баспаға түсті.

05.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

09.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

Б. Ж., Сагиндыков¹, Ж. Бимурат²

¹Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

²Институт горного дела имени Д. А. Кунаева Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 15.06.24.

Поступило с исправлениями 05.08.24.

Принято в печать 09.09.2024.

АЛГЕБРА КВАТЕРНИОНОВ. СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КВАТЕРНИОНОВ И СОБСТВЕННЫЕ ВЕКТОРЫ

В статье операция деления между элементами теории кватернионных чисел рассматривается с точки зрения однозначно определенной ассоциативной алгебры. Определена таблица умножения основных элементов алгебры кватернионов. Установлено правило умножения для кватернионов, не обладающих свойством коммутативности. Было сказано, что для кватернионов выполняются дистрибутивные и ассоциативные законы. С помощью правила умножения доказано равновесие Эйлера. Рассмотрены алгебраическая, векторная и тригонометрическая записи кватерниона. Показан аналог формулы Муавра для кватернионов. На основе правила умножения кватернионов было показано, что между кватернионом и его матрицей устанавливается однозначное соответствие (изоморфизм). Тогда было сказано, что многие известные ранее операции можно рассматривать через соответствующие матрицы кватернионов.

Была создана характеристическая матрица кватерниона. Для нахождения собственных значений и собственных векторов матрицы кватернионов получено характеристическое уравнение. Это уравнение представляет собой алгебраическое уравнение

четвертой степени. Впервые для удобства расчета коэффициенты характеристического уравнения выражены через элементы кватерниона. Согласно основной теореме алгебры в множестве комплексных чисел характеристическое уравнение имеет четыре корня. Доказано, что спектр матрицы кватернионов представляет собой взаимно-сопряженные комплексные числа, алгебраическая кратность которых равна двум. Далее методом окаймляющего минора найдена геометрическая кратность этих корней.

При этом было установлено, что алгебраические и геометрические кратные корней равны между собой. На следующем этапе путем решения системы однородных алгебраических уравнений были найдены соответствующие собственные векторы собственных значений.

Ключевые слова: кватернион, спектр матрицы кватерниона, собственные векторы, формула Муавра, Эйлерово тождество.

B. Zh. Sagindykov¹, Zh. Bimurat²

¹Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

²Mining Institute named after D. A. Kunayev

Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 15.06.24.

Received in revised form 05.08.24.

Accepted for publication 09.09.24.

QUATERNION ALGEBRA. QUATERNION EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

This article explores the division operation among elements of quaternion number theory from the perspective of a uniquely defined associative algebra. The multiplication table of the fundamental elements of quaternion algebra is defined. A multiplication rule for quaternions, not possessing commutativity, is established. It is stated that quaternions adhere to distributive and associative laws. Euler's equilibrium is proven using the multiplication rule. Algebraic, vector, and trigonometric representations of quaternions are discussed. An analogue of the De Moivre's formula for quaternions is demonstrated. Based on the quaternion multiplication rule, a one-to-one correspondence (isomorphism) between a quaternion and its matrix is established. It is then asserted that many previously known operations can be considered through corresponding

quaternion matrix representations.

A characteristic matrix for a quaternion is introduced. The characteristic equation for finding eigenvalues and eigenvectors of quaternion matrices is derived. This equation takes the form of a fourth-degree algebraic equation. For computational convenience, the coefficients of the characteristic equation are expressed in terms of quaternion elements. According to the fundamental theorem of algebra, the characteristic equation in the set of complex numbers has four roots. It is proven that the spectrum of the quaternion matrix consists of mutually conjugate complex numbers, each having an algebraic multiplicity of two. The geometric multiplicity of these roots is then determined using the method of the adjugate minor. Importantly, it is established that algebraic and geometric multiplicities of the roots are equal.

In the subsequent stage, the corresponding eigenvectors of the eigenvalues are found by solving a system of homogeneous algebraic equations.

Keywords: quaternion, spectrum of quaternion matrix, eigenvectors, De Moivre's formula, Euler equilibrium.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Кудрявцева Ирина, PhD, Физика институтының ғылыми қызметкері, Тарту университеті, Тарту қ., 50090, Эстония, e-mail: irina.kudriavtseva@ut.ee, <https://orcid.org/0009-0007-0693-6247>

Красников Алексей, PhD, Физика институтының ғылыми қызметкері, Тарту университеті, Тарту қ., 50090, Эстония, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0001-6977-8468>

Шаблонин Евгений, PhD, Физика институтының ғылыми қызметкері, Тарту университеті, Тарту қ., 50090, Эстония, e-mail: jevgeni.sablonin@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0002-3910-5913>

Потапенко Александра Олеговна PhD, қауымд. профессор (доцент), «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alxopt@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9523-5333>

Сембенова Асель Абуталиповна, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы бойынша магистрант, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asel.icq@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7473-9365>

Юсупова Асель Оразовна, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aselasp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

Сағындықов Бимұрат Жұмабекович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050014, Қазақстан Республикасы, e-mail: b.sagindykov@satbavev.university, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Бимұрат Жанар, PhD, Кіші 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>

Дауқенов Нұржан Нурланұлы, «Аспап жасау» мамандығы бойынша магистрант, «Электрондық инженерия» кафедрасы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.daukenov@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0004-3961-594X>

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 Бибігул 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>

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>

Әбенова 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>

Сатбаева Зарина Аскарбековна, профессор, «PlasmaScience» ЖШС аға ғылыми қызметкері, Өскемен қ., 071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., Қазақстан Республикасы e-mail: satbaeva.z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>

Сейтханова Айнур Кусбековна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, PhD, қауымд. профессор, Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ainur1179@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

Бердимуратов Нурбол, ҒЗО кіші ғылыми қызметкері, «Беттік Инженерия және трибология», С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., 0700040, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurbol.ber@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Байжан Дарын, докторант, ҒЗО аға ғылыми қызметкері, «Беттік Инженерия және трибология», С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Өскемен қ., 071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: daryn.baizhan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6880-6439>

Мәуліт Алмасбек, С. Аманжолов атындағы ШҚУ Сандық технологиялар және, үлгілеу зертханасының аға ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің докторанты, Семей қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: maulit.almas@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9105-3129>

Қабдолла Дінмұхамед Сембайұлы, «7M05401 – Математика» білім беру бағдарламасының магистранты, «Computer Science» факультеті, Торайғыров

университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Mr.dynmuhamed@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7322-8571>

Мельничук Сергей Васильевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Физикалық факультет, Томбы мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ., 634050, Ресей Федерациясы, e-mail: osbereg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0431-1554>

Ли Оксана Сергеевна, информатика магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: li.o@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

Ткач Галина Михайловна, информатика магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: galina_tkach_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

Рудченко Владислав Анатольевич, студент, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: vladislav29120805@mail.com, <https://orcid.org/0009-0000-1268-5076>

Ахметшин Рим Рамильевич, «информатика және компьютерлік ғылымдар» мамандығы бойынша магистрант, Технологиялық факультет, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: rakhmietshin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3183-8238>

Тлебаев Манат Бейшеневич, техника ғылымдарының докторы, профессор, технологиялық факультет, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mb.tlebavev@dulatv.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1246-027X>

Тасжурекова Жазира Кудайбергеновна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а, Технологиялық факультеті, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhk.taszhurekova@dulatv.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8307-9417>

Абдул Қадыр, PhD, профессор, Шукур бизнес әкімшілік университеті, Шукур, 65200, Пәкістан, e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

Исупов Нурлыбек Айдарғалиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Кисабекова Асемгүль Агибаевна, PhD, қауымд. профессор, Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: akisabekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

Каримова Раушан Марденовна, PhD, оқытушы зерттеуші, қауымд. профессор, Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: karimovaraushan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

Жумабеков Алмар Жумағалиевич, PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), «Computer Science» факультеті, Торайгыров университеті, 140008, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кудрявцева Ирина, PhD, научный сотрудник, Институт физики, Тартуский университет, г. Тарту, 50090, Эстония, e-mail: irina.kudrjajtseva@ut.ee, <https://orcid.org/0009-0007-0693-6247>

Красников Алексей, PhD, научный сотрудник, Институт физики, Тартуский университет, г. Тарту, 50090, Эстония, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0001-6977-8468>

Шаблонин Евгений, PhD, научный сотрудник, Институт физики, Тартуский университет, г. Тарту, 50090, Эстония, e-mail: jevgeni.sablonin@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0002-3910-5913>

Потапенко Александра Олеговна, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайғыров университет, Факультет «Computer Science», Павлодар қ., 140008, Республика Казахстан, e-mail: alxopt@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9523-5333>

Сембенова Асель Абуталиповна, магистрант по специальности «Информационные системы», Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asel.icq@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7473-9365>

Юсупова Асель Оразовна, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет Электроэнергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aselasp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

Сагиндыков Бимурат Жумабекович, кандидат физика-математических наук, ассоц. профессор, КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, г. Алматы 050014, Республика Казахстан, e-mail: b.sagindykov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Бимурат Жанар, PhD, младший научный сотрудник, Институт горного дела имени Д. А. Кунаева, г. Алматы, 050016, Республика Казахстан, e-mail: bimuratzhanar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Даукенов Нуржан Нурланулы, магистрант, специальность «Приборостроение», кафедра «Электронной инженерии», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: n.daukenov@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0004-3961-594X>

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайгыров 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, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Балгабаева Галия Серикбаевна, ст. преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Абенова Асем Тулегеновна, старший преподаватель, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Сатбаева Зарина Аскарбековна, профессор-исследователь, ст. научный сотрудник ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, университета имени Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан, e-mail: satbaeva.z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>

Сейтханова Айнур Кусбековна, кандидат физико-математических наук, PhD, ассоциированный профессор Павлодарского педагогического университета, Республика Казахстан, г. Павлодар e-mail: ainur1179@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

Бердимуратов Нурбол, младший научный сотрудник НИЦ «Инженерия поверхности и трибология», Восточно Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, e-mail: nurbol.ber@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Байжан Дарын, докторант, ст. научный сотрудник НИЦ «Инженерия поверхности и трибология» Восточно Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, Республика Казахстан, e-mail: daryn.baizhan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6880-6439>

Маулит Алмасбек, докторант, ст. научный сотрудник Лаборатории цифровых технологий и моделирования Восточно Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, Республика Казахстан, e-mail: maulit.almas@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9105-3129>

Кабдолла Динмухамед Сембаевич, магистрант образовательной программы «7M05401 – Математика», Торайғыров университет, факультет «Computer Science», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Mr.dynmuhamed@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7322-8571>

Мельничук Сергей Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, 634050, Российская Федерация, e-mail: osbereg@vandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0431-1554>

Ли Оксана Сергеевна, магистр информатики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: li.o@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

Ткач Галина Михайловна, магистр информатики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: galina_tkasch_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

Рудченко Владислав Анатольевич, студент, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: vladislav29120805@mail.com, <https://orcid.org/0009-0000-1268-5076>

Ахметшин Рим Рамильевич, магистрант по специальности «информатика и компьютерные науки», Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: rakhmietshin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3183-8238>

Тлебаев Манат Бейшеневич, доктор технических наук, профессор, Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: mb.tlebayev@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1246-027X>

Тасжурекова Жазира Кудайбергеновна, кандидат технических наук, и.о. доцента, Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: zhk.taszhurekova@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8307-9417>

Абдул Қадыр, PhD, профессор, Шукур университет бизнес администрирования, Шукур 65200, Пакистан, e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич, кандидат физико-математических наук, доцент, факультет «Computer Science», Торайғыров университет,

г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: nurlybek_79@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, ассоц. профессор, Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: akisabekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

Кәрімова Раушан Марденқызы, PhD, оқытушы зерттеуші, Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: karimovaraushan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

Жумабеков Алмар Жумағалиевич, доктор философии PhD, ассоциированный профессор (доцент), Факультет «Computer Science», Торайгыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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>

Kudryavtseva Irina, PhD, Research Fellow of Solid State Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, 50090, Estonia, e-mail: irina.kudryavtseva@ut.ee, <https://orcid.org/0009-0007-0693-6247>

Krasnikov Aleksei, PhD, Research Fellow of Solid State Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, 50090, Estonia, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0001-6977-8468>

Evgeni Shablonin, PhD, Research Fellow of Solid State Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, 50090, Estonia, e-mail: jevgeni.sablonin@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0002-3910-5913>

Potapenko Alexandra Olegovna, PhD, associate professor, Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alxopt@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9523-5333>

Sembenova Assel Abutalipovna, master's student in «Information Systems» Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asel.icq@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7473-9365>

Yussupova Assel Orazovna, PhD, associate professor, Faculty of «Electrical Power Engineering», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aselasp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5516-3024>

Sagindykov Bimurat Zhumabekovich, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, KazNRTU named after K. I. Satbayev Almaty, 050014, Republic of Kazakhstan, e-mail: b.sagindykov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Bimurat Zhanar, PhD, Junior Research Scientist, Mining Institute named after D. A. Kunaev, Almaty, 050016, Republic of Kazakhstan, e-mail: bimuratzhanar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Daukenov Nurzhan Nurlanuly, master student in «Instrumentation», Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Department of «Electronics Engineering», Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.daukenov@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0004-3961-594X>

Satbayeva Zarina, Science Professor, Senior Researcher of PlasmaScience LLP, Ust-Kamenogorsk, Shakarim University of Semey, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: satbaeva.z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>

Seitkhanova Ainur, PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, A. Margulan Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ainur1179@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8610-5492>

Berdimuratov Nurbol, Junior Research, Research Centre «Surface Engineering and Tribology», S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurbol.ber@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>

Baizhan Daryn, Doctoral student, Senior Researcher of the Research Centre «Surface Engineering and Tribology», S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, Shakarim University of Semey, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: daryn.baizhan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6880-6439>

Maulit Almasbek, Doctoral student, Senior Researcher, Laboratory of Digital Technologies and Modelling, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, Shakarim University of Semey, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: maulit.almas@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9105-3129>

Kabdolla Dinmukhamed Sembayevich, Master's student in «7M05401 – Mathematics», Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Mr.dynmuhamed@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7322-8571>

Melnichuk Sergey Vasilyevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, National Research Tomsk State University, Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: osberg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0431-1554>

Li Oksana Sergeevna, MA in Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: li.o@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0005-4071-3763>

Galina Tkach, MA in Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: galina_tkach_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-4263>

Rudchenko Vladislav, student, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: vladislav29120805@mail.com, <https://orcid.org/0009-0000-1268-5076>

Akhmetshin Rim Ramilevich, Master student in «Informatics and computer science», Faculty of Technology, Taraz regional university named after M. Kh.Dulaty, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: rakhmietshin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-3183-8238>

Tlebaev Manat Beishenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Technology, Taraz regional university named after M. Kh. Dulaty, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mb.tlebayev@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1246-027X>

Taszhurekova Zhazira Kudaibergenovna, Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Faculty of Technology, Taraz regional university named after M. Kh. Dulaty, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhk.taszhurekova@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8307-9417>

Abdul Qadir, PhD, professor, Sukkur IBA University, Sukkur, 65200, Pakistan, e-mail: aqadir@iba-suk.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-0506-2417>

Ispulov Nurlybek Aidargalievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Kissabekova Assemgul, PhD, Associate Professor, Margulan University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akisabekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

Karimova Raushan Mardenovna, PhD, Lecturer, Researcher, Margulan University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: karimovaraushan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2811-9751>

Zhumabekov Almar Zhumagalievich, Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, Associate Professor, Faculty of energy, «Toraighyrov 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, «Toraigyrov University», Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Balgabayeva Galiya Serikbaevna, senior teacher, Toraigyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: galiya_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

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 с третьего номера 2024 года составит 20 000 тенге для направления «Теоретическая и экспериментальная физика», а для остальных направлений 3600 тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

* 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 рецензирования 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 Торайгыров 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 20 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; **ORCID**;

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		
ORCID		
Телефон		

МРНТИ 04.51.59

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

***С. К. Антикеева¹, С. К. Ксембаева²**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: samal_antikeeva@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-1111-1111>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2222-2222>

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, эффективности неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХКИППК 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

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.

5 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих 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.

6 **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 **Каропа, Г. Н.** Sistemnyi podhod k ecologicheskomu obrazovaniyu i vospitanii (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 idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – Р. 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 nasoiskanie 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 9

9 **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*

Торайгыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ ҚҰРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру құрстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру құрстары 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. Модельдеқұзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қазғидаттары, 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. Antikayeva*, 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 Торайгыров университеті, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: samal_antikeyeva@mail.ru , https://orcid.org/0000-0001-1111-1111 , 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология», Торайгыров университет, Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: samal_antikeyeva@mail.ru , https://orcid.org/0000-0001-1111-1111 , 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikayeva doctoral student in «Pedagogy and psychology», Toraighyrov University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: samal_antikeyeva@mail.ru , https://orcid.org/0000-0001-1111-1111 , 8-000-000-00-00
Ксембаева Сауле Камалиденовна, педагогика ғылымдарының кандидаты, профессор, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: saule_K@mail.ru , https://orcid.org/0000-0002-2222-2222 , 8-000-000-00-00	Ксембаева Сауле Камалиденовна, кандидат педагогических наук, профессор, Факультет гуманитарных и социальных наук, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: saule_K@mail.ru , https://orcid.org/0000-0002-2222-2222 , 8-000-000-00-00	Saule Ksembaeva, Candidate of pedagogic sciences, professor, Faculty of Humanities and Social Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: saule_K@mail.ru , https://orcid.org/0000-0002-2222-2222 , 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА.
СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»**

Редакционная коллегия научных журналов НАО «Торайгыров университет» «Вестник Торайгыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» в своей профессиональной деятельности придерживаются принципов и норм Публикационной этики научных журналов НАО «Торайгыров 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 «Торайгыров 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 «Торайгыров университет» «Вестник Торайгыров 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 Торайгыров 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 редколлегией 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 отказать 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 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 редколлегией, 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, фабрикации, 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) редколлегии 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 редколлегии 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 редколлегии, и, как результат, на решение редколлегии относительно публикации рукописи.

Главный редактор, член редколлегии и рецензенты должны оповестить о потенциальном конфликте интересов, который может как-то повлиять на решение редакционной коллегии. Члены редколлегии 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 09.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,50 Мб RAM

Шартты баспа табағы 10,01. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс № 4280

Сдано в набор 09.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

7,50 Мб RAM

Усл.печ.л. 10,01. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4280

«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/>