

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ДЕВЯТНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ГОДИЧНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

1–5 декабря 2025 г.

Сборник научных статей:
физико-математические
и естественные науки

Ереван
Издательство РАУ
2026



**ՌՈՒՄԱՍՏԱՆԻ ԴԱՇՆՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԲԱՐՁՐԱԳՈՒՅՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

ՌՈՒՄ-ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՏԱՍՆԻՆՆԵՐՈՐԴ ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՏԱՐԵԿԱՆ ԳԻՏԱԺՈՂՈՎ

2025 թ. դեկտեմբերի 1–5

**Գիտական հոդվածների ժողովածու՝
Ֆիզիկական-մաթեմատիկական և բնական գիտություններ**

Երևան-2026

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ДЕВЯТНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ ГОДИЧНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

1–5 декабря 2025г.

**Сборник научных статей:
физико-математические и естественные науки**

Ереван-2026

УДК 5(082)
ББК 2я43
М 431

*Печатается по решению Ученого
и Редакционно-Издательского советов РАУ*

Программный комитет Конференции

Э.М. Сандоян (председатель), П.С. Аветисян (заместитель председателя), М.Г. Хачатрян, Э.М. Казарян, Е.Г. Маргарян, Ж.Б. Арамян, М.А. Калашян, К.В. Маркарян, А.К. Агаронян, Р.В. Захарян, Г.С. Асатрян, Н.И. Таткало, Р.Г. Арамян, С.С. Саргсян, Г.Г. Тоноян, Д.Б. Айрапетян, Э.Р. Сиволенко, В.Ш. Меликян, Г.Г. Данагулян, А.А. Аракелян, А.А. Оганесян, А.М. Григорян, М.А. Восканян, И.Б. Петросян, А.А. Тавадян, Р.А. Коджоян, А.В. Агаджанян, Б.В. Маилян, А.С. Берберян, К.С. Акопян, Г.Э. Галикян, Л.С. Меликсетян, А.А. Симонян, Г.Г. Геворгян, Н.В. Геворгян, О.Л. Саркисян, В.А. Оганесян, К.Г. Сардарян, Н.Ю. Зограбян, А.С. Гамбарян, М.В. Алекиян, Н.И. Кеворкова, В.Р. Кеворков, А.Л. Григорян.

Девятнадцатая международная годичная научная конференция

М 431 (1–5 декабря 2025г.): Сборник научных статей: физико-математические и естественные науки. – Ер.: Изд-во РАУ, 2026. – 144с.

Сборник печатается по материалам 19-ой Годичной научной конференции, проведенной в Российско-Армянском университете. Статьи публикуются в алфавитном порядке и под авторскую ответственность.

Публикация сборника осуществлена в соответствии с требованиями ВАК РА к сборникам научных трудов.

Сборник зарегистрирован в базе данных РИНЦ и КиберЛенинка.

УДК 5(082)
ББК 2я43

ISBN 978-9939-67-410-0

© Издательство РАУ, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Андреев Е.А., Шекихачева Н.И. Применение методов математической статистики в проектной деятельности.....	7
Берберян С.Л. О точках Мейера для непрерывных функций из класса \mathfrak{R}	13
Mikaelyan H., Petrosyan P. On sum edge-colorings of some products of graphs.....	18
Рогалев Н.Д., Молодюк В.В., Исамухамедов Я.Ш., Прокофьев П.С. Метод неопределенных множителей Лагранжа при управлении рынком электроэнергии	22

ИНФОРМАТИКА

Акопян Ш.С. Сравнительный анализ методов анализа параллельных программ на основе символьного выполнения	29
Voskanyan Y., Gharantsyan M., Hovakimyan A. Analysis of online educational processes using Petri nets.....	34
Melkonyan V., Smbatyan M., Sardaryan A. Automated detection and analysis of projectile impacts using computer vision.....	40
Татосова А.В., Арутюнян М.С., Асланян А.К. Методы улучшения отладки оптимизированных исполняемых файлов.....	49
Товмасын Ш.Л., Мовсисян О.М. Обнаружение ошибок в коде смарт-контрактов с помощью статического анализа	54
Хачатрян Г.А., Сардарян А.С., Мелконян В.Г., Аванян А.Б., Оганесян О.А. Повторное обнаружение объектов на аэрофотоснимках, полученных с БПЛА	59

ФИЗИКА

Hayrapetyan D., Primenko D., Sargsian T. Control of electronic states in the cylindrical quantum dot using Bessel laser beam.....	67
Багдасарян О.В., Князян Т.М., Оганесян Т.Т. Условия лазерного излучения из однородной оптически усиливающей среды: анализ с позиции классической электродинамики	73

Gevorgyan L., Martirosyan H. Advanced radar target simulation and real-time signal modeling using Python and SDR.....	82
Мелконян С.Э., Агаронян А.К., Амбарцумян А.В., Арутюнян М.Л., Габриелов М.Н. Разработка алгоритма определения местоположения радиоизлучающего объекта с использованием среды LABVIEW.....	89

БИОЛОГИЯ И ХИМИЯ

Bareghamyan Y., Kianian N., Stepanyan A., Chavushyan A., Martirosyan G., Mkrtchyan G., Z. Khachatryan, Hakobyan S., Nikoghosyan M., Davitavyan S., Hayrapetyan V., Lazaryan G., Minasyan A., Ghukasyan L., Karapetyan L., Ghazaryan H., Melkonyan A., Mayilyan K., Khanoyan K., Hakobyan M., Zakharyan R., Arakelyan A. Population-based prediction of rare genetic variants in the armenian cohort	95
Վարդանյան Լ.Ռ., Նազսարդյան Ռ.Մ., Հայրապետյան Ս.Ս. Քիմիական տարրերի կուտակման տեսակատիպային առանձնահատկությունները իդենտիկ հողային պայմաններում	101
Zhukova I., Aramyan A., Hayrapetyan V., Karapetyan L., Ghazaryan H., Atshemyan S., Arakelyan A., Zakharyan R. Family-based detection of R113G and Y695C mutations in the NDUFS1 gene using sanger sequencing	112
Манукян А.А., Амбарцумян Е.Р., Тирацян С.Г. Нейропротекторное действие артемизинина и дигидроартемизинина на животной модели болезни Альцгеймера.....	119
Нур Ш.А., Данагулян Г.Г., Гаврилова Н.В., Бродская А.В., Власова О.Л. Оценка антибактериальной и противовирусной активностей некоторых соединений класса азолоазинов	128
Тавадов А.С., Бровкина Т.Я. Анализ хозяйственно-ценных признаков у перспективных сортов сои в условиях центральной зоны Краснодарского края.....	135

МАТЕМАТИКА

DOI 10.24412/el-37522-2026-7-12

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Е.А. Андреев, Н.И. Шекихачева

*Санкт-Петербургский колледж судостроения,
информационных и прикладных технологий
jenay.andreev2018@gmail.com, starrich07@icloud.com*

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается применение методов математической статистики в проектной деятельности на занятиях. Проведено исследование применения статистических методов для анализа использования нейросетей в учебных целях.

Ключевые слова: статистические методы, выборка, модель, проект, нейросети.

Введение

Современная быстро развивающаяся индустрия информационных технологий предполагает формирование аналитического мышления и развития профессиональных компетенций у будущих специалистов. Понимание принципов статистических методов способствует развитию навыков работы с информацией, систематизацией и интеграцией данных, что позволяет программистам разрабатывать эффективные алгоритмы, тестировать и оптимизировать программное обеспечение. Несмотря на широкое распространение нейросетей, вопрос об их эффективности, роли в формировании профессиональных компетенций и потенциальных рисках все еще остается недостаточно изученным.

Проектная деятельность на занятиях по курсу «Теория вероятностей и математическая статистика» приближает максимально к решению прикладных задач.

Актуальность темы обусловлена современными подходами в изучении методов математической статистики, необходимых для анализа данных и принятия обоснованных решений.

Цель исследования – применение методов математической статистики в проектной работе «Анализ использования нейросетей в обучении».

Задачи:

- ✓ изучение основ математической статистики;
- ✓ практическое применение в проектной деятельности;
- ✓ выполнение статистического анализа собранных данных;
- ✓ оценка эффективности и выявление трудностей, возникающих при использовании нейросетей.
- ✓ графическое представление результатов.

Материалы и методы

В качестве основы исследования рассматривались данные анкетирования студентов Колледжа судостроения, информационных и прикладных технологий Санкт-Петербурга. В опросе приняли участие студенты нескольких ИТ специальностей. Выборка – 178 студентов.

Инструмент: стандартная анкета с оценками (от 1 до 5).

Методика обработки данных:

- ✓ сбор данных путем анкетирования;
- ✓ обработка полученных результатов;
- ✓ построение полигона частот.

Статистические расчеты выполнены для выборки $n=178$. Для визуализации использованы стандартные графические приемы.

Таблица 1.

Частота использования нейросетей

Категория	x_i	p_i	$x_i \cdot p_i$
Никогда	1	0.005	0.005
Редко	33	0.185	6,105

Иногда	47	0.264	11,562
Часто	48	0.269	12,912
Всегда	49	0.275	13,475

Таблица 2.

Оценка эффективности нейросетей

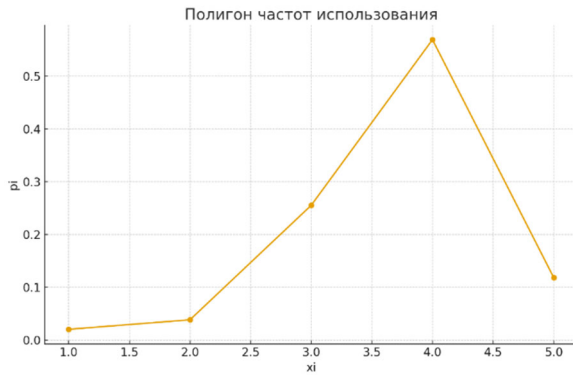
Категория	x_i	p_i
Слабо эффективные	15	0.079
Умеренно эффективные	76	0.431
Очень эффективные	69	0.392
Крайне эффективные	18	0.098

Таблица 3.

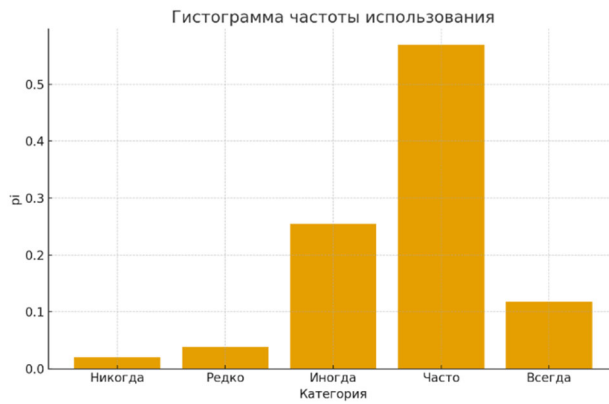
Использование нейросетей для учебных задач

Задание	Частота	p_i
Решение задач	51	0.2357
Решение тестов	34	0.1714
Лабораторные работы	27	0.1571
Написание отчетов	35	0.2500
Курсовые работы	26	0.1500
Поиск информации	1	0.0071
Английский	1	0.0071
Ничего	3	0.0214

Полигон частот



Гистограмма



Функция распределения



Результаты

Большинство студентов использует нейросети часто – 56,9. Математическое ожидание частоты использования составило

$$M(x) = \sum_{i=1}^n xi pi$$

$M(x) = 1*0,005+47*0,246+33*0,185+48*0,269+49*0,275$; $M(x) = 44,059$;
что указывает на высокий уровень вовлеченности.

Оценка эффективности нейросетей в решении учебных задач показала, что дисперсия $D(x) = \sum_{i=1}^n xi^2 pi - M(x)^2$ составляет $D(x) = 40,493$; среднеквадратическое отклонение следующее: $\sigma(x) = \sqrt{D(x)}$; $\sigma(x) = \sqrt{40,246}$; $\sigma(x) = 6,343$, что свидетельствует об устойчивой положительной оценке.

Трудности использования нейросетей:

- ✓ недостаток знаний – 38,3%;
- ✓ несоответствие требованиям преподавателя – 32,3%.

Преимущества использования:

- ✓ автоматизация рутинных операций – 34,5%;
- ✓ экономия времени – 33,6%.

Большинство оценили опыт как позитивный или очень позитивный – 80,4%.

Функция распределения показала плавный рост положительных значений.

Полученные результаты показали активное внедрение нейросетевых инструментов в учебный процесс. При этом выявлены риски: формирование зависимости от готовых решений, снижение самостоятельности при выполнении заданий, необходимость развития цифровой грамотности.

Заключение

Полученные результаты подтверждают, что интеграция методов математической статистики в учебную проектную деятельность способствует повышению качества профессиональной подготовки студентов IT-специальностей. Применение статистических подходов позволяет формировать

аналитическую культуру мышления, развивать самостоятельность и ответственность в принятии решений, а также формировать у будущих специалистов целостное понимание роли данных в профессиональной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бакланов А.Ю.* Искусственный интеллект в образовании. М.: «Просвещение», 2023.
2. *Боровков А.А.* Математическая статистика. М.: «Наука», 2019.
3. *Гончарова И.В.* Нейросетевые технологии: обучение и практика. СПб.: «Питер», 2022.
4. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: «Высшая школа», 2018.
5. *Миркин Б.Г.* Анализ данных и статистическое моделирование. М.: «Физ-мат лит.», 2020.
6. *Шекихачева Н.И.* Проектная деятельность на уроках. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. СС. 23–24.

APPLICATION OF MATHEMATICAL STATISTICS METHODS IN PROJECT ACTIVITIES

E. Andreev, N. Shekikhacheva

Saint Petersburg College of Shipbuilding, Information and Applied Technologies

ABSTRACT

This article discusses the application of mathematical statistics methods in project activities in the classroom. A study was conducted on the application of statistical methods for analyzing the use of neural networks for educational purposes.

Keywords: statistical methods, sample, model, project, neural networks.

О ТОЧКАХ МЕЙЕРА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ ИЗ КЛАССА \mathfrak{R}

С.Л. Берберян

*Российско-Армянский университет
samvel357@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

В работе изучаются точки Мейера для непрерывных нормальных функций, принимающих в единичном круге действительные значения. Ранее аналогичные исследования проводились для произвольных гармонических и нормальных субгармонических функций.

Ключевые слова: точки Мейера, непрерывные функции, нормальные функции.

В настоящей работе исследуются классические точки Мейера для нормальных непрерывных функций, определенных в единичном круге и принимающих в единичном круге только действительные значения. Эти точки, введенные известным немецким математиком Мейером, играют важную роль в теории предельных множеств. Такие точки до сих пор рассматривались, в основном, для аналитических и мероморфных функций. В работе будем придерживаться общеизвестных обозначений [1] или [2]. Обозначим через D , Γ и $h(\xi, \varphi)$ соответственно единичный круг $|z| < 1$, единичную окружность $|z| = 1$ и хорду единичного круга D , оканчивающуюся в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и образующую с радиусом в этой точке угол φ ; $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$. Пусть $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ обозначает подобласть круга D , ограниченную хордами $h(\xi, \varphi_1)$ и $h(\xi, \varphi_2)$. Область $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ называют обычно углом Штольца с вершиной в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и, если нас не интересует размер угла Штольца, мы будем обозначать его кратко $\Delta(\xi)$.

Рассмотрим функцию $f(z)$, принимающую только действительные значения. Для произвольного подмножества S круга D , для которого точка $\xi \in \Gamma$ является предельной точкой, обозначим через $C(f, \xi, S)$ предельное

множество функции $f(z)$ в точке ξ относительно множества S , т.е. $C(f, \xi, S) = \overline{\bigotimes f(\bigotimes U(\xi))}$, где пересечение берется по всем окрестностям $U(\xi)$ точки ξ , а черта означает замыкание множества относительно двухточечной компактификации \bar{R} множества $R = (-\infty, +\infty)$ в виде отрезка посредством добавления к точкам множества R символов $-\infty$ и $+\infty$. Точку $\xi \in \Gamma$ относят к множеству $K(f)$ для функции $f(z)$, определенной в D , если $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)) = C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2))$ для любых углов Штольца $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ и $\Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)$ с вершиной в точке ξ . Точка $\xi \in \Gamma$ принадлежит множеству $C(f)$, если для произвольных углов Штольца $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ и $\Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)$ имеет место равенство

$$C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)) = C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)) = C(f, \xi, D).$$

Понятие нормальной функции, рассмотренное для мероморфных функций и состоящее в свойстве порождать нормальное семейство на группе T всех конформных автоморфизмов области определения [3], было затем перенесено на гармонические, субгармонические и непрерывные действительнзначные функции. В случае единичного круга D группа T состоит из элементов $T = \{S(z); S(z) = e^{i\alpha}(z + a) \cdot (1 + \bar{a}z)^{-1}\}$, a -произвольная точка в D , α -произвольное действительное число. Придерживаясь обозначений из работы [2], скажем, что действительные значения принимающая функция $f(z) \in \mathfrak{R}$, если на группе T всех конформных автоморфизмов единичного круга D порождаемое ею семейство функций $\Phi: \{f(S(z)); S(z) \in T\}$ нормально в D в смысле Монтеля, т.е. из любой последовательности $\{f(S_n(z))\}$ семейства Φ , где $S_n(z) \in T$, можно извлечь подпоследовательность $\{f(S_{n_k}(z))\}$, равномерно сходящуюся на любом компакте K в D или равномерно расходящуюся к $-\infty$ или к $+\infty$ на K . Последовательность точек $\{z_n\}, z_n \in 1, 2, \dots, \lim_{n \rightarrow \infty} |z_n| = 1$ применительна к непрерывным функциям, назовем P' -последовательностью, если для любой ее бесконечной подпоследовательности $\{z_{n_k}\}$ имеет место следующее утверждение: каково бы ни было число $\varepsilon > 0$ в объединении $\bigcup_{k=1}^{\infty} D(z_{n_k}, \varepsilon)$ неевклидовых кругов $D(z_{n_k}, \varepsilon)$ с неевклидовыми центрами z_{n_k} и неевклидовыми радиусами $\varepsilon > 0$, непрерывная функция $u(z)$ принимает бесконечно часто каждое конечное действительное значение. Назовем хорду $h(\xi, \varphi)$ P' -хордой гармонической функции $u(z)$ в точке ξ , если $h(\xi, \varphi)$ содержит

некоторую P' -последовательность функции $u(z)$. Хорду $h(\xi, \varphi)$, не являющуюся P' - хордой, назовем нормальной.

Точка $\xi \in \Gamma$ (см. [1] или [4]) называется точкой Мейера для действительнозначной функции $f(z)$, определенной в единичном круге D , если для произвольной хорды $h(\xi, \varphi)$, имеет место равенство $C(f, \xi, h(\xi, \varphi)) = C(f, \xi, D) \neq \bar{R}$, где $\bar{R} = \{-\infty\} \cup \{R\} \cup \{+\infty\}$ и R - множество действительных чисел. Множество всех точек Мейера обозначается как $M(f)$. Точка $\xi \in \Gamma$ называется точкой Линделёфа (см. [5] или [6]) для действительнозначной функции $f(z)$, определенной в единичном круге D , если для произвольных двух углов Штольца $\Delta_1(\xi)$ и $\Delta_2(\xi)$, имеет место равенство $C(f, \xi, \Delta_1(\xi)) = C(f, \xi, \Delta_2(\xi)) \neq \bar{R}$. Множество точек Линделёфа обозначается как $L(f)$. Связь между различными предельными множествами по некасательным путям для гармонических и непрерывных функций подробно исследована в работе [7].

Основные результаты

Сформулируем основные результаты данной работы.

Теорема 1. Для того, чтобы $\xi \in \Gamma$ являлась точкой Мейера для произвольной непрерывной функции $f(z)$ из класса \mathfrak{R} , определенной в D , необходимо и достаточно, чтобы имело место совпадение предельных множеств $C(f, \xi, h(\xi, \varphi)) = C(f, \xi, D) \neq \bar{R}$ для множества значений φ , всюду плотных в интервале $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$.

Кроме того, справедливо утверждение.

Теорема 2. Точка $\xi \in C(f)$ является точкой Мейера для произвольной непрерывной функции $f(z)$ из класса \mathfrak{R} , определенной в D , тогда и только тогда, когда существует такая хорда $h(\xi, \varphi_0)$, для которой $C(f, \xi, h(\xi, \varphi_0)) \neq \bar{R}$.

Для доказательства полученных результатов работы нужны три следующие леммы.

Лемма 1. Пусть непрерывная в D функция $f(z)$ из класса \mathfrak{R} . Тогда в единичном круге D не существует ни одна P' -последовательность.

Лемма 2. Пусть $f(z)$ – непрерывная функция из класса \mathfrak{R} , определенная в D . Для того, чтобы точка $\xi \in \Gamma$ была точкой Линделёфа для функции $f(z)$, достаточно, чтобы предельные множества $C(f, \xi, h(\xi, \varphi)) \neq \bar{R}$ для значений φ , всюду плотных в интервале $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$, совпадали.

Лемма 3. Точка $\xi \in K(f)$ является точкой Линделёфа для произвольной непрерывной функции $f(z)$ из класса \mathfrak{R} , определенной в D , тогда и только тогда, когда существует хорда $h(\xi, \varphi_0)$, для которой $C(f, \xi, h(\xi, \varphi_0)) \neq \bar{R}$.

Важно отметить, что полученные результаты были ранее известны для субгармонических функций из класса \mathfrak{R} , множество которых является подмножеством множества всех непрерывных функций из класса \mathfrak{R} . Это следует из утверждения, полученного автором в работе [8], что любая субгармоническая функция из класса \mathfrak{R} является непрерывной функцией из того же класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коллингвуд Э., Ловатер А. Теория предельных множеств. М.: «Мир», 1971. С. 306.
2. Гаврилов В.И. Нормальные функции и почти периодические функции. ДАН СССР. Т. 240, № 4, 1978. СС. 768–770.
3. Носиро К. Предельные множества. М.: «Иностранная литература», 1963. С. 253.
4. Берберян С.Л. Точки Мейера и уточненные точки Мейера для произвольных гармонических функций // «Известия вузов. Математика», № 5, 2022. СС. 26–32. Berberyan S. Meyer points and refined Meyer points for arbitrary harmonic functions // “Russian Math.”. V. 66, № 5. 2022. PP. 21–25. SCOPUS.
5. Гаврилов В.И., Захарян В.С. Множество точек Линделёфа произвольных комплексных функций // ДАН Арм. ССР. Т. 86, № 1, 1988. СС. 12–16.
6. Берберян С.Л. О некоторых граничных точках произвольных гармонических функций // «Известия вузов. Математика», № 5, 2014. СС. 3–11.
7. Берберян С.Л., Гаврилов В.И. Предельные множества непрерывных и гармонических функций по некасательным граничным путям // “Mathematica Montisnigri”. Vol. 1, 1993. СС. 17–25.
8. Берберян С.Л. Об угловых граничных значениях нормальных субгармонических функций // “Pliska. Studia Mathematica Bulgarica”. V. 10, 1989. PP. 50–55.

**ON MEYER POINTS FOR CONTINUOUS FUNCTIONS
FROM CLASS \mathfrak{R}**

S. Berberyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

In this paper, we study Meyer points for continuous normal functions that take real values in the unit circle. Previously, similar studies were carried out for arbitrary harmonic and normal subharmonic functions.

Keywords: Meyer points, continuous functions, normal functions.

ON SUM EDGE-COLORINGS OF SOME PRODUCTS OF GRAPHS

H. Mikaelyan, P. Petrosyan

Yerevan State University

hamlet.miqayelyan@ysu.am, petros_petrosyan@ysu.am

ABSTRACT

For a proper edge-coloring α on a graph G , let $\Sigma'(G, \alpha)$ be the total sum of colors on all edges. The proper edge-colorings that minimize the parameter $\Sigma'(G, \alpha)$ are called sum edge-colorings, and the corresponding minimum sum is called the edge-chromatic sum of the graph and is denoted by $\Sigma'(G)$. The minimum number of colors that any sum edge-coloring uses is called the edge-strength of the graph G and is denoted by $s'(G)$. In the current work, we obtain upper bounds on the edge-chromatic sums of some graph products. For some cases, we also show that the bound is exact and obtain the edge-strength of those graphs.

Keywords: Edge-chromatic sum, edge-strength.

Introduction

In the late 1980s, the problem of finding the vertex-chromatic sum of the graph was introduced by Supowit ([1]) and Kubicka ([2]) separately. This is the similar version of the problem where we color not the edges, but the vertices of the graph, so that adjacent vertices have distinct colors and the total sum of colors of the vertices is minimum. On the base of that, in 1998, Bar-Noy et al. introduced the edge-chromatic sum problem and showed its applications in scheduling problems in [3]. It is proven that this problem is NP-hard, a 2-approximation algorithm is given. The problem is NP-hard even for regular graphs, planar graphs, and even for some specific bipartite graphs with the maximum degree of 3 ([4]). Concerning the edge-strength, it is proven that this number is less than or equal to $\Delta(G) + 1$, where $\Delta(G)$ is the maximum degree of the graph G ([5, 6]). The problem has its applications also in resource allocation problems and parallel processing.

We will use the notation (n, m) -graph for simple finite undirected graphs with n vertices and m edges. For a proper edge-coloring α of graph G , let $S_G(v, \alpha)$ denote the set of colors of edges incident to a vertex $v \in V(G)$. If $S_G(v, \alpha) = \{1, 2, \dots, d_G(v)\}$ for each $v \in V(G)$, the coloring is called a sequential edge-coloring.

The Cartesian product of graphs G and H is a graph $G \square H$, where

$$V(G \square H) = V(G) \times V(H) = \{(u, v) \mid u \in V(G), v \in V(H)\} \text{ and}$$

$$E(G \square H) = \{(u, v_1)(u, v_2) \mid u \in V(G) \text{ and}$$

$$v_1 v_2 \in E(H)\} \cup \{(u_1, v)(u_2, v) \mid u_1 u_2 \in E(G) \text{ and } v \in V(H)\}.$$

The strong product of graphs G and H is a graph $G \boxtimes H$ for which

$$V(G \boxtimes H) = V(G) \times V(H), E(G \boxtimes H) =$$

$$= E(G \square H) \cup \{(u_i, v_j)(u_l, v_k) \mid u_i u_l \in E(G) \text{ and } v_j v_k \in E(H)\}.$$

The composition (lexicographic product) of graphs G and H is a graph $G[H]$ for which

$$V(G[H]) = V(G) \times V(H) \text{ and}$$

$$E(G[H]) = \{(u_i, v_j)(u_l, v_k) \mid u_i u_l \in E(G) \text{ or } u_i = u_l \text{ and } v_j v_k \in E(H)\}.$$

Main Results

Theorem 1. For any (n, m) -graph G and an r -regular graph H of order p ($r \in \mathbb{N}$), we have

$$\Sigma'(G \boxtimes H) \leq (r+1)p \left(\Sigma'(G)(r+1) - \frac{rm}{2} \right) + \frac{nrp(r\Delta(G) + 1)}{2} + n\Sigma'(H).$$

Theorem 2. For any (n, m) -graph G and an r -regular graph H of order p ($r \in \mathbb{N}$), if both G and H admit a sequential coloring, we have

$$\Sigma'(G \boxtimes H) = \frac{(r+1)p}{4} \left((r+1) \sum_{v \in V(G)} d_G^2(v) + 2(2r+1)m + rn \right) \text{ and}$$

$$s'(G \boxtimes H) = r\Delta(G).$$

Theorem 3. For any graph G and any $n \in \mathbb{N}$, we have

$$\sum' (G[\overline{K_n}]) \leq n^3 \sum' (G) - \frac{n^2(n-1)|E(G)|}{2}.$$

Moreover, this upper bound is sharp.

Theorem 4. For any (n, m) -graph G and an r -regular graph H of order p , we have

$$\sum' (G[H]) \leq n \sum' (H) + nrp^2 \frac{s'(G)}{2} + p^3 \sum' (G) - \frac{p^2(p-1)m}{2}.$$

Moreover, this upper bound is sharp.

Theorem 5. For any (n, m) -graph G and a (p, q) -graph H , we have

$$\sum' (G \square H) \leq p \sum' (G) + n \sum' (H) + \min \{nqs'(G), pms'(H)\}.$$

Theorem 6. For any (n, m) -graph G and a (p, q) -graph H that admit a sequential coloring, we have

$$\begin{aligned} s'(G \square H) &= \Delta(G \square H) \text{ and} \\ \sum' (G \square H) &= p \sum' (G) + n \sum' (H) + 2mq. \end{aligned}$$

Theorem 7. For any r -regular graph G and any n ($n, r \in \mathbb{N}$), the edge-chromatic sum of the graph $G \square P_{2n}$ is determined as follows:

$\sum' (G \square P_{2n}) = \frac{1}{2} |V(G)| (r+2)(nr+3r-2)$ and the edge-strength of the graph $G \square P_{2n}$ is determined as follows:

$$s'(G \square P_{2n}) = \begin{cases} r+1, & \text{if } n=1, \\ r+2, & \text{if } n>1. \end{cases}$$

Theorem 8. For any r -regular graph G and any $n > 1$ ($n, r \in \mathbb{N}$), the edge-chromatic sum of the graph $G \square C_{2n}$ is determined as follows:

$\sum' (G \square C_{2n}) = \frac{1}{2} |V(G)| n(r+2)(r+3)$ and the edge-strength of the graph $G \square C_{2n}$ is determined as follows:

$$s'(G \square C_{2n}) = r+2.$$

REFERENCES

1. *Kubicka E.* The chromatic sum of a graph. PhD Thesis. Western Michigan University, 1989.
2. *Supowit K.* Finding a maximum planar subset of nets in a channel // "IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems", № 6 (1), 1987. PP. 93–94.
3. *Bar-Noy A., Bellare M., Halldorsson M., Shachnai H., Tamir T.* On chromatic sums

- and distributed resource allocation // “Information and Computation”. V. 140, № 2, 1998. PP. 183–202.
4. *Petrosyan P., Kamalian R.* On sum edge-coloring of regular, bipartite graphs and split graphs // “Discrete Applied Mathematics”. V. 165, 2014. PP. 263–269.
 5. *Hajiabolhassan H., Mehrabadi M., Tusserkani R.* Minimal coloring and strength of graphs // “Discrete Mathematics”, № 215, 2000. PP. 265–270.
 6. *Salavatipour M.* On sum coloring of graphs // // “Discrete Applied Mathematics”. V. 127, 2003. PP. 477–488.

О СУММАРНЫХ РЕБЕРНЫХ РАСКРАСКАХ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ГРАФОВ

H. Mikaelyan, P. Petrosyan

Yerevan State University

АННОТАЦИЯ

Для правильной реберной раскраски α графа G , пусть $\Sigma'(G, \alpha)$ является общей суммой цветов всех рёбер. Правильные раскраски, которые минимизируют параметр $\Sigma'(G, \alpha)$, называются суммарными реберными раскрасками, а соответствующая минимальная сумма называется реберно-хроматической суммой графа и обозначается $\Sigma'(G)$. Минимальное количество цветов, которое используется в некоторой суммарной реберной раскраске, называется реберной мощностью графа G и обозначается $s'(G)$. В данной работе мы получили верхние оценки для реберно-хроматической суммы некоторых произведений графов. В некоторых случаях также показано, что оценка точная и найдена реберная мощность этих графов.

Ключевые слова: суммарная реберная раскраска, реберная мощность.

МЕТОД НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЫНКОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Н.Д. Роголев¹, В.В. Молодюк², Я.Ш. Исамухамедов², П.С. Прокофьев²

¹НИУ «Московский энергетический институт»,

*²НП «Научно-технический совет Единой энергетической системы»
vm@nts-ees.ru, RogalevND@mpei.ru*

АННОТАЦИЯ

Рассматривается применение метода неопределенных множителей Лагранжа для исследования поведения игроков на рынке электроэнергии и тепла. Для решения системы уравнений, полученных дифференцированием уравнения Лагранжа, используется метод последовательных исключений Гаусса.

Ключевые слова: рынок электроэнергии, метод неопределенных множителей Лагранжа, тариф на электрическую и тепловую энергию.

Введение

Переход на рыночные отношения в торговле электрической энергией и теплом принципиально изменил подходы к исследованию работы рынка [1–3]. На смену критерию минимальных затрат на производство и потребление энергии на первое место вышел фактор прибыли участников рынка.

Задача определения цен на электрическую и тепловую энергии в рыночных условиях является чрезвычайно актуальной. Для решения этой новой задачи необходимо применять и новые методы управления рынком.

Впервые для исследования рыночных отношений в энергетике использован метод неопределенных множителей Лагранжа.

Инновационность метода заключается также и в том, что электрическая энергия и тепло представлены совокупной продукцией электростанции [4], а в качестве критерия эффективности работы энергосистемы впервые используется критерий максимального суммарного выигрыша всех составляющих энергосистемы [5].

Метод неопределенных множителей Лагранжа для исследования рынка

Представим кривые полезности электроэнергии и тепла квадратичной функцией, имеющей непрерывный характер и выходящей из начала координат. Полезность использования электрической энергии потребителем $\Pi_{ээ}$, тыс. руб/ч:

$$\Pi_{ээ} = c_э P_{п} - r_э P_{п}^2, \quad (1)$$

где $c_э$ – удельная максимальная полезность электроэнергии у потребителя (полезность первого потребленного МВт·ч); $r_э$ – коэффициент снижения полезности электроэнергии у потребителя (коэффициент насыщения); $P_{п}$ – часовое потребление электроэнергии (мощность потребления).

Полезность использования потребителем тепловой энергии $\Pi_{тэ}$ представим аналогичным условием:

$$\Pi_{тэ} = c_т Q_{п} - r_т Q_{п}^2, \quad (2)$$

где $c_т$ – удельная максимальная полезность тепловой энергии у потребителя; $r_т$ – коэффициент снижения полезности потребления тепловой энергии; $Q_{п}$ – часовое потребление тепловой энергии потребителем.

Выигрыш потребителей электроэнергии ($\Phi_{ээ}$) оценивается величиной балансовой прибыли и определяется как разность между полезностью потребления электроэнергии и затратами на ее покупку на рынке:

$$\Phi_{ээ} = c_э P_{п} - r_э P_{п}^2 - \lambda_э P_{п}, \quad (3)$$

где $\lambda_э$ – рыночная цена на электроэнергию, тыс. руб/(МВт·ч).

Выигрыш потребителей тепловой энергии $\Phi_{тэ}$, тыс. руб/ч, также определяется разностью полезности тепловой энергии у потребителя и затратами на ее покупку:

$$\Phi_{тэ} = c_т Q_{п} - r_т Q_{п}^2 - \lambda_т Q_{п}, \quad (4)$$

где $\lambda_т$ – цена тепловой энергии на рынке, тыс. руб/Гкал.

В результате дифференцирования (1) по электрической нагрузке потребителя $P_{п}$ получим кривую спроса потребителя на электрическую энергию:

$$C_{ээ} = c_э - 2r_э P_{п}.$$

Аналогично дифференцированием (2) по тепловой нагрузке потребителя $Q_{п}$ получим кривую спроса потребителя на тепловую энергию:

$$C_{тэ} = c_т - 2r_т Q_{п}.$$

Способ разделения затрат ТЭЦ на топливо между электроэнергией и теплом принципиальным образом влияет на цену электрической и тепловой энергии. Проблеме разделения затрат на топливо между электроэнергией и теплом посвящено много работ, и окончательным результатом дискуссий по этой проблеме стало понимание того, что ни один из предложенных методов разделения затрат нельзя назвать бесспорным. Выходом из сложившегося положения может стать применение принципиально другого подхода, который вообще не делит затраты топлива между этими двумя видами энергии.

Суть данного подхода состоит в следующем [3]. В теплофикационной установке ТЭЦ производство электрической и тепловой энергии происходит в едином технологическом процессе, поэтому обоснованно можно определить только зависимость удельного расхода топлива ($v_{ТЭЦ}$) от производства совокупной продукции $P_{сов}$. Совокупная продукция ТЭЦ определяется как сумма двух видов энергии: электрической нагрузки $P_{ТЭЦ}$ и приведенной нагрузки теплофикационных отборов $Q_{ТЭЦ}$

$$P_{сов} = P_{ТЭЦ} + b_э Q_{ТЭЦ}, \quad (5)$$

где $b_э$ – электрический эквивалент одной Гкал равный 1,163 МВт·ч/Гкал.

Затраты $Z_{ТЭЦ}$ определяются следующим условием:

$$Z_{ТЭЦ} = a_{ТЭЦ} (P_{ТЭЦ} + b_э Q_{ТЭЦ})^2, \quad (6)$$

где $a_{ТЭЦ}$ – коэффициент затрат при квадрате совокупной продукции ТЭЦ.

Выигрыш ТЭЦ устанавливается следующим образом:

$$\Phi_{ТЭЦ} = \lambda_э P_{ТЭЦ} + \lambda_т Q_{ТЭЦ} - a_{ТЭЦ} (P_{ТЭЦ} + b_э Q_{ТЭЦ})^2, \quad (7)$$

Выигрыши КЭС и котельной определяется соответственно как

$$\Phi_{КЭС} = \lambda_э P_{КЭС} - a_{КЭС} P_{КЭС}^2, \quad (8)$$

$$\Phi_{кот} = \lambda_т Q_{кот} - a_{кот} Q_{кот}^2, \quad (9)$$

где $a_{КЭС}$ и $a_{кот}$ – коэффициенты затрат при квадрате мощности производства электроэнергии и тепла соответственно на КЭС и котельной.

Дифференцированием (6) отдельно по $P_{ТЭЦ}$ и $Q_{ТЭЦ}$ получим кривые предложения ТЭЦ отдельно на электрическую и тепловую энергию:

$$C_{ТЭЦ ээ} = 2a_{ТЭЦ} (P_{ТЭЦ} + b_э Q_{ТЭЦ}), \quad C_{ТЭЦ тэ} = 2a_{ТЭЦ} b_э (P_{ТЭЦ} + b_э Q_{ТЭЦ}).$$

Аналогичным образом получим кривые предложения для котельной и КЭС:

$$C_{кот} = 2a_{кот} Q_{кот}, \quad C_{КЭС} = 2a_{КЭС} P_{КЭС}.$$

Целевую функцию – суммарный выигрыш субъектов розничного рынка Φ – представим суммой (3), (4) и (7) – (9), т.е. следующим условием: $\Phi = c_3 P_{\Pi} - r_3 P_{\Pi}^2 + c_T Q_{\Pi} - r_T Q_{\Pi}^2 - a_{TЭЦ}(P_{TЭЦ} + b_3 Q_{TЭЦ})^2 - a_{кот} Q_{кот}^2 - a_{КЭС} P_{КЭС}^2$. (10)

Поиск максимума функции (10) необходимо проводить с учетом условий связи (часовых балансов электроэнергии и тепла в узлах энергосистемы):

$$P_{TЭЦ} + P_{КЭС} - P_{\Pi} = 0, \tag{11}$$

$$Q_{TЭЦ} + Q_{кот} - Q_{\Pi} = 0. \tag{12}$$

Из выражений (10) – (12) составим функцию Лагранжа:

$$L = c_3 P_{\Pi} - r_3 P_{\Pi}^2 + c_T Q_{\Pi} - r_T Q_{\Pi}^2 - a_{TЭЦ}(P_{TЭЦ} + b_3 Q_{TЭЦ})^2 - a_{кот} Q_{кот}^2 - a_{КЭС} P_{КЭС}^2 + \lambda_3 (P_{TЭЦ} + P_{КЭС} - P_{\Pi}) + \lambda_T (Q_{TЭЦ} + Q_{кот} - Q_{\Pi}). \tag{13}$$

Искомыми переменными в функции Лагранжа (13) являются $P_{TЭЦ}$, $Q_{TЭЦ}$, $P_{КЭС}$, $Q_{кот}$, P_{Π} , Q_{Π} и λ_3 , λ_T . В результате дифференцирования (13) получаем систему из восьми уравнений (по числу искомых переменных) (Табл. 1). Совместное решение системы уравнений **методом последовательных исключений Гаусса** дает оптимальное значение целевой функции (13), а неопределенные множители Лагранжа λ_3 и λ_T устанавливают цену на электрическую и тепловую энергию ТЭЦ соответственно.

Таблица 1.

Результаты дифференцирования функции Лагранжа по искомым переменным

Переменная, по которой дифференцируют функцию Лагранжа	Уравнение, полученное в результате дифференцирования	Физический смысл уравнения
Электрическая нагрузка потребителей, P_{Π}	$P_{\Pi} = (c_3 - \lambda_3/2r_3$	Потребляемый объем электроэнергии
Тепловая нагрузка потребителей, Q_{Π}	$Q_{\Pi} = (c_T - \lambda_T/2r_T$	Потребляемый объем тепловой энергии
Нагрузка котельной, $Q_{кот}$	$Q_{кот} = \lambda_T/2a_{кот}$	Нагрузка котельной
Электрическая нагрузка ТЭЦ, $P_{TЭЦ}$	$\lambda_3 = 2a_{TЭЦ}(P_{TЭЦ} + b_3 Q_{TЭЦ})$	Цена на электроэнергию ТЭЦ

Тепловая нагрузка ТЭЦ, $Q_{ТЭЦ}$	λ_T $= 2a_{ТЭЦ}b_э(P_{ТЭЦ}+b_эQ_{ТЭЦ})$	Цена на тепловую энергию ТЭЦ
Нагрузка КЭС, $P_{КЭС}$	$\lambda_э = 2a_{КЭС}P_{КЭС}$	Цена на электрическую энергию КЭС
Цена на электрическую энергию, $\lambda_э$	$P_{ТЭЦ} + P_{КЭС} - P_{п} = 0$	Баланс электрической энергии
Цена на тепловую энергию, λ_T	$Q_{ТЭЦ} + Q_{кот} - Q_{п} = 0$	Баланс тепловой энергии

Результаты исследования

Объектом исследования была энергосистема, состоящая из КЭС, ТЭЦ, районной котельной и потребителями электрической и тепловой энергии. Численные расчеты показали соответствие полученных результатов фактическим режимам производства и потребления электрической и тепловой энергии (Табл. 2).

При работе ТЭЦ на розничном рынке ее электрическая нагрузка ТЭЦ составляет 122 МВт и тепловая – 83 Гкал/ч. ТЭЦ является основным поставщиком энергии на розничный рынок. Котельная обеспечивает меньшую тепловую нагрузку – 63 Гкал/ч. С оптового рынка на розничный рынок потребители покупают 56 МВт мощности. Рыночная цена на электроэнергию установилась в размере 2,22 руб. за один кВт·ч, а на тепловую энергию – 2,54 руб. за одну Гкал.

Обсуждение результатов

Установлена применимость метода неопределенных множителей Лагранжа при управлении рынком электроэнергии. Численные расчеты показали соответствие полученных результатов фактическим режимам производства и потребления электрической и тепловой энергии.

Таблица 2.

Результаты расчета показателей рынка электроэнергии

Показатель	Оптимальное значение показателя	Размерность показателя
Цена на электроэнергию	2,22	руб/кВт·ч
Цена на тепловую энергию	2,54	тыс. руб/Гкал
Электрическая нагрузка потребителей	178	МВт
Тепловая нагрузка потребителей	146	Гкал/ч
Выработка электроэнергии:		
• ТЭЦ	122	МВт
• КЭС	56	МВт
Выработка тепловой энергии:		
• ТЭЦ	83	Гкал/ч
• Котельной	63	Гкал/ч
Выигрыш производителей, всего	385	тыс. руб/ч
в том числе:	243	тыс. руб/ч
• ТЭЦ	61	тыс. руб/ч
• КЭС	81	тыс. руб/ч
• Котельной		
Выигрыш потребителей	266	тыс. руб/ч
Выигрыш энергосистемы	651	тыс. руб/ч

Критерием применимости данного метода является получение адекватных количественных результатов оптимизации режима работы реальной энергосистемы.

Представленную модель рынка электроэнергии и тепла целесообразно использовать для исследования механизма формирования рыночных цен на электроэнергию и тепло. В этом случае использование различного рода допущений реального рынка может быть оценено экономическими показателями, по которым можно установить, насколько далеко реальный рынок «ушел» от совершенного.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев Л.С.* Проблемы электроэнергетического рынка. Новосибирск: «Наука», 2009, 296с.
2. *Стофт С.* Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии: Пер. с англ. М.: «Мир», 2006, 623с.
3. *Кутовой Г.П.* Некоторые итоги вестернизации отечественной электроэнергетики в период // «Энергетик», № 1, 2014. СС. 2–10.
4. *Микулич Г.В.* Решение задач топливоиспользования с применением зависимостей расходов топлива на совокупную продукцию ТЭЦ // «Вести в электроэнергетике», № 4, 2008. СС. 43–46.
5. *Молодюк В.В.* Математическая модель работы ТЭЦ на рынке электроэнергии и тепла // «Энергетик», № 11, 2014. СС. 12–16.

THE METHOD OF INDETERMINATE LAGRANGE MULTIPLIERS IN ELECTRICITY MARKET MANAGEMENT

N. Rogalev¹, V. Molodiuk², I. Isamuhamedov², P. Prokofev²

¹*RU “Moscow Power Engineering Institute”*

²*NP «Scientific and Technical Council of the Unified Energy System»*

ABSTRACT

The application of the method of indeterminate Lagrange multipliers to the study of the behavior of players in the electricity and heat market is considered. The method of successive Gaussian eliminations is used to solve the system of equations obtained by differentiating the Lagrange equation.

Keywords: electricity market, method of indeterminate Lagrange multipliers, price of electric and thermal energy.

ИНФОРМАТИКА

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ СИМВОЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Ш.С. Акопян

*Российско-Армянский университет
Институт Математики, Физики и Высоких Технологий
shake.hakobyan@student.rau.am*

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются два инструмента символьного анализа параллельных программ – SIFT и POR-SE, разработанные на базе системы KLEE. Цель исследования – сопоставить их подходы и эффективность при поиске ошибок в параллельных программах.

SIFT реализует свойство-ориентированный метод, который ограничивает количество проверяемых межпоточных планов, анализируя лишь потенциально конфликтные точки. POR-SE, напротив, использует метод частично упорядоченного выполнения, что позволяет избежать избыточного перебора трасс и ускоряет анализ.

Для сравнения применялись наборы тестов с различными типами ошибок (use-after-free, выход за границы массива, небезопасные обращения к памяти), а также безопасные случаи.

Результаты показали, что POR-SE охватывает больше типов ошибок и достигает $F1 = 0.86$, тогда как SIFT – 0.40 . Оба инструмента не выдали ложных срабатываний. Несмотря на снижение производительности на сложных примерах, SIFT остается удобным решением для целевых проверок свойств.

Ключевые слова: символьное выполнение, анализ параллельных программ, SIFT, POR-SE.

Введение

Анализ параллельных программ представляет собой сложную задачу вследствие недетерминированного взаимодействия потоков и экспоненци-

ального роста числа возможных межпоточных планов. Это делает традиционные методы тестирования недостаточно надежными для выявления ошибок синхронизации и некорректных обращений к памяти.

Одним из перспективных направлений является применение символьного выполнения, обеспечивающего систематическое исследование состояний программы.

В данной работе проводится сравнительный анализ инструментов SIFT и POR-SE, основанных на платформе KLEE, с целью оценки их эффективности при обнаружении ошибок в многопоточных приложениях и изучения различий в применяемых ими методах сокращения пространства состояний.

Цель работы

Целью работы является анализ методов символьного выполнения для многопоточных программ и сравнительная оценка инструментов SIFT и POR-SE.

Материалы

В работе сравниваются два инструмента символьного анализа параллельных программ – SIFT и POR-SE, основанные на системе KLEE.

SIFT анализирует только потенциально конфликтные точки между потоками, сокращая пространство состояний.

POR-SE применяет частично-упорядоченное выполнение, объединяя эквивалентные варианты и исключая избыточные трассы.

Результаты

Сравнение инструментов SIFT и POR-SE проводилось на наборе программ, включающем коды из популярных датасетов, используемых в исследованиях инструментов анализа параллельных программ, а также тесты, входящие в состав проектов POR-SE и SIFT.

В Табл. 1 приведены основные показатели эффективности обоих инструментов.

Результаты сравнения инструментов
(TP – найденные ошибки, TN – корректно определенные безопасные случаи, FN – пропущенные ошибки, FP – ложные срабатывания)

Показатель	POR-SE	SIFT
TP (найденные ошибки)	18	6
TN (безопасные случаи)	3	3
FN (пропущенные ошибки)	6	18
FP (ложные срабатывания)	0	0
Precision	1	1
Recall	0.75	0.25
Accuracy	0.78	0.33
F1	0.86	0.4

По результатам экспериментов POR-SE показал более высокую полноту анализа (Recall = 0.75) и общую эффективность (F1 = 0.86) по сравнению с SIFT (Recall = 0.25, F1 = 0.40).

Оба инструмента продемонстрировали одинаковую точность (Precision = 1) и отсутствие ложных срабатываний.

При этом SIFT заметно быстрее обрабатывает простые тесты и удобен для целевых проверок свойств, тогда как POR-SE обеспечивает более полное исследование межпоточных взаимодействий и лучше выявляет ошибки в сложных программах.

Заключение

В ходе работы были изучены и сравнены инструменты SIFT и POR-SE, предназначенные для анализа параллельных программ с использованием символьного выполнения.

Эксперименты показали, что POR-SE эффективнее на сложных примерах и обнаруживает больше ошибок, тогда как SIFT быстрее и подходит для точечных проверок конкретных свойств.

Оба инструмента показали надежные результаты и дополняют друг друга: SIFT удобен для быстрой диагностики, а POR-SE – для более глубокого анализа многопоточных взаимодействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Schemmel D., Büning J., Rodríguez C., Laprell D., Wehrle K.* Symbolic Partial-Order Execution for Testing Multi-Threaded Programs.
2. In: Computer Aided Verification (CAV 2020) // “Lecture Notes in Computer Science”. Vol. 12225. Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-53288-8_18.
3. *Wang Y., Zhang X., Li J.* SIFT: Symbolic Execution-Guided Interleaving Filtering for Multithreaded Program Verification // “Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering (ICSE Companion)”. ACM, 2022.
4. *Cadar C., Dunbar D., Engler D.* KLEE: Unassisted and Automatic Generation of High-Coverage Tests for Complex Systems Programs // OSDI 2008 – 8th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. USENIX, 2008. PP. 209–224.
5. *Xu H., Zhao Z., Zhou Y., Lyu M.* Benchmarking the Capability of Symbolic Execution Tools with Logic Bombs // “IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing”. Vol. 17, № 6, 2018. PP. 1243–1256. DOI: 10.1109/TDSC.2018.2805760.
6. SV-COMP: International Competition on Software Verification. Software Verification Competition (SV-COMP) – Official Benchmark Repository. URL: <https://sv-comp.sosy-lab.org/>. Accessed: 2025.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTITHREADED
PROGRAM ANALYSIS METHODS
BASED ON SYMBOLIC EXECUTION**

Sh. Hakobyan

*Russian-Armenian University
Institute of Mathematics, Physics and High Technologies*

ABSTRACT

This study compares two symbolic execution tools for multithreaded program analysis – SIFT and POR-SE, both built on top of KLEE. The goal was to evaluate their effectiveness and practical differences when detecting concurrency-related bugs.

SIFT applies a property-directed approach that limits exploration to potential conflict points between threads. In contrast, POR-SE uses symbolic partial-order execution to merge equivalent thread interleavings and reduce redundancy in exploration.

The evaluation was performed on several benchmark sets containing both faulty and safe multithreaded programs, including cases of use-after-free, out-of-bounds access, and unsafe memory usage.

According to the results, POR-SE achieved broader coverage and higher recall ($F1 = 0.86$) compared to SIFT ($F1 = 0.40$). Both tools produced no false positives. While SIFT scales less effectively on complex programs, it remains efficient for targeted property checking.

Keywords: symbolic execution, multithreading program analysis, SIFT, POR-SE.

ANALYSIS OF ONLINE EDUCATIONAL PROCESSES USING PETRI NETS

Y. Voskanyan, M. Ghapantsyan, A. Hovakimyan

Yerevan State University

*yvoskanyan0@gmail.com, mekhakghapantsyan@gmail.com,
ahovakimyan@ysu.am*

ABSTRACT

This article presents the design and implementation of an educational process mining system based on Petri nets. The task is to establish a connection between raw data obtained from e-learning platforms and the process insights derived from them using process mining methods. Petri nets are used as a way of process modeling, and the Inductive Miner algorithm is used for process discovery. Based on this, a system has been developed that retrieves the event log for the student from the Learning Management System (LMS) and automatically generates a process model that reflects the flow of the student's educational activities. As a result, models represented Petri nets, which both visually and formally depicted how the educational process actually occurred.

Keywords: Petri nets, process mining, e-learning, LMS Moodle, Inductive Miner.

1. Introduction

Currently, the number and demand for electronic learning platforms is inevitably growing. Learning platforms collect a large amount of data from Learning Management Systems (LMS), online educational platforms, and other sources. The analysis of this data allows to assess student's achievement and teaching effectiveness. However, educational stakeholders are increasingly interested not only in understanding what students learn, but also how they learn. In many cases, it is challenging to form a comprehensive understanding of the optimality of teaching processes, the fulfillment of requirements, the procedures for achieving learning outcomes, and the effective use of scheduled hours.

LMS systems record in detail the interactions of students with the system, for example, the sequence of page views, testing attempts, filling in question-answer fields, and submitting homework assignments. Analysis of event logs enables not only the observation of student progress but also the identification of the actual structure of processes, emerging failures, and repetitions.

Key issues related to educational data analysis include:

- Lack of understanding of processes: Traditional analytics (such as grade prediction or student engagement studies) do not reveal the process that students follow. Without learning process analytics, educators may miss important patterns such as the number of attempts made during a course, skipping material, or information about barriers.

- Data volume and complexity: An online course can generate thousands of events for each student. Analyzing these sequences of events manually is impossible.

This work aims to design a system that addresses the problems mentioned above by integrating process mining techniques and their modeling with Petri nets in the educational field. Petri nets offer a convenient graphical language for modeling parallel processes, making them suitable for representing student workflows. Using process discovery algorithms, the system can automatically construct Petri net models from raw event logs that express student actions. Petri nets provide a graphical representation of processes, enabling the depiction of both the structure of processes and their dynamic characteristics.

2. Methods

The proposed system utilizes Process Mining techniques integrated into a custom-developed software solution. The implementation follows a rigorous methodology to ensure data integrity and structural correctness of the discovered models.

2.1. Implementation Architecture

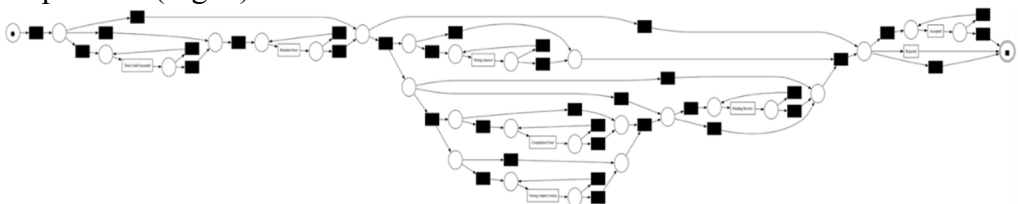
The system architecture consists of three primary modules: the Data Extractor, the Log Transformer, and the Model Discovery Engine. The system connects directly to the LMS Moodle SQL database. It specifically targets tables

related to user activity (Fig. 1). Raw data is filtered to identify individual student traces. Each trace consists of a Case ID (Student ID), Activity (Task performed), and a Timestamp. The output is a structured event log. The Inductive Miner algorithm is employed for process discovery. The inductive miner builds a block-structured model of the process, which is represented as a process tree. This choice is predicated on its ability to produce sound Petri net models, ensuring that the visual representation contains no logical deadlocks.

case_id	timestamp	activity	user_name	problem	language
User #612 P10	2023-11-06 15:43:49+00:00	Wrong Answer	User #612	10	gcc
User #612 P10	2023-11-06 15:50:44+00:00	Compilation Error	User #612	10	gcc
User #612 P10	2023-11-06 16:07:51+00:00	Pending Review	User #612	10	gcc
User #612 P11	2024-01-22 17:18:13+00:00	Compilation Error	User #612	11	gcc
User #612 P11	2024-01-22 17:24:34+00:00	Wrong Answer	User #612	11	gcc
User #612 P11	2024-01-22 17:28:13+00:00	Wrong Answer	User #612	11	gcc

Fig. 1. The initial state of process data.

Once the Inductive Miner processes the logs, the result is translated into a Petri net. This involves defining the set of places (P), transitions (T), and arcs (F) that represent the educational workflow. This formal structure allows for mathematical verification of student behavior against the intended course curriculum. As the last step, the performance and frequency analysis are performed on already formed Petri Nets, which represent student behavior during the process. (Fig 2.)



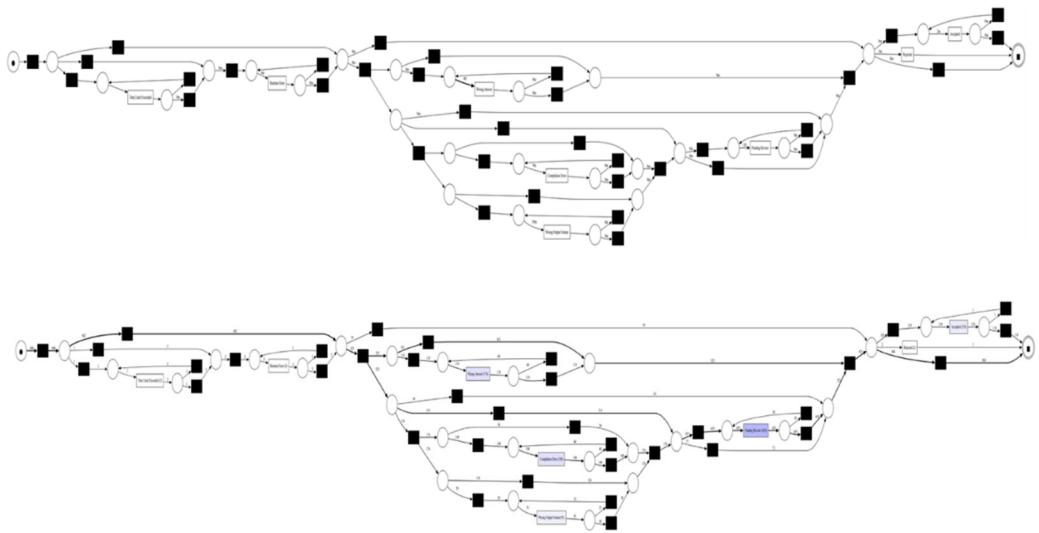


Fig. 2. The constructed Petri Net with its performance and frequency analysis

3. Results

The implementation and testing of the system demonstrated that process mining is highly practical in an educational context. The system successfully transformed complex event logs into legible Petri net models. During testing, the system effectively handled logs containing thousands of entries, generating process models in near real-time. The models accurately reflect the primary process flows of various courses, allowing educators to see where students deviate from the intended curriculum or where they encounter bottlenecks. The application of the Inductive Miner algorithm ensured that the resulting Petri nets were structurally valid. The discovered models provided a clear visualization of the “as-is” process, highlighting loops (repeated attempts at assignments) and parallel activities (studying different modules simultaneously) that were previously hidden in the raw database entries.

4. Discussion

The use of Petri nets provides a unique advantage by offering both a visual representation for human interpretation and a mathematical basis for formal

verification. This research shows that educational institutions can gain a clearer understanding of real student behavior. Future applications may include automated assessment, which can verify if a student followed the required sequence of tasks before receiving credits. If a student bypasses mandatory literature but completes an assignment, the system can flag this anomaly, or temporal analysis, which can determine if students utilized the allocated time effectively or if independent work was performed as expected. Future research will focus on extending the model to consider more nuanced student behaviors and real-time monitoring of educational processes.

REFERENCES

1. An education process mining framework: Unveiling meaningful information for understanding students' learning behavior and improving teaching quality. *Information*, 13 (1), 29
2. Improving PhD student journeys with process mining. In S. J. J. Leemans, A. Awad, & C. Di Ciccio (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Conference on Process Mining (ICPM 2022)*
3. Petri Nets. (DOI: 10.1201/ 9780429184185-8)
4. Petri net model of student choices in a LMS Moodle e-course.
5. Application of data mining and process mining approaches for improving e-learning processes.
6. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой.
7. *Process Mining: Data Science in Action* (2nd ed.). Springer. ISBN: 978-3-662-49850-7
8. pm4py.algo.discovery.inductive package

АНАЛИЗ ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Е. Восканян, М. Хапанцян, А. Овакимян

Ереванский государственный университет

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлено проектирование и реализация системы интеллектуального анализа образовательных процессов на основе сетей Петри. Задача состоит в установлении связи между необработанными данными, получаемыми с платформ электронного обучения, и выводами о процессе, извлекаемыми из этих данных с использованием методов анализа процессов (process mining).

Сети Петри используются как средство моделирования процессов, а алгоритм Inductive Miner – для их обнаружения. На этой основе была разработана система, которая извлекает журнал событий (event log) студента из системы управления обучением (LMS) и автоматически генерирует модель процесса, отражающую ход его образовательной деятельности. В результате получают модели, представленные сетями Петри, которые как визуально, так и формально описывают реальное протекание образовательного процесса.

Ключевые слова: сети Петри, анализ процессов, электронное обучение, LMS Moodle, Inductive Miner.

AUTOMATED DETECTION AND ANALYSIS OF PROJECTILE IMPACTS USING COMPUTER VISION

V. Melkonyan, M. Smbatyan, A. Sardaryan

Russian-Armenian University

vahagn.melkonyan@student.rau.am, meri.smbatyan@student.rau.am

armen.sardaryan@rau.am

ABSTRACT

This paper presents a software system for the automated real-time detection, stabilization, and analysis of projectile impacts in video sequences. The system utilizes a model to identify the region of interest automatically. Impact events are identified through a multi-method approach that combines the inter-frame transformation magnitudes, background subtraction, and contour analysis within a defined mask. The system outputs annotated frames marking the precise impact location and calculates its coordinates relative to the center of the target.

Keywords: Impact detection, computer vision, optical flow, video stabilization, background subtraction.

Introduction

Accurately detecting and localizing impact points in video sequences is an important task in various domains, including sports analytics, defense applications. Manually reviewing footage to identify and localize these events is time-consuming and prone to human error.

Traditional motion detection algorithms, while simple and efficient, are often prone to false positives caused by minor camera movements, lighting changes, or irrelevant background motion. More advanced systems use high-speed cameras or additional sensors to achieve higher precision, but such setups are costly and less accessible. With the growing availability of high-resolution video and advances in computer vision, it is now possible to achieve similar accuracy using standard cameras combined with intelligent image processing techniques.

Existing approaches often rely on background subtraction [1, 2], but these can be sensitive to dynamic backgrounds. More recent methods incorporate deep learning for object detection [3, 4], but real-time performance and accurate localization remain challenges.

While many existing approaches focus on detecting impacts on a fixed target (e.g., a gong), real-world scenarios frequently involve shots that miss the target and hit the surrounding ground. These ground impacts carry valuable information - for example, for adjusting aim, evaluating projectile spread, or tracking shot trajectories.

Related Work

The detection and localization of impact events in video intersect several key areas of computer vision, including motion detection, video stabilization, background modeling, and object detection. Traditional methods, such as frame differencing and background subtraction (e.g., Gaussian Mixture Models [1] or running averages [2]), are computationally efficient but often fail in real-world conditions due to camera motion, dynamic backgrounds, and illumination changes.

Video stabilization has been widely studied to mitigate the effects of camera shake. Classical feature-based methods, including those based on the Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) optical flow [5] or SIFT/SURF feature matching [6], estimate inter-frame transformations to compensate for unwanted camera shake. More recent stabilization approaches leverage homography estimation and motion smoothing [7], enabling more robust separation between scene motion and camera-induced motion. However, these methods are typically applied offline and are not optimized for real-time impact detection tasks.

For object localization, deep learning-based methods such as Faster R-CNN [3], YOLO [4], and more recently, Segment Anything Model (SAM) [8], have achieved high accuracy and generalization, but are not well suited for transient, small-scale events such as projectile impacts. Recent variants such as Fast Segment Anything Model (FastSAM) [9] offer real-time segmentation performance, making them suitable for target identification in streaming video.

Some approaches focus exclusively on detecting impacts on a fixed target, such as gongs or metallic plates, using vibration analysis or frame differencing.

However, these methods are limited to hits within a predefined area and fail to detect ground impacts, which can be critical for applications such as ballistic calibration or trajectory reconstruction.

In summary, existing techniques either rely on motion cues that are sensitive to environmental factors or on object detectors not optimized for short, transient events. The proposed system addresses this gap by combining real-time target segmentation, feature-based stabilization, and a multi-method detection strategy to robustly detect and localize both target and ground impacts.

Proposed Method

The proposed system is designed as a modular pipeline that integrates several computer vision techniques to achieve robust, real-time impact detection. The overall architecture, depicted in Figure 1, consists of five main stages: (1) video input and preprocessing, (2) target identification and initialization,

(3) frame stabilization and motion compensation, (4) multi-method impact detection and analysis, and (5) data fusion and output. The following subsections provide a detailed exposition of each stage.

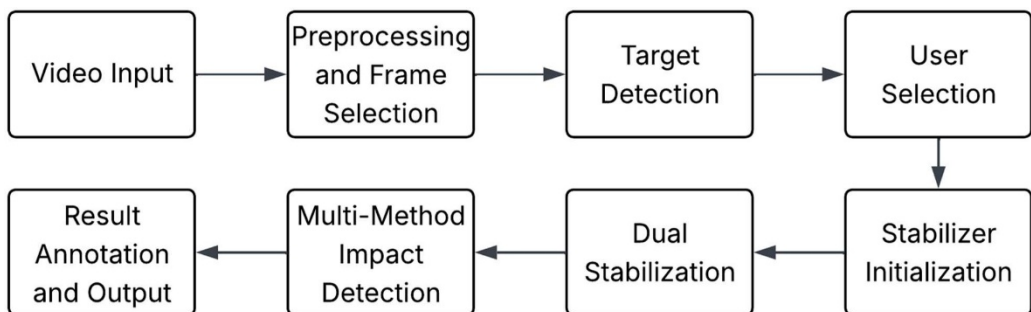


Figure 1. System Architecture Diagram.

1. Video Input and Processing

The process begins by capturing the video stream from a file or a live camera feed. Each frame is resized to a fixed resolution (e.g., 1280×720) to standardize processing and reduce computational load. A preprocessing step

removes black areas caused by the phone being attached to binoculars, ensuring that only the relevant visual region is analyzed and reducing unnecessary computation.

2. Target Identification and Initialization

Accurate and stable target identification is critical for reliable impact localization. This is achieved by using the FastSAM segmentation model, which provides high accuracy and real-time performance.

From the segmented output, candidate regions are extracted based on confidence scores and presented to the user for manual confirmation. This user-in-the-loop initialization ensures precise target selection (e.g., the gong), which is used to initialize the stabilization module.

3. Frame Stabilization and Motion Compensation

To separate true impact motion from camera shake, the system applies feature-based video stabilization. After the target is selected, keypoints are extracted from the reference frame (the frame after target selection) and tracked across subsequent frames using the Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) optical flow algorithm. For each keypoint $p_j = (x_j, y_j)^T$ in the reference frame, the corresponding $p'_j = (x'_j, y'_j)^T$ in the current frame is found. The matched feature pairs are used to estimate a partial affine transformation matrix:

$$p'_j \approx A_t \begin{bmatrix} p_j \\ 1 \end{bmatrix}, A_t = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \end{bmatrix}.$$

Each frame is warped using the inverse of this transformation to produce a stabilized video stream in which the target remains stationary. The magnitude of motion is computed as:

$$\Delta t = \sqrt{t_x^2 + t_y^2},$$

and stored for subsequent impact detection.

4. Multi-Method Impact Detection and Analysis

Impact detection combines two complementary methods for reliability.

Method 1: Transformation Magnitude-Based Detection. This method acts as a high-confidence trigger. A projectile impact typically induces a sudden, sharp impulse to the target, causing a momentary, large displacement. This manifests as a significant peak in the magnitude of the stabilization transformation. When this magnitude exceeds a dynamically adaptive threshold, it is interpreted as a primary indicator of a hit event, initiating the relevant frames saving process.

Method 2: Contour Analysis within a Region of Interest (ROI). This method provides precise impact localization. A dynamic background model B_t of the target is maintained using a running average:

$$B_t = (1 - \alpha) \cdot B_{t-1} + \alpha \cdot I_t^{ROI},$$

where I_t is the original frame, $B_0 = I_0^{ROI}$, and $0 \leq \alpha \leq 1$. This background model blends information from each new frame with the existing background. This allows the model to adapt to slow, natural changes (such as lighting variations) while ignoring short, sudden disturbances. The absolute difference between the current target ROI and this background model is computed and thresholded to create a binary mask of changes.

Contours extracted from this mask are filtered to remove edge noise and combined using a custom merging algorithm.

The algorithm works by computing the distance between contour centroids. For two contours with centroids at positions $c_i = (x_i, y_i)$ and $c_j = (x_j, y_j)$, the distance is calculated as:

$$d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

Contours with centroids closer than a distance threshold, $d(i, j) < \tau_{dist}$, where τ_{dist} is a predefined distance threshold, are joined if their merged convex hull area is within an acceptable range.

Remaining contours are evaluated for circularity, defined as:

$$C = \frac{4\pi A_c}{P_c^2},$$

where A_c and P_c are the contour's area and perimeter. This metric ranges from 0 (complex shape) to 1 (perfect circle). Contours with $C > \tau_{circ}$ are classified as valid impact points, where τ_{circ} is a predefined circularity threshold. This ensures only circular patterns characteristic of projectile impacts are selected.

5. Data Fusion and Output

When a hit is confirmed by either method, the system synthesizes the data. The impact coordinates are transformed back to the original frame's coordinate system using the inverse of the stabilization transformation matrix. As we have 2×3 an affine transformation matrix A_t , it is first converted to a 3×3 homogeneous matrix:

$$A_{\text{hom}} = \begin{bmatrix} & A & \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

The inverse transformation A_{hom}^{-1} is computed, and the impact point $p_{\text{stab}} = (x, y, 1)^1$ in homogeneous coordinates is transformed as:

$$p_{\text{original}} = A_{\text{hom}}^{-1} \cdot p_{\text{stab}}.$$

The system then calculates the normalized offset relative to the target's center, providing metrics such as "X: 0.125 LEFT", which indicates the hit was located 12.5% of the target's width to the left of center. The final annotated frame displays the target boundary, detected impact point, and offset information, as shown in Figure 2.

Results

To evaluate the performance of the proposed system, we compiled a dataset consisting of 71 videos, each approximately two minutes long. The dataset includes a range of scenarios: videos with no impacts, only gong hits, only off-target (ground) impacts, and those containing both. This diversity allows for a comprehensive evaluation of both gong and non-gong impact detection.

After processing the entire dataset, the system produced a total of 227 annotated detections, each of which was manually reviewed and classified. The distribution of detections is summarized in Table 1.

In total, 185 out of 227 detections (81.5%) were correctly localized, demonstrating the system's ability to accurately identify both gong and off-target impacts. The remaining 11% of ambiguous detections were mainly caused by strong camera motion or simultaneous activation of multiple detection methods. These cases suggest directions for future improvement, such as implementing

temporal filtering and decision fusion strategies to further enhance system stability and precision.

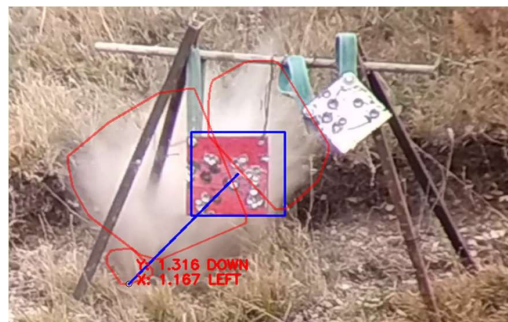
Table 1.

Results of system testing

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Count</i>
Correct off-target detections	Hits not on the gong but correctly localized	159
Correct gong detections	Hits on the gong, correctly localized	26
Gong detections with localization error	Hits on the gong, detected but with incorrect impact location	7
Off-target detections with localization error	Hits not on the gong, detected but with incorrect impact location	10
Unrelated / ambiguous detections	False detections caused by camera shake or duplicate detections from multiple methods	25



(a)



(b)

*Fig. 2. Representative examples of successful impact detection:
 (a) On-target hit accurately detected and measured on the gong surface;
 (b) Off-target hit correctly localized in the background.*

Conclusion

In conclusion, the implemented system demonstrates a robust and effective approach to automated impact detection. This system has practical applications in automated scoring systems, scientific experiments, and security monitoring.

REFERENCES

1. *Stauffer Chris, W. Eric L. Grimson.* Adaptive background mixture models for real-time tracking. Proceedings. 1999 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (Cat. No PR00149). Vol. 2. IEEE, 1999.
2. *KaewTraKulPong Pakorn, Bowden R.* An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection. Video-based surveillance systems: Computer vision and distributed processing. Boston, MA: Springer US, 2002. PP. 135–144.
3. *Shaoqing R. et al.* Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 39.6 (2016): PP. 1137–1149.
4. *Redmon J. et al.* You only look once: Unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
5. *Lucas Bruce D., Kanade T.* An iterative image registration technique with an application to stereo vision. IJCAI'81: 7th international joint conference on Artificial intelligence. Vol. 2. 1981.
6. *Lowe D.G.* Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International journal of computer vision 60.2 (2004): PP. 91–110.
7. *Yasuyuki M. et al.* Full-frame video stabilization. 2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05). Vol. 1. IEEE, 2005.
8. *Kirillov A. et al.* Segment anything. Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. 2023.
9. *Zhao Xu et al.* Fast segment anything. arXiv preprint arXiv: 2306. 12156 (2023).

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЙ СНАРЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В. Мелконян, М. Смбалян, А. Сардарян

Российско-Армянский университет

АННОТАЦИЯ

В данной работе представлена программная система для автоматического обнаружения, стабилизации и анализа попаданий снарядов в видеопоследовательностях в режиме реального времени. Система автоматически определяет область интереса с помощью модели сегментации. События попаданий выявляются с помощью многоуровневого подхода, который сочетает анализ межкадровых преобразований, вычитание фона и контурный анализ в заданной маске. На выходе система формирует аннотированные кадры с точным указанием места попадания и вычисляет его координаты относительно центра цели.

Ключевые слова: обнаружение ударов, компьютерное зрение, оптический поток, стабилизация видео, вычитание фона.

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ОТЛАДКИ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛОВ

А.В. Татосова, М.С. Арутюнян, А.К. Асланян

Российско-Армянский университет

Институт математики, физики и высоких технологий

alisa.tatosova@student.rau.am, mariam.arutunian@rau.am,

hayk.aslanyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

В данной работе представлены методы расширения возможностей современных отладчиков для решения проблем, связанных с отладкой макросов препроцессора и восстановлением переменных, удаленных в процессе оптимизации компилятором. Разработан плагин для отладчика GDB, позволяющий пошагово отлаживать макросы C/C++ и восстанавливать значения оптимизированных переменных. Метод основан на сборе дополнительной отладочной информации из предобработанной версии программы и сохранении состояний переменных на каждом шаге выполнения. Проведено тестирование на различных сценариях, подтверждающее эффективность предложенных решений.

Ключевые слова: отладка, макросы препроцессора, оптимизация компилятора, GDB, DWARF.

Введение

Современные отладчики, такие как GDB и LLDB, являются незаменимыми инструментами для разработчиков программного обеспечения. Они позволяют пошагово выполнять код, анализировать значения переменных, устанавливать точки останова и исследовать причины неправильного поведения программ. Однако, несмотря на их развитость, существуют серьезные ограничения, связанные с отладкой макросов препроцессора и оптимизированного кода.

Препроцессорные макросы в C/C++ выполняются на этапе преобразования, до начала компиляции. После преобразования исходный код с макросами исчезает, и все последующие стадии компиляции работают с развернутыми версиями макросов. Это делает невозможным установку точек останова внутри макроса, пошаговое выполнение или просмотр значений локальных переменных в теле макроса. Даже использование флага компиляции `-g3`, который добавляет информацию о макросах в отладочные данные, не предоставляет возможности полноценной отладки макросов.

Параллельно с этим, оптимизации компилятора изменяют структуру программы. При включении флагов оптимизации (`-O1`, `-O2`, `-O3`) компилятор может удалить неиспользуемые переменные, объединить выражения или изменить порядок вычислений. В результате отладчик сталкивается с ситуацией, когда переменные помечаются как `<optimized out>` и становятся недоступными для анализа.

Цель работы – разработать и реализовать методы, направленные на расширение возможностей отладчиков, в частности: обеспечение поддержки пошаговой отладки макросов препроцессора и восстановление значений переменных, удаленных компилятором в процессе оптимизации.

Таблица 1.

Результаты тестирования «Отладка макросов»

Тестовый случай	Работает / Не работает
Макрос из одной строки	✓
Многострочный макрос	✓
Макрос, вызываемый внутри цикла	✓
Макрос в <code>if/else</code> конструкции	✓
Макрос внутри макроса (вложенные макросы)	✗
Макрос удалён после препроцессинга	✗

Далее приведена таблица (Табл. 2), отражающая корректность восстановления переменных, оптимизированных компилятором во время отладки.

Таблица 2.

Результаты тестирования «Восстановление оптимизированных переменных»

Тестовый случай	Работает / Не работает
Оптимизированная переменная (обычная)	✓
Оптимизированная переменная внутри условия	✓
Переменная полностью удалена	✗
Оптимизированная локальная переменная в короткоживущей области видимости	✓
Параметр функции, оптимизированный и не используемый	✗

Заключение

В данной работе была поставлена цель – разработать и реализовать методы для устранения существующих ограничений современных отладчиков, связанных с невозможностью отслеживать макросы препроцессора и восстанавливать переменные, удаленные в процессе оптимизации компилятором. Для достижения этой цели были разработаны и реализованы решения, расширяющие функциональность отладчиков.

В частности, был создан плагин, позволяющий:

- ✓ отслеживать и визуализировать развёртки макросов на этапе отладки;
- ✓ восстанавливать значения переменных, помеченных как «optimized out».

Полученные результаты могут служить основой для дальнейшего развития отладчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. GDB: The GNU Project Debugger // GNU Operating System.
<https://www.gnu.org/software/gdb/>
2. LLDB – The LLVM Debugger // *LLVM Project*. <https://lldb.llvm.org/>
3. *Di Luna G., Italiano D., Massarelli L., Osterlund S., Giuffrida C., Querzoni L.* Who’s debugging the debuggers? Exposing debug information bugs in optimized binaries // “Proc. 26th ACM Int. Conf. Architectural Support Programming Lang. Operating Syst. (*ASPLOS '21*)”, 2021. PP. 109–122.
<https://doi.org/10.1145/3445814.3446695>
4. Clang. Preprocessing Options // Clang User’s Manual
<https://clang.llvm.org/docs/UsersManual.html#preprocessing-options>
5. Assaiante C., D’Elia D.C., Di Luna G.A., Querzoni L. Where did my variable go? Poking holes in incomplete debug information // Proc. 28th ACM Int. Conf. Architectural Support Programming Lang. Operating Syst. (*ASPLOS '23*), 2023. PP. 1–16.
<https://arxiv.org/pdf/2211.09568>
6. <https://arxiv.org/pdf/2211.09568>
7. *Y. Li, Ding S., Zhang Q., Italiano D.* Debug information validation for optimized code // “Proc. 41st ACM SIGPLAN Conf. Programming Language Design Implementation *PLDI '20*”. London, UK, 2020. PP. 1–13.
<https://doi.org/10.1145/3385412.3386020>
8. Clang. Optimization Levels // Clang Command Guide
<https://clang.llvm.org/docs/CommandGuide/clang.html#optimization-levels>
9. Clang Documentation – Compiler Command Guide // Clang Command Guide
<https://clang.llvm.org/docs/CommandGuide/clang.html>
10. GDB Debugging Information // GDB Documentation.
<https://sourceware.org/gdb/current/onlinedocs/gdb>
11. DWARF Debugging Standard // DWARF Standard <https://dwarfstd.org/>
12. DWARF 5 Specification // DWARF Standard.
13. <https://dwarfstd.org/doc/DWARF5.pdf> [12]
14. GCC Debugging Options // GCC Manual
15. <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc/Debugging-Options.html> [13]
16. GDB Python API // GDB Documentation
17. <https://sourceware.org/gdb/current/onlinedocs/gdb/Python-API.html> [14]
18. LLVM LibTooling API // LLVM Documentation
<https://clang.llvm.org/docs/LibTooling.html>
19. Clang: PPCallbacks Documentation // Clang Documentation
<https://clang.llvm.org/docs/PPCallbacks.html>

20. Clang Internals Manual: Preprocessor // Clang Documentation
<https://clang.llvm.org/docs/InternalsManual.html#preprocessor>

METHODS FOR IMPROVING DEBUGGING OF OPTIMIZED EXECUTABLE FILES

A. Tatosova, M. Arutunian, H. Aslanyan

*Russian-Armenian University
Institute of Mathematics, Physics and High Technologies*

ABSTRACT

This paper presents methods for extending the capabilities of modern debuggers to address issues related to debugging preprocessor macros and recovering variables removed during compiler optimization. A plugin for the GDB debugger has been developed that enables step-by-step debugging of C/C++ macros and recovery of optimized variable values. The method is based on collecting additional debugging information from the preprocessed version of the program and saving variable states at each execution step. Testing on various scenarios confirms the effectiveness of the proposed solutions.

Keywords: debugging, preprocessor macros, compiler optimization, GDB, DWARF.

ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК В КОДЕ СМАРТ-КОНТРАКТОВ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ш.Л. Товмасын, О.М. Мовсисян

Российско-Армянский университет

*Институт математики, физики и высоких технологий
shushanik.tovmasyan@student.rau.am, hovhannes.movisiyan@rau.am*

АННОТАЦИЯ

В данной работе проведено исследование методов статического анализа для обнаружения уязвимостей в смарт-контрактах на языке Solidity. Разработаны и реализованы три детектора для обнаружения уязвимостей: «Необработанные низкоуровневые вызовы», «Опечатка» и «Авторизация через tx.origin». Тестирование на существующих и созданных наборах данных показало, что разработанные детекторы достигают точности 96–100%, превосходят существующие инструменты. На наборе из 30000 реальных проектов детектор необработанных низкоуровневых вызовов показал precision 98,5%.

Ключевые слова: смарт-контракты, статический анализ, Solidity, уязвимости, детекторы ошибок.

Введение

Ethereum блокчейн широко распространился как децентрализованная платформа для публикации смарт-контрактов [1]. С ростом популярности блокчейна все больше программистов публикуют смарт-контракты, что приводит к увеличению уязвимостей в коде. По статистике Chain Analysis [2], в период 2015–2022гг. общая сумма украденных хакерами средств возросла с 0,25 млн до 3,8 млрд долларов.

Необратимость транзакций в блокчейне означает, что любые ошибки в коде смарт-контрактов могут приводить к серьезным финансовым потерям. Статический анализ, основанный на проверке кода без его выполне-

ния, является одним из эффективных методов снижения рисков. Однако существующие инструменты статического анализа сталкиваются с ограничениями, такими как невозможность проверки сложных сценариев или зависимость от устаревших версий Solidity.

Цель работы

Разработка и реализация детекторов для обнаружения уязвимостей «Необработанные низкоуровневые вызовы», «Опечатка» и «Авторизация через tx.origin» в исходном коде смарт-контрактов.

Материалы и методы

Детекторы были реализованы на базе фреймворка статического анализа, который предоставляет:

- ✓ загрузку исходного кода смарт-контракта в базу данных;
- ✓ структурированную информацию о коде (контракты, функции, инструкции);
- ✓ поддержку интерпрограммного, чувствительного к потоку и контексту анализов.

Тестирование проводилось на трех типах наборов данных:

- ✓ существующий набор SmartBugs[4] (143 контракта);
- ✓ созданные наборы тестов с краевыми случаями;
- ✓ набор реальных смарт-контрактов (30000 проектов).

Результаты

На существующем наборе SmartBugs детектор «Необработанные низкоуровневые вызовы» обнаружил все 75 уязвимостей (precision 100%), включая 3 уязвимости, не обнаруженные ни одним другим инструментом.

На созданных наборах тестов (данные).

Таблица 1.

Сравнение с лучшим существующим инструментом (Slither [8])

Уязвимость	Инструмент	TP	TN	FP	FN	Accuracy
Необработанные низкоуровневые вызовы	Slither	6	11	0	7	71%
	Наш детектор	13	10	1	0	96%
Опечатка	Slither	13	3	0	0	100%
	Наш детектор	13	3	0	0	100%
Авторизация через tx.origin	Slither	4	2	0	1	86%
	Наш детектор	5	2	0	0	100%

На реальных смарт-контрактах детекторы были запущены на наборе из 30000 проектов.

Таблица 2.

Результаты, полученные в результате запуска нашего детектора на наборе реальных смарт-контрактов

Уязвимость	Все найденные	Рассмотренные	True Positives	False Positives	Precision
Необработанные низкоуровневые вызовы	5790	1025	1010	15	98,5%
Опечатка	0	0	0	0	-
Авторизация через tx.origin	52	52	52	0	100%

Заключение

В результате работы проведен комплексный анализ существующих инструментов статического анализа смарт-контрактов и разработаны три специализированных детектора уязвимостей.

Основные достижения:

1. Разработаны и реализованы детекторы для трех типов уязвимостей с точностью 96-100% на тестовых наборах и 98,5% – на реальных проектах.
2. Обнаружены 3 уязвимости в наборе SmartBugs, не выявленные ни одним из существующих инструментов.
3. Проанализировано 30000 реальных проектов, что подтвердило практическую значимость разработанных детекторов.

Полученные результаты демонстрируют, что специализированные детекторы могут значительно превосходить универсальные инструменты в обнаружении определенных типов уязвимостей. Работа вносит вклад в повышение безопасности смарт-контрактов и предоставляет основу для дальнейшего развития методов статического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ethereum blockchain: <https://ethereum.org/en/>
2. Chain Analysis: <https://www.chainalysis.com/blog/crypto-hacking-stolen-funds-2025/>
3. The DAO 2016: <https://www.coindesk.com/consensus-magazine/2023/05/09/coindesk-turns-10-how-the-dao-hack-changed-ethereum-and-crypto>
4. SmartBugs: A Framework for Analyzing Solidity Smart Contracts: <https://github.com/smartbugs/smartbugs>
5. Unchecked low-level calls: <https://swcregistry.io/docs/SWC-127/>
6. Typographical error: <https://swcregistry.io/docs/SWC-129/>
7. Authorization through tx.origin: <https://swcregistry.io/docs/SWC-115/>
8. Slither: A Static Analysis Framework for Smart Contracts: <https://arxiv.org/pdf/1908.09878>

BUG DETECTION IN SMART CONTRACTS' CODE THROUGH STATIC ANALYSIS

Sh. Tovmasyan, H. Movsisyan

*Russian-Armenian University
Institute of Mathematics, Physics and High Technologies*

ABSTRACT

In this work, a study of static analysis methods for detecting vulnerabilities in Solidity smart contracts was conducted. Three detectors were developed and implemented to identify vulnerabilities: “Unchecked Low-Level Calls”, “Typo” and “Authorization via tx.origin”. Testing on existing and newly created datasets showed that the developed detectors achieved an accuracy of 96–100%, outperforming existing tools. On a dataset of 30,000 real projects, the detector for unchecked low-level calls demonstrated a precision of 98.5%.

Keywords: smart contracts, static analysis, Solidity, vulnerabilities, detectors

ПОВТОРНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ, ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА

*Г.А. Хачатрян**, *А.С. Сардарян*, *В.Г. Мелконян*, *А.Б. Аванян*,
О.А. Оганесян

Российско-Армянский университет
**khachatryan_gohar@student.rau.am*

АННОТАЦИЯ

Повторное обнаружение объектов на аэрофотоснимках является важной задачей для систем наблюдения, поисково-спасательных операций и экологического мониторинга. Объекты, однажды зафиксированные на изображении, могут исчезать из-за перекрытий, изменения ракурса или временных разрывов между кадрами. Возможность их повторного обнаружения повышает надежность систем воздушного наблюдения. В данной работе предлагается метод повторного обнаружения объектов на аэрофотоснимках, полученных с беспилотных летательных аппаратов. Метод основан на сканировании новых кадров с целью нахождения объекта, наиболее похожего на потерянный, с использованием визуального сходства.

Для повышения устойчивости к искажениям применяются методы предварительной обработки изображений, а также используется кластеризация для сокращения области поиска. В систему повторного обнаружения интегрированы алгоритмы сопоставления, сравнивающие визуальные признаки потерянного объекта с возможными кандидатами на новых изображениях. Эффективность предложенного подхода подтверждена экспериментами на реальных наборах аэрофотоснимков, демонстрирующих успешное повторное обнаружение объектов в условиях изменяющегося фона, масштаба и освещенности.

Ключевые слова: повторное обнаружение объектов, аэрофотоснимки, беспилотные летательные аппараты.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали важными инструментами в различных задачах компьютерного зрения, включая автоном-

ную навигацию, наблюдение, поисково-спасательные операции и мониторинг окружающей среды. Одной из ключевых возможностей таких систем является непрерывное отслеживание объектов интереса в реальном времени. Однако в реальных условиях отслеживаемый объект может временно исчезать из поля зрения камеры из-за перекрытий, резких движений, препятствий или динамических изменений сцены. В отличие от кратковременных сбоев отслеживания, вызванных ошибками алгоритма, в подобных ситуациях происходит фактическая временная потеря цели, когда объект выходит за пределы кадра или становится невидимым на некоторое время.

Для обеспечения автономности системы и непрерывности выполнения задачи необходимо, чтобы система отслеживания на основе БПЛА могла автоматически повторно обнаруживать цель после ее повторного появления без вмешательства оператора. В рамках разработки универсального метода повторного обнаружения объектов, не зависящего от конкретных классов объектов, традиционные нейросетевые детекторы были исключены из рассмотрения из-за их высокой ресурсоемкости и зависимости от классов, на которых были обучены. В данной работе предлагается двухэтапный метод повторного обнаружения объектов, специально разработанный для систем компьютерного зрения на борту БПЛА. На первом этапе с помощью классических методов компьютерного зрения генерируются рамки-кандидаты по всей сцене, что существенно сокращает область поиска. На втором этапе производится сопоставление изображений между этими кандидатами и шаблоном, извлеченным из начального вида цели. Такой подход обеспечивает баланс между эффективностью и надежностью, позволяя переобнаруживать объект без дообучения моделей, что делает его особенно подходящим для использования на платформе БПЛА с ограниченными вычислительными ресурсами.

Предлагаемый метод

В рамках данной работы задача повторного обнаружения объекта была разделена на две подзадачи:

- ✓ выделение рамок-кандидатов (candidate boxes selection);
- ✓ сопоставление кандидатов с эталонным шаблоном (template matching).

Предложенный метод сначала формирует предполагаемые области, содержащие объекты, а затем сопоставляет шаблон отслеживаемого объекта с этими областями.

А. Выделение рамок-кандидатов

Поскольку основной целью было создание пайплайна для бесклассового обнаружения объектов (class-agnostic detection), современные модели обнаружения, такие как YOLO [1], Faster R-CNN [2] и Mask R-CNN [3], были исключены. Вместо этого для генерации рамок-кандидатов используются карты границ (edge maps), имитирующие особенности человеческого восприятия визуальных объектов. Такой подход фокусируется на контурной информации аналогично тому, как человек распознает объекты по их очертаниям на фоне. Обработка одного кадра выполняется по следующему пайплайну (Рис. 1):

1) сначала из размытой черно-белой версии изображения извлекается карта границ с использованием метода Канни (Canny edge detection) [4]; поскольку изображения были получены с БПЛА, большинство объектов содержат резкие и четкие границы, что может привести к генерации нескольких ограничивающих рамок для одного объекта;

2) для устранения избыточности применяются морфологические операции: дилатация, эрозия, открытие и закрытие, которые помогают устранить шум и объединить разрозненные края;

3) затем контуры извлекаются с помощью иерархического дерева (tree hierarchy), что позволяет разделять внешние и внутренние контуры: внешние контуры используются напрямую: их ограничивающие рамки рассматриваются как кандидаты;

4) для внутренних контуров применяется отдельный алгоритм объединения: ограничивающие рамки группируются по расстоянию между их центрами, предполагая, что они принадлежат одному объекту; для каждой группы затем формируется новая ограничивающая рамка по выпуклой оболочке (convex hull) вершин всех рамок внутри группы.

Для конкретных прикладных задач можно также добавлять дополнительные фильтры, такие как:

- ✓ ограничения по площади рамки;

- ✓ ограничения по соотношению сторон;
- ✓ удаление длинных прямых линий с бинарной карты границ для снижения шума и повышения точности выделения границ объектов.

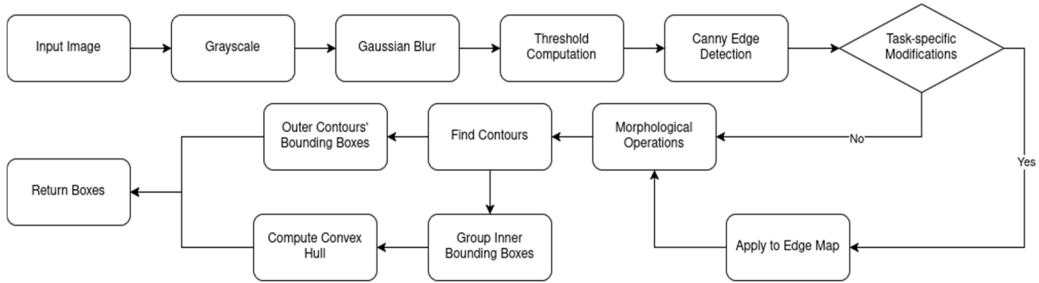


Рисунок 1. Пайплайн алгоритма выделения ограничивающих рамок-кандидатов.

В. Сопоставление кандидатов с шаблоном

В условиях повторного обнаружения объектов с БПЛА, где цель может существенно менять масштаб и ракурс, а вычислительные ресурсы ограничены, выбор стратегии сопоставления шаблонов приобретает ключевое значение. По этой причине особое внимание уделялось эффективным и быстродействующим методам, способным сохранять устойчивость в условиях ограничений реального времени.

В рамках данной работы было принято решение использовать наиболее легкий и быстрый способ сравнения. Для извлечения признаков (features) из изображения кандидата и шаблона мы использовали классическую нейросеть для классификации, у которой удалили последний слой классификации, сохранив только экстрактор признаков. Таким образом, для каждого изображения вычисляются векторные представления, а сравнение проводится с использованием косинусного расстояния:

$$\text{dist}(\bar{X}, \bar{Y}) = \frac{\bar{X} \cdot \bar{Y}}{\|\bar{X}\| \cdot \|\bar{Y}\|},$$

где \bar{X} и \bar{Y} – векторные представления признаков кандидата и шаблона.

В качестве архитектуры для извлечения признаков использовалась ResNet18 [5]. Эта сеть обладает умеренной глубиной и обеспечивает быстрое извлечение признаков, сохраняя при этом высокую точность сопоставления.

Оценка и экспериментальная проверка метода

А. Набор данных и метрики оценивания

Для оценки нашего подхода лучше всего подходят наборы данных, размеченные для задачи отслеживания объектов, так как разметка в них плотная (то есть выполнена для каждого кадра). Мы выбрали набор данных VisDrone Single Object Tracking [6]. Данный набор содержит последовательности аэрофотоснимков, сделанных над городской средой, с отслеживаемыми объектами различных классов. Поскольку в экспериментах используются два случайных кадра из одной последовательности, мы исключили те последовательности, в которых наблюдаются сильные перекрытия (occlusions) или значительная обрезка объектов (truncation). После фильтрации осталось 34896 кадров из 39 последовательностей с полностью видимыми отслеживаемыми объектами.

Для оценки качества совпадения предсказанного ограничивающего прямоугольника с эталонным (ground truth) использовались метрика перекрытия – Intersection over Union (IoU), а также основанная на ней точность – количество верно найденных ограничивающих рамок, то есть тех, у которых IoU превышает 0.5.

В. Эксперименты и результаты

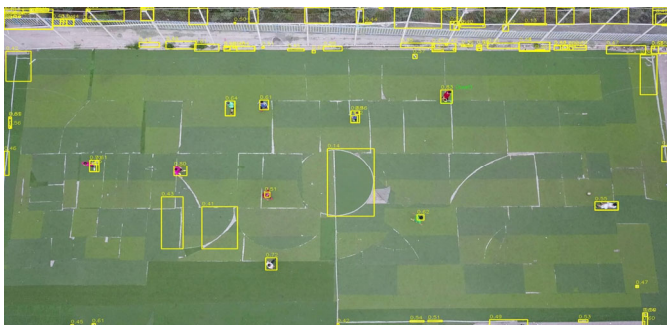
Из каждой последовательности мы случайным образом выбрали пару изображений, имитируя потерю объекта на N-ое количество кадров. В качестве результата работы метода, как было описано в 2.2, выбиралась ограничительная рамка с наименьшим косинусным расстоянием с шаблоном.

Как и ожидалось, качество обнаружения снижалось, когда рядом с объектом отслеживания находились другие объекты, в основном из-за морфологических операций, таких как расширение и эрозия. В таких случаях

два или более объектов могут сливаться в один, что приводит к увеличению ограничительной рамки. В случаях, где объект был изолирован от других, алгоритм успешно предсказывал ограничительные рамки. Пример точного срабатывания алгоритма повторного обнаружения через 1030 кадров после «потери» приведен на Рис. 2.



(а) Кадр с размеченной целью перед исчезновением.



(б) Все кандидаты на кадре после восстановления (через 1030 кадров).



(в) Лучший кандидат – зеленым цветом и цель – синим цветом.

Рисунок 2. Пример работы алгоритма на последовательности из VisDrone.

Заключение

В данной работе представлен легкий и эффективный метод повторного обнаружения объектов на аэрофотоснимках, полученных с БПЛА. Метод основан на генерации рамок-кандидатов с использованием информации о границах объектов и последующем сопоставлении с шаблоном. Он не требует предварительного обучения и может применяться на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами. На данном этапе эксперименты показали высокое качество предложенного метода. В дальнейшем будут проведены более детальные эксперименты и исследования влияния фона, масштаба и света на качество повторного обнаружения.

Рассмотренный алгоритм может быть интегрирован в систему отслеживания объектов, что позволит повысить ее надежность и качество. Для эффективной интеграции необходимо разработать алгоритм, способный автоматически определять момент потери объекта и момент, когда нужно начинать поиск рамок-кандидатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Redmon J. et al.* You only look once: Unified, real-time object detection // “Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition”, 2016. PP. 779–788.
2. *Ren S. et al.* Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks // “IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence”. Т. 39, № 6, 2016. PP. 1137–1149.
3. *He K. et al.* Mask r-cnn // “Proceedings of the IEEE international conference on computer vision”, 2017. PP. 2961–2969.
4. *Canny J.* A computational approach to edge detection // “IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence”, № 6, 1986. PP. 679–698.
5. *He K. et al.* Deep residual learning for image recognition // “Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition”, 2016. PP. 770–778.
6. *Zhu P. et al.* Vision meets drones: A challenge //arXiv preprint arXiv:1804.07437. 2018

OBJECT RE-DETECTION IN AERIAL IMAGERY CAPTURED BY UAVS

G. Khachatryan, A. Sardaryan, V. Melkonyan, A. Avanyan, O. Hovhannisyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

Object re-detection in aerial imagery is a critical task for surveillance systems, search and rescue operations, and environmental monitoring. Objects that have previously appeared in a frame may disappear due to occlusions, viewpoint changes, or temporal gaps between frames. The ability to re-detect such objects significantly enhances the reliability of aerial observation systems. This work proposes a method for object re-detection in aerial images captured by unmanned aerial vehicles (UAVs). The method involves scanning new frames to find the object most similar to the previously lost one, using visual similarity. To improve robustness against distortions, the approach includes image preprocessing techniques and clustering to narrow the search area. The re-detection system incorporates a matching algorithm that compares the visual features of the lost object with potential candidates in subsequent frames. The effectiveness of the proposed approach is validated through experiments on real aerial image datasets, demonstrating successful object re-detection under varying conditions of background, scale, and lighting.

Keywords: object re-detection; aerial images; unmanned aerial vehicles.

CONTROL OF ELECTRONIC STATES IN THE CYLINDRICAL QUANTUM DOT USING BESSEL LASER BEAM

D. Hayrapetyan¹, D. Primenko¹, T. Sargsian¹

¹*Russian-Armenian University*

david.hayrapetyan@rau.am, tigran.sargsian@rau.am,

dmitry.primenko@rau.am

ABSTRACT

The effect of a first-order Bessel laser beam on the electronic states of a cylindrical quantum dot was studied. Non-resonant laser irradiation influence was described using Kramers-Henneberger transformation with further numerical solution of the Schrödinger equation. It was found that by means of non-resonant Bessel irradiation, it is possible to alter the position of the electron within the quantum dot. In particular, under the influence of ponderomotive forces, the electron moves toward the center of the beam, and when the beam center approaches the walls of the quantum dot, the electron's energy increases.

Keywords: Quantum dots, Bessel laser beams, Kramers-Henneberger transformation, ponderomotive forces.

Introduction

Semiconductor quantum dots (QDs) are nanostructures that exhibit unique quantum mechanical properties due to their discrete energy levels. These properties make QDs highly attractive for a variety of applications, ranging from optoelectronics to quantum computing [1, 2]. One of the most significant applications of QDs is in the development of single-photon sources [3] and

entangled photon sources [4], which are crucial for quantum information processing and secure communication systems. The tunability of their optical properties through size, shape, and material composition makes them versatile components in next-generation technologies.

Excitons, formed by the coupling of electrons and holes within quantum dots, play a pivotal role in the generation of single-photon sources. Excitons, being a bound state of an electron and a hole, can be manipulated to emit single photons, which are essential for quantum cryptography. The control and manipulation of these excitonic complexes within QDs are critical for advancing quantum technologies.

The interaction of semiconductor quantum dots with external laser fields, particularly non-diffractive zero-order Bessel beams, introduces a new dimension in controlling the electronic, exciton, and biexciton states within QDs. Bessel beams, characterized by their non-diffractive nature, can maintain their intensity and shape over long distances, allowing precise control over the quantum states. These laser fields can induce shifts in energy levels, modify transition rates, and even create new pathways for exciton and biexciton recombination [5]. Understanding the influence of such external fields on QDs is crucial for optimizing their performance in practical applications, such as tunable photon sources and quantum logic gates.

Investigated system and methods

In this work, the influence of first-order Bessel laser beam on the electron and exciton states of the cylindrical quantum dot was simulated. The QD considered is the InAs cylinder with $R = 60$ nm and $h = 60$ nm surrounded by GaN matrix.

Assuming the diffraction between materials should take place, we choose the Woods–Saxon potential as a confinement potential of the QD:

$$V(r, h) = V_0 \left(1 - \frac{1}{1 + e^{(r-R)/a}} \cdot \frac{1}{1 + e^{(|z|-0.5h)/a}} \right), \quad (1)$$

where a is the characteristic depth of the interdiffusion between GaN and InAs, V_0 is maximum well depth.

Laser irradiation is modelled as a $\lambda = 405$ nm laser beam focused by an axicon into the first-order Bessel beam of minimum possible width ($\sim \lambda$). Its

amplitude distribution is $E(r) \sim J_1\left(\frac{2\pi}{\lambda}r\right)$ and intensity is $I(r) \sim \left(J_1\left(\frac{2\pi}{\lambda}r\right)\right)^2$. The total power of the ideal Bessel beam is infinite, but axicon produces a close approximation to the Bessel beam in the finite area [6]. We are considering the beam with the radius of this area $r_{Bessel} = 10 \mu m$.

In the generalised Kramers-Henneberger frame the Hamiltonian of the single-particle system in the presence of non-uniform laser field could be written as [7]:

$$\hat{H}_e = \frac{1}{2m}\hat{\mathbf{p}}^2 + V(\mathbf{r} + \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{r}, t)) + \frac{1}{2m}A^2(\mathbf{r}, t)$$

where $\mathbf{A}(\mathbf{r}, t)$ is the vector potential of the laser field, $\boldsymbol{\alpha}(\mathbf{r}, t)$ is the quiver motion of a classical particle in the laser field, $\boldsymbol{\alpha}(\mathbf{r}, t) = \boldsymbol{\alpha}_0 \sin \omega t$ with $\boldsymbol{\alpha}_0 = \frac{qE_{max}}{m\omega^2}$.

In this work, $\alpha_{0e} = 0.2 \text{ nm}$, $\alpha_{0h} = 0.011 \text{ nm}$, which corresponds to the maximum intensity of the laser beam $I_{max} = 4.26 \cdot 10^{14} \text{ J/m}^2$ and the power of the laser about 1600 W (for the chosen r_{Bessel}).

These values of α are small compared to the diameter of the quantum dot, so $V(\mathbf{r} + \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{r}, t))$ have only some minor disturbances near the borders. For all \mathbf{r} , the difference $V(\mathbf{r} + \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{r}, t)) - V(\mathbf{r})$ is small compared to the $\frac{1}{2m}A^2(\mathbf{r}, t)$. Hence, the Hamiltonian could be approximated as

$$\hat{H}_e = \frac{1}{2m}\hat{\mathbf{p}}^2 + V(\mathbf{r}) + \frac{1}{2m}A^2(\mathbf{r}, t) \quad (2)$$

Here, the last two terms represent the effective potential of the quantum dot in the presence of the laser field. In this approach, the influence of the laser is considered as the changing in the potential energy. The Schrödinger equation with Hamiltonian (2) was solved using the finite element method.

Results and discussion

Fig. 1 shows effective potential along x axis for the different positions of the laser beam. As one can see, the minimum of the effective potential corresponds the center of the beam until it reaches the border layer and then remains approximately the same.

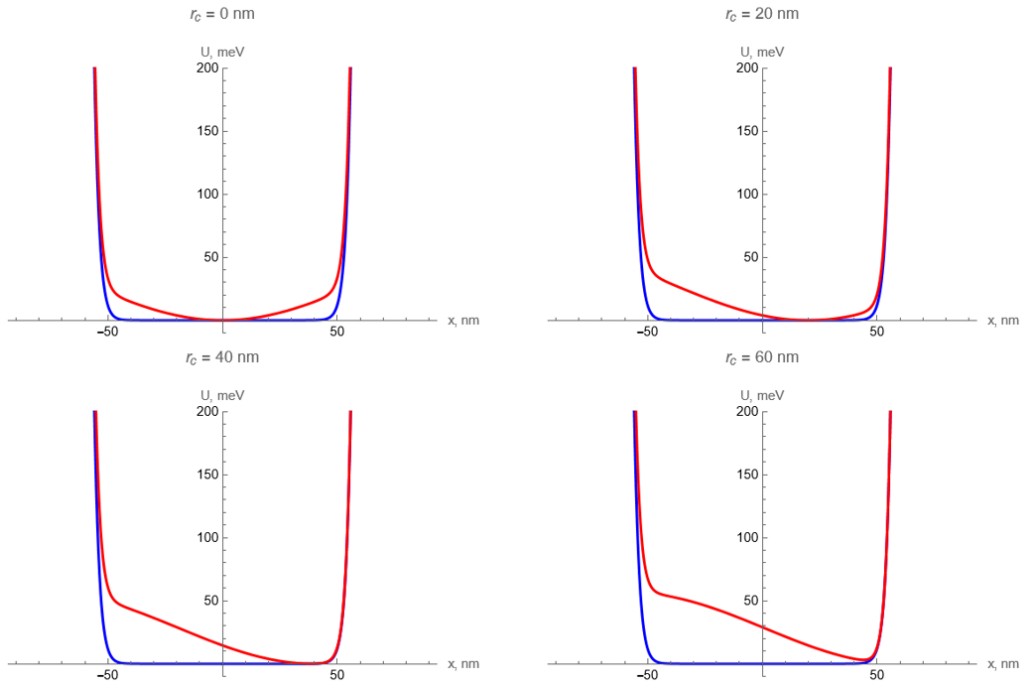
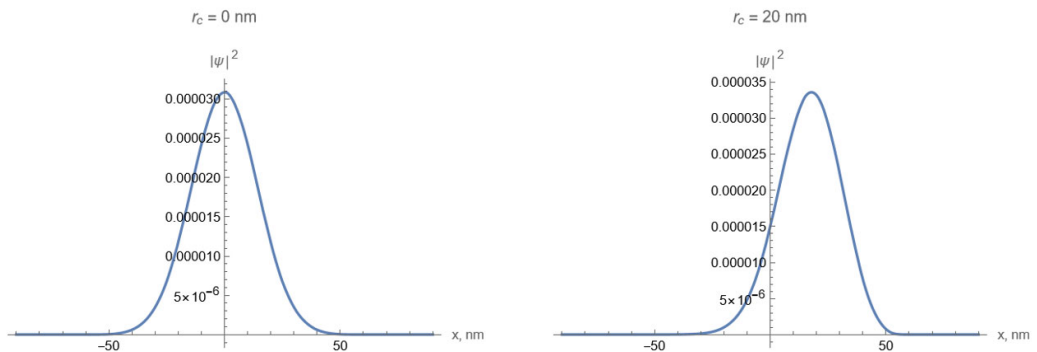


Fig. 1. Effective potential with (red line) and without (blue line) laser field for different positions r_c of the laser beam center.

Probability density functions of the main state for several laser beam positions are shown on the Fig. 2. One can see that the shift of the effective potential minimum causes the shift of the probability density maximum.



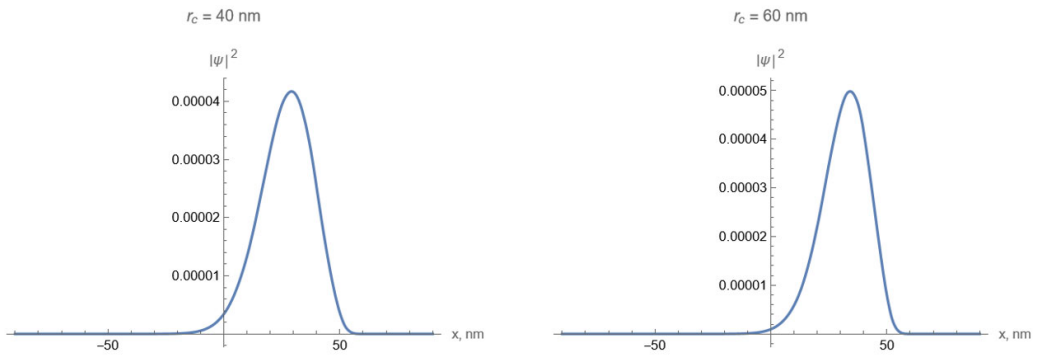


Fig. 2. Probability density along x -axis for different positions x_c of the beam center.

Fig. 3a represents the dependence of the location r_{max} of the probability density function maximum on the beam center position r_{beam} . While r_{beam} is near the center of the QD (where the confinement potential is negligible), the distribution maximum is almost precisely matches the beam center. With the beam moving to the QD borders, the maximum coordinates start do lag behind. The energy of the main state is also increases with the increasing of the r_{beam} (Fig. 3b).

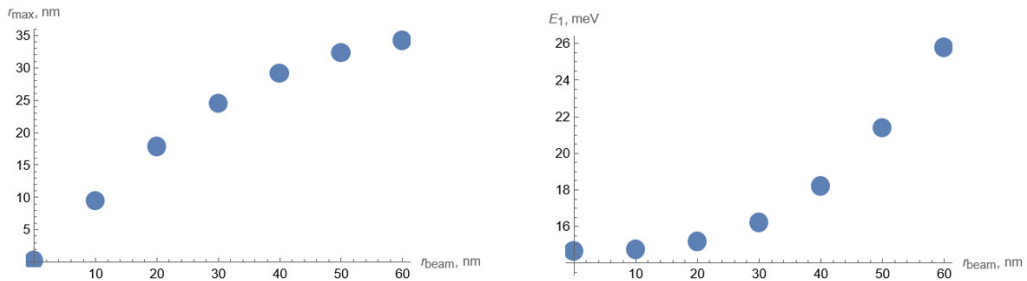


Fig. 3. a) the most likely location and b) the energy of the main state for different positions of the beam.

REFERENCES

1. Castañeda J., Nagamine G., Yassitepe E., Bonato L., Voznyy O., Hoogland S., Nogueira A., Sargent E., Cruz C. and Padilha L. Efficient biexciton interaction in perovskite quantum dots under weak and strong confinement // “ACS nano”. Vol. 10, № 9, 2016. PP. 8603–8609.

2. Goodwin H., Jellicoe T., Davis N. and Böhm M. 2018. Multiple exciton generation in quantum dot-based solar cells // “Nanophotonics”. Vol. 7, № 1. PP. 111–126.
3. Gündoğdu Y., Kılıç H. and Çadırcı M. Third order nonlinear optical properties of cdte/cdse quasi type-ii colloidal quantum dots // “Optical Materials”, № 114, 2021. 110956.
4. Karabulut İ.B.R.A.H.İ.M., Şafak H. and Tomak M. Excitonic effects on the nonlinear optical properties of small quantum dots // “Journal of Physics D: Applied Physics”. Vol. 41, № 15, 2008. 155104.
5. Sargsian T., Mantashyan P. and Hayrapetyan D. Effect of Gaussian and Bessel laser beams on linear and nonlinear optical properties of vertically coupled cylindrical quantum dots // “Nano-Structures & Nano-Objects”, № 33, 2023. P.100936.
6. Khonina S., Kazanskiy N., Karpeev S. Butt M.A. Bessel Beam: Significance and Applications // “A Progressive Review. Micromachines”. Vol. 11, № 11, 2020. P. 997.
7. Leung I., Zhu M., Wang P., Qi Wei. Kramers–Henneberger atoms in flattened Gaussian beams // “New J. Phys.”, № 27, 2025. 023020.
8. Takagihara T. Excitonic optical nonlinearity and exciton dynamics in semiconductor quantum dots // “Phys. Rev.”, B 36, 1987. 9293.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКЕ С ПОМОЩЬЮ БЕССЕЛЕВСКОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА

Д.Б. Айрапетян¹, Д.А. Применко¹, Т.А. Саргсян¹

¹*Российско-Армянский университет*

АННОТАЦИЯ

Изучено воздействие Бесселевского лазерного пучка первого порядка на электронные состояния цилиндрической квантовой точки. Влияние нерезонансного лазерного излучения описано с помощью преобразования Крамерса–Хеннебергера с последующим численным решением уравнения Шрёдингера. Установлено, что с помощью нерезонансного бесселевского излучения возможно влиять на положение электрона внутри квантовой точки, а именно, под действием пондеромоторных сил электрон смещается к центру лазерного пучка. При этом приближение центра пучка к стенкам квантовой точки приводит к росту энергии электрона.

Keywords: квантовые точки, Бесселевские световые пучки, преобразование Крамерса–Хеннебергера, пондеромоторные силы.

УСЛОВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ОДНОРОДНОЙ ОПТИЧЕСКИ УСИЛИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ: АНАЛИЗ С ПОЗИЦИИ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

О.В. Багдасарян^{1,2}, Т.М. Князян^{1,2}, Т.Т. Оганесян¹

¹Национальный политехнический университет Армении

²Российско-Армянский университет

hovik@seua.am

АННОТАЦИЯ

Получены условия лазерной генерации из однородной светоизлучающей среды без конкретизации микропроцессов, ответственных за светоусиление. Анализ на основе классической электродинамики показал, что для лазерного излучения светоусиливающая среда должна быть ограничена по протяженности и любые две, даже слабо отражающие границы, могут способствовать лазерной генерации. Для лазерной генерации протяженность светоусиливающей среды строго связана с коэффициентом усиления в среде. Чем меньше усиление в слое, тем больше должна быть длина усиливающего слоя.

Анализ локализации электромагнитной волны в слое со светоусилением при лазерной генерации показал, что амплитуда электрической компоненты волны колеблется в слое с периодом, равном половине длины волны, и в середине слоя имеет нулевое значение. Вектор Пойнтинга также имеет нулевое значение в середине слоя и растет по направлению к границам слоя.

Ключевые слова: лазерная генерация, светоусиливающий слой, классическая электродинамика, численный анализ.

Введение

Лазеры – это специфические устройства интенсивного оптического излучения, которые были созданы в середине XX века. Они состоят из све-

тоизлучающего вещества, заключенного в резонаторной структуре с двумя строго параллельными отражателями света (резонатор Фабри-Перо) [1, 2]. Основное внимание исследователей было направлено на анализ излучательных свойств различных веществ. Так как излучатели оптического диапазона – это возбужденные атомы, то много внимания было приковано к анализу микропроцессов в веществе [1, 2]. В то же время особенности работы резонатора не получили должного внимания, хотя появилось много работ, где приводятся данные по безрезонаторной генерации лазерного излучения [3–6].

С целью детального исследования роли оптических резонаторов в формировании усиленного оптического излучения из возбужденных сред уместно проводить анализ с позиций классической электродинамики. В этом случае светоусиливающее вещество описывается комплексной диэлектрической проницаемостью. В зависимости от знака ее мнимой части возможно описание поглощения или усиления в веществе [7–9].

Впервые экспериментальные результаты по усилению электромагнитных волн при прохождении света через светоизлучающий газовый разряд были получены под руководством В.А. Фабриканта [10].

В настоящей работе рассмотрена модель лазера, где излучателем света является возбужденный газ с реальной частью диэлектрической проницаемости ≈ 1 (в системе CGS). Усиление описывается мнимой частью диэлектрической проницаемости. В работе рассмотрено нормальное падение линейно-поляризованной плоской электромагнитной волны на однородный светоусиливающий слой толщиной L (Рис.1).

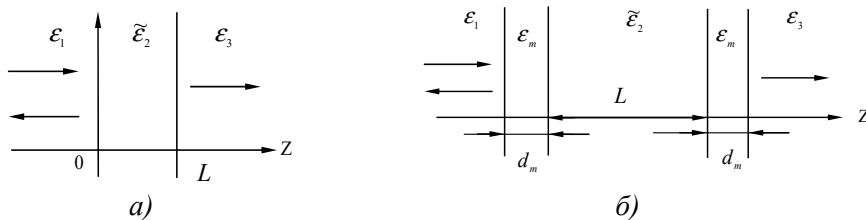


Рисунок 1. Падение слева линейно-поляризованной плоской электромагнитной волны на однородный светоусиливающий слой толщиной L (Рис.1а) и на этот же слой, ограниченный с двух сторон полупрозрачными слоями вещества толщиной d_m (в резонаторе Фабри-Перо) (Рис.1б).

Методы решения

Граничная задача электродинамики падения монохроматической волны частотой $\omega = 2\pi f$ на слой толщиной L (Рис.1а), где временной множитель представлен в комплексном виде $e^{i\omega t}$, имеет решение для коэффициентов отражения и прохождения по интенсивности волны (формулы Эйри-Френеля) [2,11,12], с учетом комплексности диэлектрической проницаемости слоя $\tilde{\varepsilon}_2 = \varepsilon_2' + \varepsilon_2''$ [7–9].

$$R = \left| \frac{\tilde{r}_{12} + \tilde{r}_{23} \cdot e^{-2ik_0\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}L}}{1 + \tilde{r}_{12} \cdot \tilde{r}_{23} \cdot e^{-2ik_0\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}L}} \right|^2, \quad T = \frac{\sqrt{\varepsilon_3}}{\sqrt{\varepsilon_1}} \cdot \left| \frac{\tilde{t}_{12} \cdot \tilde{t}_{23} \cdot e^{-ik_0\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}L}}{1 + \tilde{r}_{12} \cdot \tilde{r}_{23} \cdot e^{-2ik_0\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}L}} \right|^2, \quad (1)$$

где $\tilde{r}_{12} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}}$, $\tilde{t}_{12} = \frac{2\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}}$ и $\tilde{r}_{23} = \frac{\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2} - \sqrt{\varepsilon_3}}{\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2} + \sqrt{\varepsilon_3}}$, $\tilde{t}_{23} = \frac{2\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2}}{\sqrt{\tilde{\varepsilon}_2} + \sqrt{\varepsilon_3}}$ – амплитудные коэффициенты отражения и прохождения волны на границах слоя при $z = 0$ и $z = L$, соответственно, $k_0 = \omega/c = 2\pi/\lambda_0$, λ_0 – длина волны в свободном пространстве.

Ранее влияние протяженности светоусиливающей среды на отражательные и пропускательные характеристики слоя с усилением были проанализированы аналитически [13]. Полученные нами численные результаты с помощью формул (1) подтвердили аналитические выводы [13].

Для решения многогранной (4 границы раздела сред) задачи (Рис.1б), с дополнительной возможностью анализа поведения амплитуды электрической компоненты электромагнитной волны и вектора Пойнтинга в слое с усилением и вне мы использовали нетрадиционный метод единого выражения (МЕВ) [14, 15].

Результаты исследования

Рассмотрим модельный слой (Рис.1а). Расчеты по формулам (1) и по МЕВ проводились для растущих толщин слоя L , и результаты полностью совпали. На Рис. 2 приведены зависимости коэффициентов отражения $R(L)$ и прохождения $T(L)$ от толщины слоя с усилением. Гигантские, резонансные пики при заданном усилении имеют место при одинаковой толщине

слоя $L_{\text{гигант}} = 15,2556 \text{ мкм}$. Гигантские значения отражения $R(L)$ и прохождения $T(L)$ указывают на известное условие лазерной генерации, когда амплитуда падающей на слой волны может быть бесконечно малой [1, 2]. Математически лазерная генерация имеет место при стремлении к нулю знаменателей в (1) [1, 2, 7–9, 13]. Отсюда следует, что возможность лазерной генерации из однородного слоя со светоусилением может быть получена теоретически в рамках классической электродинамики, без анализа микропроцессов в веществе.

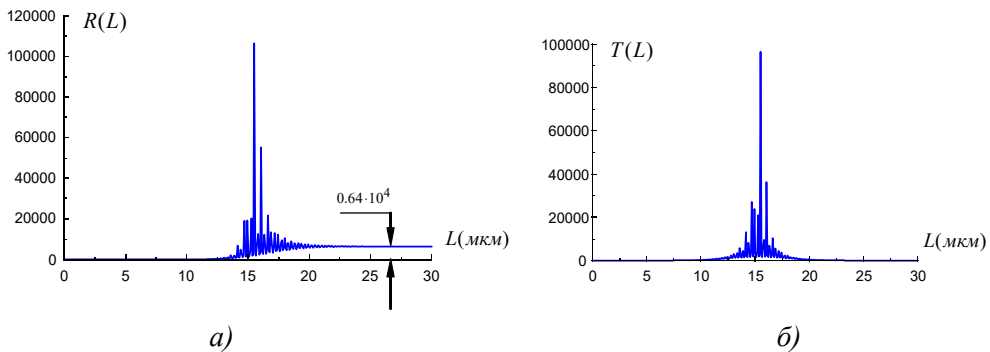


Рисунок 2. Зависимости коэффициентов отражения $R(L)$ (а) и прохождения $T(L)$ (б) по интенсивности от толщины слоя с усилением:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2' = \varepsilon_3 = 1, \quad \varepsilon_2'' = 0,05, \quad \lambda_0 = 0,55 \text{ мкм}.$$

При дальнейшем увеличении толщины светоусиливающего слоя коэффициент прохождения $T(L)$ стремится к нулю (Рис. 2б), а коэффициент отражения $R(L)$ (Рис. 2а) остается большим, что соответствует явлению обратного излучения из протяженного светоусиливающего слоя [4–6, 13, 16, 17].

Наличие гигантского отражения, прохождения, а также обратного излучения из светоусиливающей среды при определенных толщинах указывает на особую локализацию электромагнитной волны в слое с усилением. Анализ с помощью МЭВ показал, что в слое с усилением создаются особые распределения амплитуды волны и вектора Пойнтинга (Рис. 3).

При толщине слоя $L_{\text{гигант}}$, соответствующей лазерной генерации, амплитуда электрической компоненты $\hat{E}(z)$ электромагнитной волны образует симметричную колебательную структуру с нулевым значением в сере-

дине слоя (Рис.3а). Колебания амплитуды образуют целое число полувольт в слое. Вектор Пойнтинга $\vec{P}(z)$ равен нулю в середине слоя и возрастает по направлению к границам слоя (Рис. 3а). Знак вектора Пойнтинга указывает на направление вектора относительно оси z.

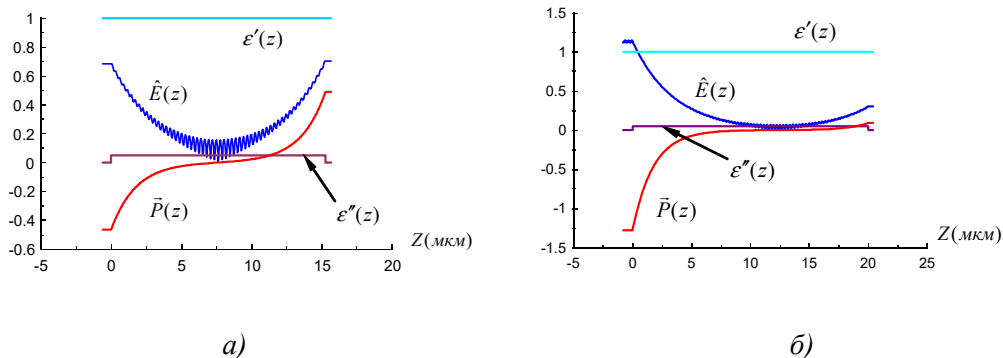


Рисунок 3. Распределения амплитуды электрической компоненты волны $\hat{E}(z)$, вектора Пойнтинга $\vec{P}(z)$, реальной и мнимой частей диэлектрической проницаемости в слое толщиной $L_{\text{зигант}} = 15,2556 \text{ мкм}$ (Рис. 3а) и при $L = 20 \text{ мкм}$ (Рис. 3б). $\epsilon_1 = \epsilon'_2 = \epsilon_3 = 1$, $\epsilon''_2 = 0,05$, $\lambda_0 = 0,55 \text{ мкм}$.

При больших толщинах слоя ($L > L_{\text{зигант}}$) поведение амплитуды волны и вектора Пойнтинга соответствует одностороннему излучению из слоя с усилением, а именно, обратному к падающей волне (Рис. 3б). При этом величина коэффициента отражения равна обратному коэффициенту Френеля [8, 9, 13]:

$$R_{r\text{Fresn}} = \left| \frac{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\tilde{\epsilon}_2}}{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\tilde{\epsilon}_2}} \right|^2 \quad (2)$$

Как следует из (2), отражение может быть намного больше единицы. Чем ближе величины диэлектрических проницаемостей граничащих сред ($\epsilon_1 \approx |\tilde{\epsilon}_2|$), тем выше значение $R_{r\text{Fresn}}$, что наблюдается при зондировании атмосферы [17].

В рассмотренном выше случае границами усиливающего слоя являлись области перехода от слоя с усилением ($\epsilon''_2 > 0$) к окружающей среде без усиления. Как показал анализ на основе классической электродина-

мики, даже такой слабый переход при малом ε_2'' и при равных реальных частях диэлектрических проницаемостей ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2'$) позволяет получить и лазерную генерацию, и обратное излучение из усиливающего слоя.

Рассмотрим влияние более сильных отражателей, ограничивающих с двух сторон светоусиливающий слой (резонатор Фабри-Перо) (Рис. 1б). В этом случае опять при увеличении толщины слоя с усилением при его определенной толщине наблюдается резкое возрастание отражения и прохождения, но при существенно меньших толщинах усиливающего слоя ($L_{\text{сигнал}} = 3,297 \text{ мкм}$) (Рис. 4а).

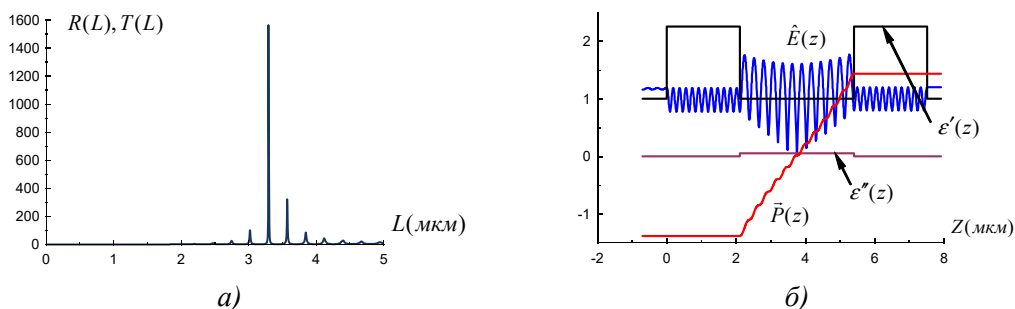


Рисунок 4. Зависимости коэффициентов отражения $R(L)$ и прохождения $T(L)$ по интенсивности от толщины слоя с усилением (Рис. 4а). Распределения амплитуды электрической компоненты волны $\hat{E}(z)$, вектора Пойнтинга $\vec{P}(z)$ и мнимой части диэлектрической проницаемости ε'' в слое толщиной $L_{\text{сигнал}} = 3,297 \text{ мкм}$ (Рис. 4б). $\varepsilon_1 = \varepsilon_2' = \varepsilon_3 = 1$, $\varepsilon_2'' = 0,05$, $\lambda_0 = 0,55 \text{ мкм}$. Полупрозрачными зеркалами являются пластинки стекла: $d_m = 23 \cdot \lambda / 4 = 2,108 \text{ мкм}$, $\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\varepsilon_m}$, $R_m = 0,1479$, $\varepsilon_m = 2,25$.

При наличии резонатора Фабри-Перо длина светоусиливающего слоя, требуемая для лазерной генерации, резко сокращается (Рис. 4а). Распределения амплитуды волны и вектора Пойнтинга на Рис. 4б имеют тот же вид, что и в слое с границами без зеркал (Рис. 3а). В слое стекла толщиной, равной нечетному числу четвертей длин волн, имеют место колебания электрической компоненты с постоянной амплитудой. Вектор Пойнтинга постоянен в стекле и окружающем пространстве.

Заключение

Классическая электродинамика позволяет предсказать лазерную генерацию из однородной, ограниченной светоусиливающей среды. Для лазерной генерации требуется определенная протяженность светоусиливающей среды. Чем меньше светоусиление слоя, тем длиннее должна быть светоусиливающая область.

Роль зеркал для лазерной генерации могут выполнять даже малые неоднородности в виде границы перехода от светоусиливающей области в окружающую пассивную среду. Наличие двух строго параллельных зеркал, ограничивающих светоизлучающую среду (резонатор Фабри-Перо), позволяет существенно уменьшить длину усиливающего слоя для лазерной генерации.

При лазерной генерации в светоусиливающей среде образуются специфические распределения амплитуды электрической компоненты электромагнитной волны и вектора Пойнтинга с нулем в середине усиливающего слоя.

Результаты работы позволяют рассматривать явление лазерной генерации как следствие образования в однородном светоусиливающем слое особой структуры электромагнитной волны, при которой полученная извне энергия преобразуется в интенсивное резонансное излучение света.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по высшему образованию и науке РА в рамках научного проекта 25RG-2J207.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Siegman A.* Lasers. “University Science Books”, 1986.
2. *Yariv A., Yeh P.* Photonics. “Oxford University Press”, 2007.
3. *Casperson W.* Threshold characteristics of mirrorless lasers // “Journal of Applied Physics”. Vol. 48, № 1, 1977. PP. 256–262: <https://doi.org/10.1063/1.323367>
4. *Akulshin A., Bustos F., Budker D.* Continuous-wave mirrorless lasing at 2.21 μm in sodium vapors // “Optics Letters”. V. 43, issue 21, 2018. PP. 5279–5282: <https://doi.org/10.1364/OL.43.005279>
5. *Antypas D., Tretiak O., Budker D., Akulshin A.* Polychromatic, continuous-wave mirrorless lasing from monochromatic pumping of cesium vapor // “Optics

- Letters”. Vol. 44, № 15, 2019. PP. 3657–3660.
<https://doi.org/10.1364/OL.44.003657>
6. *Papoyan A., Shmavonyan Sv. et al.* Evidence for degenerate mirrorless lasing in alkali metal vapor: forward beam magneto-optical experiment // “J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.”. Vol. 2, № 19, 2019. PP. 195003–195013.
<https://doi.org/10.1088/1361-6455/ab38e3>
 7. *Baghdasaryan H., Knyazyan T., Hovhannisyan T., Baghdasaryan T.* Peculiar emitting properties of electromagnetic waves from amplifying medium: numerical analysis // International Conference on Microwave & THz Technologies, Wireless Communications and Opto Electronics (IRPhE 2022), IET 2022. PP. 1–3,
<https://doi.org/10.1049/icp.2022.2781>
 8. *Багдасарян О., Князян Т., Оганесян Т.* Теория беззеркальной лазерной генерации из однородного усиливающего слоя: анализ на основе классической электродинамики // «Семнадцатая Годичная научная конференция РАУ (4–8 декабря 2023г.): Сборник научных статей: Физико-математические и естественные науки», 2024. СС. 57–62.
 9. *Baghdasaryan H., Knyazyan T., Hovhannisyan T., Leitgeb E., Marciniak M., Baghdasaryan T.* Theory of mirrorless lasing and backward emission from an amplifying layer: analysis based on macroscopic electromagnetism // FOAN 2024, Athens, Greece, October 29–30, 2024.
<https://doi.org/10.1109/FOAN63517.2024.10765617>
 10. *Бутаева Ф., Фабрикант В.* О среде с отрицательным коэффициентом поглощения. Исследования по экспериментальной и теоретической физике. М.: Изд-во АН СССР (1959). СС. 62–70.
 11. *Born M., Wolf E.* Principles of Optics. “Cambridge University Press”, 2002.
 12. *Бреховских Л.* Волны в слоистых средах. М.: АН СССР, 1957.
 13. *Karapetyan R.* Reflection of Light from Amplifying Medium // “*Laser Physics*”, 2007. Vol. 17(8). PP. 1053–1057: <https://doi.org/10.1134/S1054660X07080051>
 14. *Baghdasaryan H., Knyazyan T.* Problem of Plane EM Wave Self-action in Multilayer Structure: an Exact Solution, Optical and Quantum Electronics. Vol. 31, № 9/10, 1999. PP. 1059–1072. <https://doi.org/10.1023/A:1007024312874>
 15. *Baghdasaryan H., Knyazyan T., Hovhannisyan T., Baghdasaryan T., Daryan A., Marciniak M.* Electromagnetic energy flow in confined regions of evanescent waves: wavelength-scale analysis by the method of single expression // “Optical and Quantum Electronics”, 2019. 51:286: <https://doi.org/10.1007/s11082-019-2005-7>
 16. *Shmavonyan Sv., Khanbekyan A., Movsisyan M., Papoyan A.* Direct observation of backward degenerate mirrorless lasing in rubidium vapor // “Optics

Communications”. V. 596, 2025. 132550:

<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2025.132550>

17. Air Lasing. Editors.: *Polynkin P., Cheng Ya.* “Springer”, 2018.

CONDITIONS OF LASER RADIATION FROM A HOMOGENEOUS OPTICALLY AMPLIFYING MEDIUM: ANALYSIS FROM THE VIEW OF CLASSICAL ELECTRODYNAMICS

H. Baghdasaryan^{1,2}, T. Knyazyan^{1,2}, T. Hovhannisyan¹

¹*National polytechnic University of Armenia*

²*Russian-Armenian University*

ABSTRACT

The conditions for laser generation from a homogeneous light-emitting medium are obtained without specifying the micro-processes responsible for the light amplification. An analysis based on classical electrodynamics showed that for laser radiation the light-amplifying medium must be limited in extent and any two, even weakly reflective, boundaries can contribute to laser generation. For laser generation, the length of the light-amplifying medium is strictly related to the gain in the medium. The lower amplification in a layer, the longer the length of the amplifying layer should be.

An analysis of the localization of an electromagnetic wave in a layer with light-amplification at laser generation showed that the amplitude of the electric component of the wave oscillates within the layer with a period equal to half wavelength and has a zero value in the middle of the layer. The Poynting vector also has a zero value in the middle of the layer and increases towards the layer boundaries.

Keywords: laser generation, light-amplifying layer, classical electrodynamics, numerical analysis.

ADVANCED RADAR TARGET SIMULATION AND REAL-TIME SIGNAL MODELING USING PYTHON AND SDR

L. Gevorgyan¹, H. Martirosyan^{1,2}

¹Russian-Armenian University

²Yerevan Telecommunication Research Institute

lil.gevorgyan.202@gmail.com , haik.martirosyan@yetri.am

ABSTRACT

Radar target simulation is an essential tool for the development and evaluation of modern radar systems, enabling safe, repeatable, and cost-effective testing under controlled conditions. This work presents a fully programmable and physics-based FMCW radar target simulation framework implemented entirely in Python. The primary objective of the proposed system is the accurate simulation of radar targets with configurable range, velocity, and Doppler characteristics using realistic FMCW radar equations.

The framework supports complete FMCW signal generation and processing, including chirp synthesis, multi-target modeling, beat-signal processing, and range-FFT analysis. Experimental results demonstrate that the proposed approach accurately reproduces FMCW radar behavior and enables real-time target range estimation. Overall, the unified Python-based implementation provides a flexible and transparent platform for radar target simulation, research, and prototyping.

Keywords: FMCW radar, radar target simulation, Python, SDR, signal processing.

1. Introduction

Advances in automation, artificial intelligence, and digital modeling have significantly transformed modern engineering systems. Radar technology is essential in autonomous vehicles, unmanned platforms, air traffic control, and defense applications. However, real-world radar testing is costly, complex, and limited by safety and repeatability constraints. Consequently, radar target

simulation has become a practical and widely used alternative for radar system development and validation.

2. Methods

2.1 Radar Target Simulation

Radar target simulation generates artificial radar echoes that replicate the behavior of real targets using mathematical models. Target parameters such as range, velocity, Doppler shift, radar cross section, and motion are defined in software, enabling controlled, repeatable testing in a virtual radar environment.

2.2 Transition from GNU Radio to Python

Previous implementations using GNU Radio successfully demonstrated radar target simulation with SDR hardware. However, its block-based architecture limits low-level flexibility and direct control over signal models. To address this, a standalone Python framework was developed, allowing explicit implementation of signal generation, processing, and parameter control through code. [1]

2.3 FMCW Radar Modeling

An FMCW radar model was implemented in Python using NumPy, Matplotlib, and Streamlit to provide a flexible and accessible simulation platform. **As shown in Figure 1**, radar parameters, including carrier frequency, bandwidth, chirp duration, sampling frequency, and detection thresholds, are adjustable in real time through an interactive interface.

Simulated targets are defined by their initial range, velocity, and amplitude, with instantaneous updates to the radar model and visualizations. The system supports multiple operating modes, allowing either fully software-based simulation or real-time signal transmission and reception using USRP hardware.

The FMCW radar signal processing chain employed in this work follows established approaches reported in the literature [2].



Figure 1. FMCW radar modeling interface implemented in Python.

3. Results

The following results demonstrate the operation of the developed FMCW radar system.

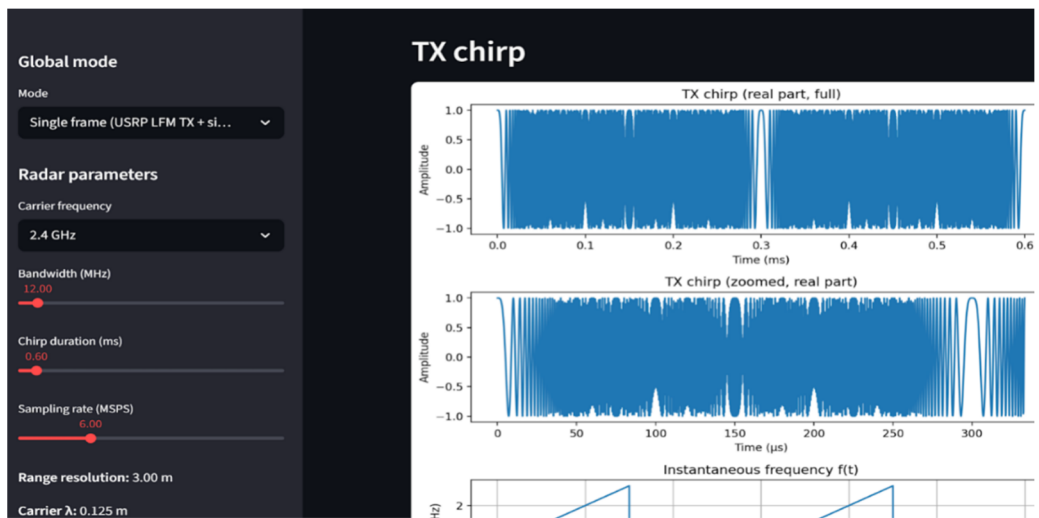


Figure 2. Transmitted FMCW chirp waveform and instantaneous frequency.

The system visualizes the transmitted chirp waveform, a zoomed-in view, and the instantaneous frequency curve, ensuring accurate LFM signal generation.

Figure 2 shows the transmitted FMCW chirp generated by the developed system for the selected radar configuration.

Although these parameters do not correspond to those of high-frequency automotive or millimeter-wave FMCW radars, they were intentionally selected to match the operational constraints of the employed USRP hardware. In particular, the chosen carrier frequency and sampling rate ensure reliable real-time signal generation and transmission within the hardware bandwidth limits, while still preserving the essential characteristics of FMCW radar operation.

Figure 3 shows the signal processing pipeline of the proposed FMCW radar system. After transmitting the chirp and simulating the targets, the received (RX) signal is generated using realistic radar equations that account for propagation delay and Doppler shift.

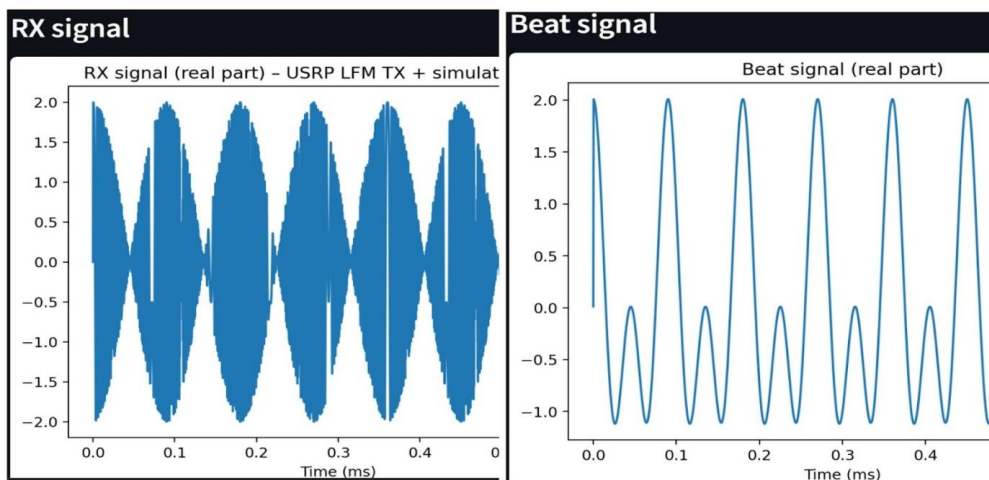


Figure 3. Received and beat signals in the FMCW radar signal processing pipeline.

As defined in the simulation setup, two targets were initially specified at different ranges. After applying the range Fast Fourier Transform (FFT) to the received beat signal, two distinct spectral peaks clearly emerge, each corresponding to one of the simulated targets. These peaks appear at the expected target distances, confirming the correct operation of the FMCW radar signal processing chain.

The system automatically identifies the strongest spectral peak and estimates the corresponding target range. In the presented configuration, the dominant peak corresponds to the closer target, while the second peak represents the weaker target located at a larger distance. The resulting range estimation accuracy demonstrates the effectiveness of the implemented range FFT processing, **as shown in Figure 4.**

Discussion

This work was primarily focused on the simulation of radar targets, and the results demonstrate that accurate and realistic target simulation was successfully achieved. The proposed Python-based framework enables the modeling of multiple targets with configurable range, velocity, and Doppler effects, using physics-based FMCW radar equations.

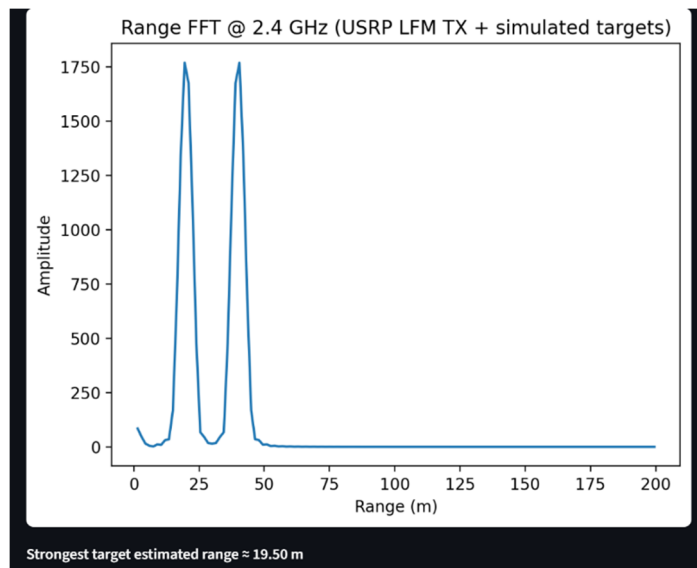


Figure 4. Range FFT spectrum showing detected targets and estimated range.

Beyond target simulation, the system also supports complete FMCW signal generation, beat signal processing, range FFT analysis, and real-time visualization within a single unified environment. These additional capabilities

further enhance the usefulness of the framework for radar research and prototyping.

REFERENCES

1. *Геворгян Л.С., Агаронян А.К., Сиволенко Э.Р.* Симуляция радарных целей в среде GNU Radio // «Материалы международной студенческой научной конференции РАУ», 2025. СС. 88–93: <https://doi.org/10.24412/cl-37383-10.24412/cl-37385-2025-1-88-92>
2. *Patole S., Torlak M., Wang D. and Ali M.* Automotive radars: A review of signal processing techniques // “IEEE Signal Processing Magazine”. Vol. 34, № 2, 2017. PP. 22–35. DOI: 10.1109/MSP.2016.2628914. keywords: {Radar cross-sections; Automotive engineering; Radar detection; Radar signal processing; Estimation; Sensors; Laser radar}.

ПРОДВИНУТАЯ СИМУЛЯЦИЯ ЦЕЛИ РАДАРА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTHON И SDR

Л.С. Геворгян¹, А.Г. Мартиросян^{1,2}

¹*Российско-Армянский университет*

²*Ереванский научно-исследовательский институт связи*

АННОТАЦИЯ

Симуляция цели радара является важным инструментом при разработке и оценке современных радиолокационных систем, обеспечивая безопасные, повторяемые и экономически эффективные испытания в контролируемых условиях. В данной работе представлен полностью программируемый и физически обоснованный фреймворк симуляции цели FMCW радара, реализованный на языке программирования Python. Основной целью предлагаемой системы является точная симуляция целей радара с настраиваемыми параметрами дальности, скорости и доплеровского смещения на основе реалистичных уравнений FMCW радара.

Представленный фреймворк поддерживает полный цикл генерации и обработки FMCW сигналов, включая синтез чирпа, моделирование нескольких целей, обработку биений и анализ методом FFT по дальности. Экспериментальные результаты показывают, что предложенный подход точно воспроизводит поведение FMCW радара и позволяет выполнять оценку дальности цели в реальном времени. В целом, единая реализация на основе Python представляет собой гибкую и прозрачную платформу для симуляции цели радара, исследований и прототипирования.

Ключевые слова: FMCW радар, симуляция цели радара, Python, SDR, обработка сигналов.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РАДИОИЗЛУЧАЮЩЕГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ LABVIEW

*С.Э. Мелконян¹, А.К. Агаронян¹, А.В. Амбарцумян¹, М.Л. Арутюнян¹,
М.Н. Габриелов¹*

*¹Российско-Армянский университет
melkonyansergety613@gmail.com, aharon.aharonyan@rau.am,
harut.hambarcumyan.98@gmail.com, maneharutyunyan04@gmail.com,
mikayelgabrielov9@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается разработка алгоритма определения местоположения радиоизлучающего объекта с использованием среды LabVIEW. Алгоритм основан на применении круговой антенной системы, формирующей дискретное секторное покрытие пространства с фиксированной угловой шириной секторов. Локализация источника излучения осуществляется путем анализа пересечения пространственных областей, соответствующих активным антеннам, без необходимости точной оценки угла прихода сигнала. Реализация алгоритма выполнена в среде LabVIEW с использованием имитационного моделирования, что позволило исследовать корректность работы, устойчивость к шумам и вычислительную эффективность разработанного подхода. Полученные результаты моделирования демонстрируют возможность определения области местонахождения радиоизлучающего объекта в режиме, близком к реальному времени. Практическая аппаратная реализация системы рассматривается как направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: LabVIEW, определение координат, алгоритм локализации, обработка сигналов, триангуляция.

Введение

Определение местоположения радиоизлучающих объектов является важнейшей задачей в современной радиотехнике и телекоммуникациях и

используется в различных системах, включая радиомониторинг, навигацию, безопасность и научные исследования. Классические методы радиопеленгации, основанные на точной оценке угла прихода сигнала, дифференциальных измерениях дальности или анализе уровня мощности, требуют использования сложного оборудования, строгой синхронизации и калибровки, что ограничивает их применение в компактных и портативных системах. В данной статье представлен алгоритм определения местоположения радиоизлучающего объекта, реализованный в LabVIEW и использующий систему круговых секторных антенн. Алгоритм работает следующим образом: каждая антенна в системе последовательно активируется, и на основе обнаружения сигнала определяется наличие или отсутствие объекта в каждом секторе. Затем алгоритм вычисляет пересечение секторов активных антенн, что сужает круг возможных местоположений объекта. Такой подход обеспечивает простоту реализации, устойчивость к помехам и возможность работы в режиме реального времени.

Теоретические основы радиопеленгации и локализации

Радиопеленгация основана на анализе параметров электромагнитного сигнала, принимаемого антенной системой, с целью определения направления на источник излучения или его координат. В зависимости от используемого метода анализу могут подвергаться временные, фазовые, амплитудные и спектральные характеристики сигнала.

В традиционных системах радиопеленгации направление на источник определяется как непрерывная величина, что требует высокой точности измерений и сложных алгоритмов обработки. Альтернативным подходом является дискретная оценка пространственного положения источника, при которой пространство обзора разбивается на конечное число угловых секторов [1].

Секторная модель пространственного обзора

В данной работе используется круговая антенная система, состоящая из восьми направленных лог-периодических антенн, равномерно размещенных по окружности (Рис.1). Каждая антенна формирует сектор про-

пространственного обзора шириной приблизительно 45° , что обеспечивает полное покрытие азимутальной плоскости: каждому сектору соответствует фиксированный угловой интервал, внутри которого источник может находиться с высокой вероятностью при регистрации сигнала данной антенной. В отличие от классической оценки угла прихода, в данном случае определяется область возможного местонахождения источника, а не точечное направление.

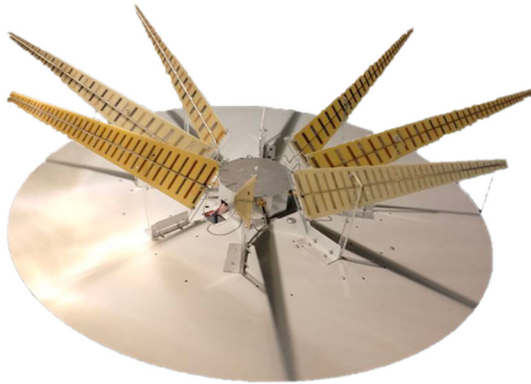


Рисунок 1. Круговая антенная система.

Метод локализации на основе пересечения секторных областей

Локализация радиоизлучающего объекта осуществляется на основе анализа пересечения пространственных секторных областей, формируемых активными антеннами. Для каждой антенны строится область, ограниченная двумя граничными лучами, соответствующими началу и концу ее 45° -градусного сектора.

При одновременной регистрации сигнала двумя или более антеннами считается, что источник находится в области пересечения соответствующих секторных областей. Геометрически эта область представляет собой конечную зону, ограниченную пересечением граничных лучей активных секторов. Пересечение противоположных угловых границ секторов позволяет определить примерное местонахождение объекта в рассматриваемой области пространства.

Формально область локализации может быть описана выражением:

$$A_{loc} = \bigcap_{i=1}^N S_i \quad N \geq 2,$$

где S_i – сектор пространственного обзора i -й активной антенны.

Использование данных с нескольких пространственно разнесенных приемных пунктов позволяет дополнительно пересекать полученные секторные области, что приводит к существенному сужению области локализации и повышению точности определения координат [1].

Источники ошибок

Основными факторами, влияющими на точность локализации, являются ширина секторного покрытия, уровень шумов приемного тракта, многолучевое распространение сигнала и перекрытие диаграмм направленности соседних антенн. Однако благодаря дискретному характеру метода и использованию пересечения областей влияние указанных факторов носит ограниченный характер [3].

Выбор инструментария: среда LabVIEW

Графическая среда программирования LabVIEW является эффективным инструментом для реализации алгоритмов радиопеленгации и обработки сигналов благодаря своей оптимизированной модели выполнения, которая позволяет осуществлять параллельную обработку данных с нескольких антенных каналов. В данной работе LabVIEW используется для реализации алгоритма локализации сектора, обработки и визуализации сигналов, а также взаимодействия с аппаратным обеспечением системы. Сбор и предварительная обработка данных выполняются с помощью встроенного контроллера sbRIO, который обеспечивает детерминированную обработку и стабильный обмен данными. Используемые инструменты цифровой обработки сигналов включают фильтрацию, оценку мощности сигнала и пороговую обработку. Виртуальные приборы LabVIEW обеспечивают наглядное отображение состояния сектора и результатов локализации [2], [4].

Разработка алгоритма определения местоположения

Алгоритм определения местоположения радиоизлучающего объекта реализуется в виде последовательных этапов обработки данных. На первом этапе осуществляется прием сигналов с восьми антенных каналов и их

предварительная цифровая фильтрация для подавления шумов и внеполосных помех.

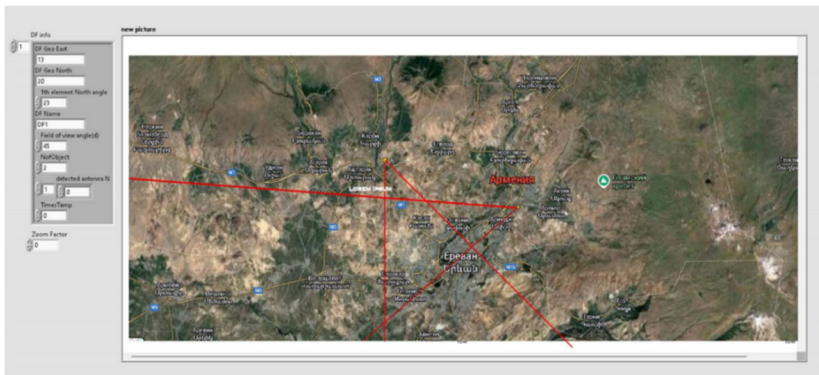


Рисунок 2. Интерфейс LabVIEW и пересечение двух секторов.

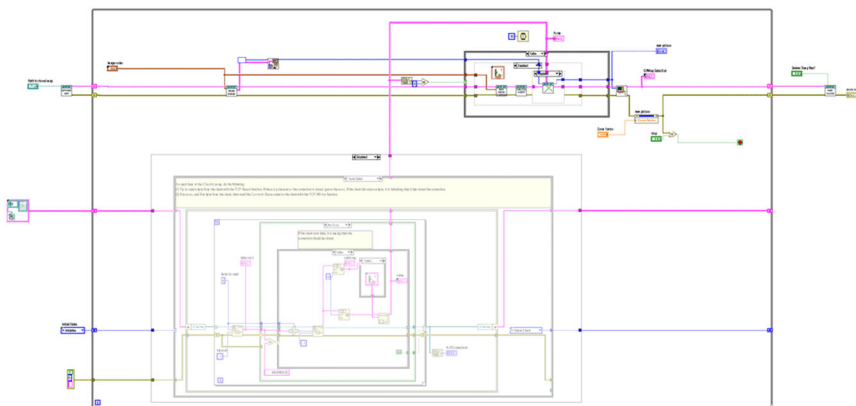


Рисунок 3. Блок диаграмма LabVIEW для алгоритма.

Далее выполняется оценка уровня принимаемого сигнала в каждом секторе на основе средней или максимальной мощности за заданный временной интервал. Антенны, уровень сигнала которых превышает установленный порог, считаются активными. На следующем этапе для активных антенн формируются секторные области с угловыми границами, определяемыми ориентацией антенн и шириной их диаграмм направленности. Пересечение данных областей используется для определения зоны возможного местонахождения радиоизлучающего объекта. При использовании не-

скольких приемных пунктов выполняется дополнительное пересечение секторных областей, что позволяет уточнить пространственную локализацию объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Poisel R.* Electronic Warfare Target Location Methods. Boston: “Artech House”, MA, 2012, 450с.
2. LabVIEW Signal Processing and Digital Signal Processing Toolkit User Manual. Austin, TX: “National Instruments”, 2022, 200p.
3. *Skolnik M.* Introduction to Radar Systems. “McGraw-Hill Book Company”, 2001, 785p.
4. *Collins T. et al.* Software Defined Radio for Engineers. Norwood, MA: “Analog Devices”, 2018, 375p.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DETERMINING THE LOCATION OF A RADIO-EMITTING OBJECT USING THE LABVIEW ENVIRONMENT

*S. Melkonyan¹, A. Aharonyan¹, A. Hambarzumyan¹, M. Harutyunyan¹,
M. Gabrielyan¹*

¹*Russian-Armenian University*

ABSTRACT

This article considers the development of an algorithm for determining the location of a radio-emitting object using the LabVIEW environment. The algorithm is based on the use of a circular antenna system that forms a discrete sector coverage of space with a fixed angular width of the sectors. Localization of the radiation source is carried out by analyzing the intersection of spatial regions corresponding to active antennas, without the need for an accurate estimation of the signal’s angle of arrival. The algorithm is implemented in the LabVIEW environment using simulation modeling, which made it possible to study its correctness, noise robustness, and computational efficiency. The obtained simulation results demonstrate the possibility of determining the area of a radio-emitting object’s location in near real-time mode. Practical hardware implementation of the system is considered as a direction for further research.

Keywords: LabVIEW, coordinate determination, localization algorithm, signal processing, triangulation.

БИОЛОГИЯ И ХИМИЯ

DOI 10.24412/el-37522-2026-95-100

POPULATION-BASED PREDICTION OF RARE GENETIC VARIANTS IN THE ARMENIAN COHORT

*Y. Bareghamyan^{1,2}, N. Kianian¹, A. Stepanyan¹, A. Chavushyan¹,
G. Martirosyan¹, G. Mkrtchyan¹, Z. Khachatryan¹, S. Hakobyan¹,
M. Nikoghosyan^{1,2}, S. Davitavyan^{1,2}, V. Hayrapetyan², G. Lazaryan²,
A. Minasyan¹, L Ghukasyan¹, L. Karapetyan², H. Ghazaryan¹,
A. Melkonyan¹, K. Mayilyan¹, K. Khanoyan¹, M. Hakobyan¹,
R. Zakharyan^{1,2}, A. Arakelyan^{1,2}*

¹*Institute of Molecular Biology NAS RA,*

²*Russian-Armenian University*

bareghamyaneva@gmail.com

ABSTRACT

In this study, we analyzed whole-exome sequencing (WES) data from approximately 190 healthy individuals of Armenian descent to characterize the landscape of rare genetic variants and assess genetic risk for both inherited and complex diseases. We identified a broad spectrum of rare functional variants distributed across multiple chromosomes and disease categories, including neurological, renal, cardiac, and metabolic disorders. In addition, we calculated a population-level polygenic risk score (PRS) for Type 2 diabetes using GWAS Catalog variants, revealing a predominantly moderate genetic risk distribution within the cohort. Our findings highlight the importance of population-specific variant catalogs for understanding inherited disease burden and complex disease risk, and provide a foundational genomic reference for future precision medicine initiatives in Armenia.

Keywords: rare variants; whole-exome sequencing; population genomics; inherited diseases; polygenic risk score.

Introduction

Large international reference databases have substantially improved global variant annotation; however, growing evidence shows that reliance on global datasets alone is insufficient for accurate interpretation of rare variants in underrepresented populations. Population-specific studies have demonstrated that variants classified as rare or even pathogenic can display markedly different allele frequencies across neighboring or ethnically related populations. For example, population-based exome analyses in Middle Eastern and Eurasian populations have shown that a substantial proportion of rare variants are unique to specific populations and may be absent or extremely rare in global reference databases, underscoring the clinical value of national and regional variome resources (Iranome Project; Turkish Population Variome) [1, 2].

These findings highlight an important challenge in clinical genomics: without population-specific allele frequency data, rare variants may be misclassified, leading to incorrect assessments of disease causality or genetic risk. This issue is particularly relevant for inherited disorders, where population-enriched pathogenic variants can substantially contribute to disease burden, as well as for complex diseases, where background allele frequencies influence genetic risk estimation.

The Armenian population represents a genetically distinct group shaped by long-term regional continuity and limited recent admixture. Despite this, comprehensive population-level genomic data for Armenians remains limited. As a result, the distribution and frequency of rare and pathogenic variants associated with inherited diseases, as well as population-level genetic risk for complex disorders, remain incompletely characterized.

Methods

Whole-exome sequencing (WES) was performed on DNA samples from approximately 190 unrelated, healthy individuals of Armenian descent. Genomic DNA was extracted from peripheral blood, and exome libraries were prepared using standard enrichment kits and sequenced on Illumina platforms, generating an average of 25–50 million reads per sample.

Sequencing reads were quality-controlled using FastQC [3] and aligned to

the human reference genome (hg38) using BWA [4]. Variant calling was performed following GATK best-practices [5], including duplicate marking and base quality score recalibration, with variants identified using GATK HaplotypeCaller. Variant annotation was conducted using OpenCRAVAT[6], incorporating functional and clinical annotation resources. Analyses focused on rare, functionally relevant variants, with clinical significance assessed using ClinVar when available.

Allele frequency distributions in the Armenian cohort were compared with gnomAD and the All of Us reference datasets. In addition, a population-level polygenic risk score (PRS) for type 2 diabetes was calculated from GWAS Catalog variants by summing the number of risk alleles per individual and grouping individuals into risk categories based on relative risk.

Results

Allele frequency comparison with global datasets

Comparison with the gnomAD and All of Us datasets revealed differences in allele-frequency distributions, particularly for rare and GWAS-associated variants. These differences underscore the importance of population-specific reference data when interpreting genetic variation and disease risk (Figure 1).

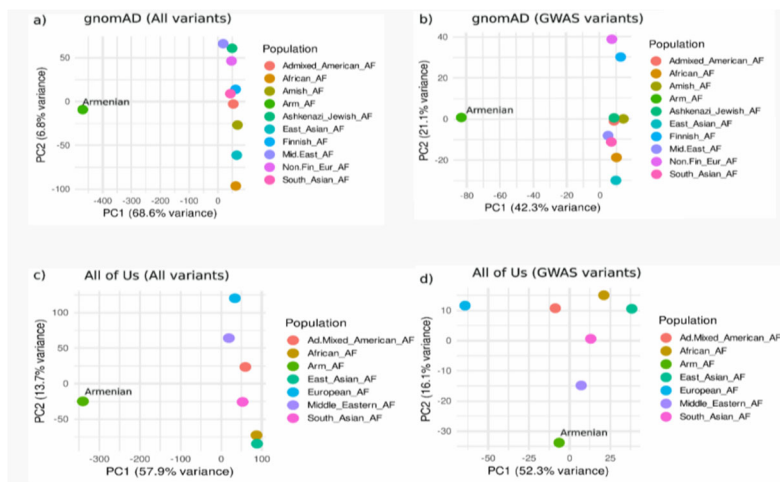


Figure 1. Principal component analysis of allele frequency distributions for all variants and GWAS-associated variants comparing the Armenian cohort with gnomAD and All of Us reference populations.

Disease category–specific distribution of pathogenic variants

Analysis of WES data revealed a diverse landscape of rare genetic variants distributed across the exome. Functional annotation demonstrated a substantial proportion of missense and other potentially deleterious variants, highlighting the contribution of rare functional variation within the Armenian population. OpenCRAVAT visualization showed non-uniform distribution of rare variants across chromosomes and genes, suggesting enrichment in regions harboring genes relevant to inherited disorders (Figure 2.a).

Pathogenic and likely pathogenic variants were observed across multiple disease categories, including neurological disorders, renal diseases, cardiomyopathies, bleeding disorders, and metabolic conditions. Several categories showed higher relative variant burden, emphasizing areas of potential clinical relevance for inherited disease screening in the Armenian population (Figure 2.b).

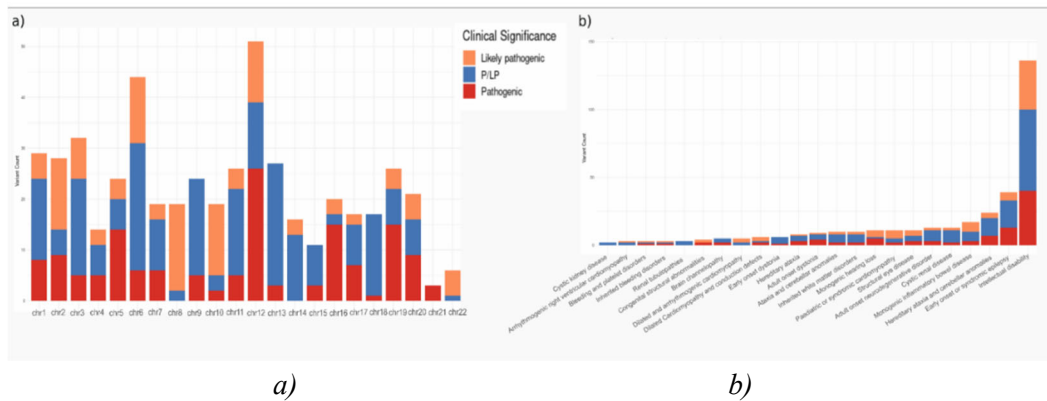


Figure 2. Distribution of rare and pathogenic variants in the Armenian cohort a) across chromosomes and b) across disease categories.

Population polygenic risk score for Type 2 diabetes

Using GWAS Catalog variants, a population-level PRS for Type 2 diabetes was calculated. The total risk allele count per individual ranged from approximately 82 to 120. When grouped into relative risk categories, most

individuals clustered within moderate-risk groups, with fewer individuals at the extremes of genetic risk. This distribution is consistent with the polygenic nature of Type 2 diabetes and provides a baseline genetic risk profile for the Armenian population (Figure 3).

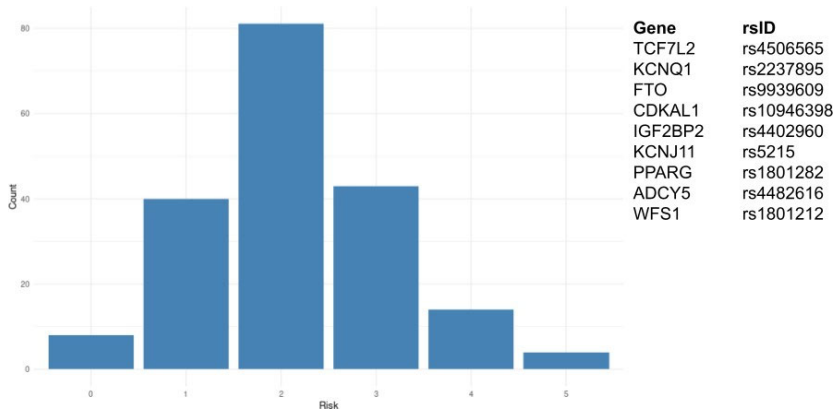


Figure 3. Population distribution of polygenic risk score for Type 2 diabetes in the Armenian cohort

Discussion

Our population-based analysis reveals a rich and diverse landscape of rare genetic variants in the Armenian cohort, many of which are associated with inherited monogenic disorders. In parallel, polygenic risk scoring demonstrates a predominantly moderate genetic predisposition to Type 2 diabetes at the population level. Together, these findings emphasize the importance of population-specific genomic studies and provide a foundational resource for advancing precision medicine and genetic disease research in Armenia.

REFERENCES

1. Fattahi Z. et al. (2019). Iranome: A catalog of genomic variations in the Iranian population. *Human mutation*, 40 (11), PP. 1968–1984.
2. Kars M.E. et al. (2021). The genetic structure of the Turkish population reveals high levels of variation and admixture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (36). e2026076118.
3. Andrews S. (2010). FastQC: a quality control tool for high throughput sequence

data. Available online at:

<http://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc>

4. Li H., Durbin R. (2009). Fast and accurate short read alignment with Burrows–Wheeler transform. *bioinformatics*, 25 (14). PP. 1754–1760.
5. McKenna A. et al. (2010). The Genome Analysis Toolkit: a MapReduce framework for analyzing next- generation DNA sequencing data. *Genome research*, 20 (9). PP. 1297–1303.
6. Pagel KA et al. Integrated Informatics Analysis of Cancer-Related Variants. // “JCO Clinical Cancer Informatics”, № 4, 2020. PP. 310–317.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕДКИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ В АРМЯНСКОЙ КОГОРТЕ НА ОСНОВЕ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ДАННЫХ

*Е. Барегамян^{1,2}, Н. Кяньян¹, А. Степанян¹, А. Чавушян¹, Г. Мартиросян¹,
Г. Мкртчян¹, З. Хачатрян¹, С. Акобян¹, М. Никогосян^{1,2}, С. Давитавян^{1,2},
В. Айрапетян², Г. Лазарян², А. Минасян¹, Л. Гукасян¹, Л. Карапетян²,
О. Газарян¹, А. Мелконян¹, К. Майилян¹, К. Ханоян¹, М. Акобян¹,
Р. Захарян^{1,2}, А. Аракелян^{1,2}*

¹Институт молекулярной биологии НАН РА

²Российско-Армянский университет

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании мы проанализировали данные полногеномного секвенирования экзона (WES), полученные примерно от 190 здоровых лиц армянского происхождения, с целью охарактеризовать спектр редких генетических вариантов и оценить генетический риск как наследственных, так и комплексных заболеваний. Мы выявили широкий набор редких функциональных вариантов, распределённых по различным хромосомам и категориям заболеваний, включая неврологические, почечные, сердечно-сосудистые и метаболические расстройства. Кроме того, мы рассчитали популяционный полигенный показатель риска (PRS) для диабета 2 типа на основе вариантов из каталога GWAS, что показало преимущественно умеренный уровень генетического риска в данной когорте. Наши результаты подчёркивают важность популяционно-специфических каталогов вариантов для понимания бремени наследственных заболеваний и риска развития комплексных болезней, а также служат основой для будущих инициатив в области персонализированной медицины в Армении.

Ключевые слова: редкие варианты, полное экзомное секвенирование, популяционная геномика, наследственные заболевания, полигенный риск-скор.

**ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՏԱՐՐԵՐԻ ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ
ՏԵՍԱԿԱՏԻՊԱՅԻՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
ԻԴԵՆՏԻԿ ՀՈՂԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ**

Լ.Ռ. Վարդանյան, Ռ.Մ. Նավասարդյան, Ս.Ա. Հայրապետյան

*Գործիսի պետական համալսարան
luizavardanyan211@gmail.com, ruzi.navasardian@mail.ru,
syuhayrapetyan@gmail.com*

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Կատարվել է երեք տաքսոնոմիակորեն տարբեր բուսատեսակի՝ սամիթի (*Anethum graveolens* L.), թելուկի (*Atriplex hortensis* L.) և անտառային խորդենու (*Geranium sylvaticum* L.) կողմից քիմիական տարրերի կուտակման համեմատական վերլուծություն նույն հողային միջավայրում: Ուսումնասիրության նպատակն է տարրերի կլանման տեսակային առանձնահատկությունների բացահայտումը և ֆիտովերականգնման համար պերսպեկտիվ տեսակների գնահատումը: 30 քիմիական տարրերի պարունակությունը որոշվել է ICP-OES մեթոդով: Բույսերի կողմից տարրերի կլանման ինտենսիվությունը գնահատվել է կենսաբանական կլանման գործակիցների (ԿԿԳ) միջոցով: Պարզվել է, որ K-ը և S-ը կուտակիչ տարրեր են բոլոր տեսակների համար (ԿԿԳ>1): Սամիթը ցուցաբերում է Mo-ի (ԿԿԳ=5.77), Cd և As մաքսիմալ կուտակում, թելուկը՝ K-ի (ԿԿԳ=9.26) և S-ի, խորդենին՝ Ca և Ba մաքսիմալ կուտակում: Արդյունքները ցույց են տալիս տարրերի կուտակման տեսակային յուրահատկություն և կարող են կիրառվել ֆիտովերականգնման ծրագրերում:

Հիմնաբառեր՝ քիմիական տարրերի կուտակում, կենսաբանական կլանման գործակից, սամիթ, թելուկ, անտառային խորդենի, ICP-OES, ֆիտովերականգնում:

Ներածություն

Հանքային տարրերը կենսական նշանակություն ունեն բույսերի ֆիզիոլոգիական գործընթացներում՝ մասնակցելով ֆոտոսինթեզին, շնչառությանը, նյութափոխանակությանը և աճի կարգավորմանը: Բույսերի կողմից քիմիական տարրերի կլանումը տեսակապես ֆիզիկ է և կախված է բազմաթիվ գործոններից՝ գենետիկական բնութագրերից, ֆիզիոլոգիական վիճակից և հողի ֆիզիկաքիմիական հատկություններից [1, 2]:

Տարրերի կուտակման տեսակային օրինաչափությունների ուսումնասիրությունը հնարավորություն է տալիս բացահայտել հանքային սնուցման մեխանիզմները և գնահատել բույսերի ֆիտովերականգնման ներուժը [3, 4]: Կենսաբանական կլանման գործակիցը ($\text{ԿԿԳ} = C \text{ բույս} / C \text{ հող}$) բնութագրում է տարրերի կլանման ինտենսիվությունը: Պերեկմանի դասակարգման համաձայն [5], $\text{ԿԿԳ} > 1$ ունեցող տարրերը կուտակիչ են, իսկ $\text{ԿԿԳ} < 1$ ունեցողները՝ կլանիչ:

Գրականության տվյալները վկայում են տարրերի կուտակման զգալի տեսակային տարբերությունների մասին [6, 7]: *Apiaceae* ընտանիքի ներկայացուցիչները հայտնի են ծծումբ պարունակող միացությունների կուտակմամբ [8], *Amaranthaceae*-ը՝ կալիումի բարձր պարունակությամբ [9], իսկ *Geraniaceae*-ը՝ կալցիումի ակտիվ կլանմամբ [10]:

Չնայած բույսերի հանքային սնուցման ուսումնասիրությունների զգալի քանակին, նույն հողային պայմաններում տարբեր տաքսոնների կողմից տարրերի կուտակման համեմատական տվյալները սահմանափակ են, մասնավորապես՝ միկրոտարրերի և ուլտրամիկրոտարրերի վերաբերյալ:

Ուսումնասիրության նպատակն է նույն հողում աճող երեք տաքսոնումիակորեն տարբեր բուսատեսակի՝ սամիթի (*Anethum graveolens* L.), թելուկի (*Atriplex hortensis* L.) և անտառային խորդենու (*Geranium sylvaticum* L.) կողմից մակրո- և միկրոտարրերի կուտակման համեմատական ուսումնասիրությունը:

Փորձարարական մաս

Ուսումնասիրության օբյեկտներն էին սամիթը (*Anethum graveolens* L.), թելուկը (*Atriplex hortensis* L.) և անտառային խորդենին (*Geranium sylvaticum* L.), ինչպես նաև դրանց աճման հողը: Այս տեսակների ընտրությունը պայմանավորված է դրանց տարբեր տաքսոնոմիական պատկանելությամբ՝ *Apiaceae*, *Amaranthaceae* և *Geraniaceae* ընտանիքների համապատասխանաբար:

Նմուշները հավաքվել են 2024թ. վեգետացիոն շրջանում Սյունիքի մարզի Գորիս քաղաքի մոտակայքից: Բույսերը հավաքվել են ծաղկման փուլում՝ յուրաքանչյուր տեսակից 10 նմուշ: Հողի նմուշները հավաքվել են 0–20 սմ խորությունից համակարգված նմուշահավաքի մեթոդով՝ հինգ կրկնությամբ:

Բույսերի նմուշները (վերգետնյա մաս) չորացվել են սենյակային ջերմաստիճանում արևից պաշտպանված տեղում, մանրացվել են մինչև մասնիկի չափս ≤ 1 մմ և պահվել են $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում: Հողի նմուշները չորացվել են և նմանապես մանրացվել են: Հանքային կազմը որոշելու համար բուսական նյութի 0.5000 ± 0.0002 գ զանգվածով նմուշը տեղադրվել է տեֆլոնե ավտոկլավում և մշակվել է 5 մլ HNO_3 (65%) և 2 մլ H_2O_2 (30%) խառնուրդով: Հանքայնացումը կատարվել է Mars 6 միկրոալիքային համակարգով (CEM, ԱՄՆ) հետևյալ ռեժիմով՝ տաքացում մինչև 180°C ՝ 15 րոպե, պահպանում 180°C -ում՝ 15 րոպե, սառեցում մինչև սենյակային ջերմաստիճան: Ստացված լուծույթները քանակապես տեղափոխվել են 50 մլ ծավալով սրվակների մեջ և հասցվել են նշագծին ապաիոնացված ջրով: Հողի նմուշների հանքայնացման համար 0.2000 ± 0.0002 գ նյութը մշակվել է HNO_3 , HF և HClO_4 թթուների խառնուրդով, լուծույթը գոլորշիացվել է մինչև չոր մնացորդ և վերլուծվել 2% HNO_3 լուծույթում:

Հետազոտության շրջանակում որոշվել են 30 քիմիական տարրերի (Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb,

Sc, Sn, Sr, Ti, V, W, Y, Zn, Zr) կոնցենտրացիաները՝ արտահայտված մգ/կգ չոր նյութում:

Տարրային վերլուծությունը կատարվել է ինդուկտիվ կապված պլազմայի օպտիկ-էմիսիոն սպեկտրոմետրիայի (ICP-OES) մեթոդով՝ կիրառելով Agilent 5110 սպեկտրոմետր, որն ունի ուղղահայաց այրման համակարգ և երկակի դիտարկման հնարավորություն: Պլազմայի գեներացիան իրականացվել է բարձր մաքրության արգոնով (99,998%):

Բույսերի տարրային կլանման գնահատումը իրականացվել է կենսաբանական կլանման գործակցի (ԿԿԳ) հաշվարկով:

$$\text{ԿԿԳ} = C_{\text{հող}} / C_{\text{բույս}}$$

որտեղ $C_{\text{բույս}}$ ՝ տարրի պարունակությունն է բույսում (մգ/կգ չոր նյութ), իսկ $C_{\text{հող}}$ ՝ տարրի պարունակությունը հողում: Ըստ Ա.Ի. Պերելմանի դասակարգման՝ $\text{ԿԿԳ} > 1$ արժեք ունեցող տարրերը դիտարկվել են որպես կենսաբանական կուտակիչներ, իսկ $\text{ԿԿԳ} < 1$ արժեք ունեցողների դեպքում խոսվում է կենսաբանական զսպման մասին:

Վերլուծությունները կատարվել են եռակի կրկնություններով, արդյունքները ներկայացվել են $M \pm SD$ ձևաչափով:

Արդյունքներ և քննարկում

Հողի տարրական կազմի վերլուծությունը ցույց տվեց, որ հիմնական մակրոտարրերը ներկայացված են հետևյալ նվազման կարգով. $Ca > Fe > Al > Mg > K > P > Mn > Sr > Ba > Zn > Cu > Na > S > Ni > Cr > Pb > Ti > V > Co > La > Mo > Cd > As > Sb > Sn > W > Sc > Y > Zr > Li$: Հողի նմուշներում հատկապես բարձր էր Ca, Fe և Al պարունակությունը, մինչդեռ P և K համեմատաբար ավելի ցածր մակարդակներում էին:

Մակրոտարրերի պարունակության վերլուծությունը բույսերի վերգետնյա մասերում ցույց տվեց տեսակային զգալի տարբերություններ (աղյուսակ 1): Բոլոր բույսերի մոտ կալիումը և ծծումբը հանդես եկան որպես կենսաբանական կուտակիչ տարրեր ($\text{ԿԿԳ} > 1$): Թելուկը

բնութագրվեց կալիումի ամենաբարձր կուտակմամբ ($Y_{\text{ԿԳ}} = 9.26$), իսկ սամիթը՝ ծծմբի ($Y_{\text{ԿԳ}} = 9.70$) և ֆոսֆորի ($Y_{\text{ԿԳ}} = 1.89$) ամենաբարձր պարունակությամբ: Կալցիումը կուտակիչ տարր էր միայն սամիթի համար ($Y_{\text{ԿԳ}} = 2.45$), ինչը հավանաբար կապված է այս բույսի կառուցվածքային և մետաբոլիկ առանձնահատկությունների հետ:

Աղյուսակ 1.

Ուսումնասիրված բույսերի հողում և վերգետնյա մասերում մակրոէլեմենտների պարունակությունը (մգ/կգ չոր նյութ) և դրանց կենսաբանական կլանման գործակիցները ($Y_{\text{ԿԳ}}$)

Տարր	Հող	Սամիթ	Թելուկ	Խորդենի	$Y_{\text{ԿԳ}}$ սամիթ	$Y_{\text{ԿԳ}}$ թելուկ	$Y_{\text{ԿԳ}}$ խորդենի
Ca	36852,6±1842	90420,54±4521	19212,68±960,63	26774,10±1338,7	2,45±0,1	0,52±0,03	0,73±0,04
K	4746,60±237	43194,1±2159	43947,6±2197,3	26887,20±1344,3	9,10±0,4	9,26±0,46	5,66±0,28
Mg	7345,50±367	4795,5±239,8	5908,99±295,45	2661,52±133,08	0,65±0,0	0,80±0,04	0,36±0,02
P	3478,55±174	6578,1±328,1	5030,41±251,52	4906,94±245,35	1,89±0,01	1,45±0,07	1,41±0,07
S	548,7±27,43	5321,3±266,1	3439,98±172,00	3182,66±159,13	9,70±0,5	6,27±0,3	5,80±0,29
Na	735,57±36,7	1183,81±59,	388,90±19,45	299,19±14,96	1,61±0,1	0,53±0,03	0,41±0,02

Միկրոտարրերի պարունակության ուսումնասիրությունը ևս բացահայտեց տեսակային տարբերություններ (Աղյուսակ 2):

Մոլիբդենը կուտակիչ տարր էր սամիթի ($Y_{\text{ԿԳ}} = 5.77$) և խորդենու ($Y_{\text{ԿԳ}} = 1.59$) համար, մինչդեռ թելուկի վերգետնյա մասում այն չէր հայտնաբերվում, ինչը վկայում է տարրի կլանման և տեղափոխման տեսակային առանձնահատկությունների մասին: Երկաթը և ալյումինը բոլոր բույսերի մոտ բնութագրվեցին շատ ցածր $Y_{\text{ԿԳ}}$ արժեքներով (0.008–0.014), ինչը վկայում է մուտքի սահմանափակման արդյունավետ արգելակային մեխանիզմների գոյության մասին:

Ուսումնասիրված բույսերի հողում և վերգետնյա մասում որոշ միկրո- և ուլտրամիկրոտարրերի պարունակությունը (մգ/կգ չոր նյութ) և դրանց կենսաբանական կլանման գործակիցները (ԿԿԳ)

Տարր	Հող, մգ/կգ	Սամիթ, մգ/կգ	Թելուկ, մգ/կգ	Խորդենի, մգ/կգ	ԿԿԳ սամիթ	ԿԿԳ թելուկ	ԿԿԳ խորդենի
Fe	26436,49±1322	369,50±18,48	207,13±10,36	351,12±17,5	0,014±0,001	0,008±0,0004	0,013±0,001
Al	18813,35±941	222,03±11,10	175,55±8,78	210,20±10,5	0,012±0,001	0,009±0,0005	0,011±0,001
Zn	276,30±13,82	55,95±2,80	59,72±2,99	24,52±1,23	0,200±0,010	0,216±0,011	0,089±0,004
Mn	908,03±45,40	73,53±3,68	50,49±2,52	82,22±4,11	0,081±0,004	0,056±0,003	0,091±0,005
Cu	102,54±5,13	20,96±1,05	11,52±0,58	8,41±0,42	0,204±0,010	0,112±0,006	0,082±0,004
Sr	377,83±18,89	86,66±4,33	67,41±3,37	27,45±1,37	0,229±0,011	0,178±0,009	0,073±0,004
Ba	340,24±17,01	19,27±0,96	13,68±0,68	26,84±1,34	0,057±0,003	0,040±0,002	0,079±0,004
Mo	2,59±0,13	14,96±0,75	0*	4,11±0,21	5,773±0,289	0*	1,586±0,079

* - մեթոդի հայտնաբերման սահմանից ցածր:

Ցինկը, պղինձը և ստրոնցիումը միջին ինտենսիվությամբ կլանվող տարրեր էին ($0.1 < \text{ԿԿԳ} < 1$), սակայն դրանց կուտակումը զգալիորեն տարբերվում էր տեսակների միջև: Սամիթը բնութագրվում էր պղնձի և ստրոնցիումի ամենաբարձր ԿԿԳ արժեքներով, թելուկը՝ ցինկի [11], իսկ խորդենին՝ մանգանի:

Տվյալների համակցված վերլուծությունը ցույց տվեց, որ սամիթը առավել արդյունավետ է կուտակում մոլիբդեն, կադմիում և մկնդեղ, թելուկը՝ կալիում, ծծումբ և ցինկ, իսկ խորդենին՝ կալցիում և քարիում:

Այս արդյունքները համահունչ են գրական տվյալներին. օրինակ, *Amaranthaceae* ընտանիքի բույսերը բնութագրվում են կալիում կուտակելու բարձր ունակությամբ [11], իսկ *Apiaceae* ընտանիքի ներկայացուցիչները՝ ծծումբ պարունակող միացությունների ձևավորմամբ [12, 13]:

Սամիթի կողմից կալցիումի բարձր կուտակումը կարող է պայմանավորված լինել բջջապատերի պեկտինային նյութերով հարուստ կառուցվածքով [14] և մետաղների դետոքսիկացիայի մեխանիզմներով [15]: Ֆոսֆորի կուտակման տարբերությունները (սամիթ՝ ԿԿԳ = 1.89, թելուկ՝ 1.45, խորդենի՝ 1.41) հավանաբար կապված են արմատային համակարգի զարգացման աստիճանով, միկորիզային փոխազդեցությամբ և ֆոսֆատ փոխադրիչների գործունեությամբ [16, 17]: Մոլիբդենի կուտակման արտահայտված տեսակային տարբերությունները պայմանավորված են նիտրատ ռեդուկտազի և նիտրոգենազի գործունեության առանձնահատկություններով [18, 19], ինչպես նաև *Amaranthaceae* ընտանիքի տեսակների համար բնորոշ Mo-ի ցածր պարունակությամբ [20]: Երկաթի և ալյումինի ցածր ԿԿԳ արժեքները ենթադրում են, որ բույսերի մոտ գործում են այդ տարրերի մուտքը սահմանափակող արդյունավետ մեխանիզմներ, ինչպիսիք են օրգանական թթուներով կապումը և անլուծելի համալիրների առաջացումը [21, 22]:

Այս ուսումնասիրության արդյունքները նաև ընդգծում են կիրառական նշանակություն: Սամիթի բարձր մոլիբդեն, կադմիում և մկնդեղ կուտակման ունակությունը այն դիտարկում է որպես պոտենցիալ ֆիտոռեմեդիացիոն տեսակ [23]: Թելուկի կալիումի և ծծմբի բարձր պարունակությունը կարևոր է գյուղատնտեսական բիոֆորտիֆիկացիայի տեսանկյունից [24]: Բոլոր ուսումնասիրված տեսակների մոտ երկաթի, ալյումինի և կապարի ցածր կուտակումը վկայում է արդյունավետ դետոքսիկացիոն մեխանիզմների առկայության մասին [25], որոնք հետաքրքրություն են ներկայացնում կենսատեխնոլոգիական կիրառությունների համար:

Եզրակացություն

Այս ուսումնասիրությունը ցույց տվեց, որ նույն հողային պայմաններում աճող սամիթը (*Anethum graveolens*), թելուկը (*Atriplex hortensis*)

և անտառային խորդենին (*Geranium sylvaticum*) զգալիորեն տարբերվում են քիմիական տարրերի կլանման և կուտակման ունակությամբ: Բոլոր ուսումնասիրված տեսակների համար բնորոշ էր կալիումի և ծծմբի բարձր կենսաբանական կլանումը ($\text{ԿԿԳ} > 1$), ինչը հաստատում է դրանց կենսաֆիզիոլոգիական առանցքային դերը բույսերի նյութափոխանակության և աճի գործընթացներում: Ֆոսֆորը կուտակիչ տարր էր սամիթի և խորդենու համար, իսկ կալցիումը՝ միայն սամիթի, որը նաև բնութագրվեց նատրիումի կենսաբանական կուտակմամբ:

Միկրոտարրերի շարքում մոլիբդենը առանձնացավ որպես կուտակիչ տարր սամիթի և խորդենու մոտ, ինչը վկայում է տեսակային յուրահատուկ մեխանիզմների մասին: Սամիթը առավելապես կուտակում էր Mo, Cd և As, թելուկը՝ K, S և Zn, իսկ խորդենին՝ Ca և Ba: Երկաթի և ալյումինի ԿԿԳ-ի շատ ցածր արժեքները ցույց տվեցին, որ բոլոր երեք տեսակների մոտ գործում են դրանց մուտքը սահմանափակող արդյունավետ պաշտպանական մեխանիզմներ:

Ստացված արդյունքները հաստատում են, որ բույսերի տարրային կազմը ձևավորվում է ոչ միայն հողի տեսակով, այլև տաքսոնոմիկ պատկանելությամբ և էկոլոգիական ռազմավարությամբ: Արդյունքները կարող են կիրառական նշանակություն ունենալ՝ սամիթը դիտարկելով որպես մոլիբդենով և ծանր մետաղներով աղտոտված տարածքների պոտենցիալ ֆիտոռեմեդիացիոն տեսակ, թելուկը՝ բիոֆորտիֆիկացիայի համար հարմար օբյեկտ, իսկ խորդենին՝ կալցիումի և բարիումի կուտակման տեսակային մոդել:

Այսպիսով, բույսերի տարրային պրոֆիլի ուսումնասիրությունը հնարավորություն է տալիս ոչ միայն բացահայտել հանքային սնուցման տեսակային առանձնահատկությունները, այլև դրանք օգտագործել գյուղատնտեսության, էկոլոգիայի և ֆիտոռեմեդիացիայի ոլորտներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. М.: «Мир», 1989, 439с.
2. *Marschner H.* Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed. London: “Academic Press”, 2012, 649p.
3. *Прасад М.Н.В.* Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // «Физиология растений». Т. 50, № 5, 2003. СС. 764–780.
4. *Chaney R., Baklanov I.* Phytoremediation and phytomining: Status and promise // “Plant and Soil”, Vol. 435, 2023. PP. 1–35.
5. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: «Астрей-2000», 1999, 762с.
6. *Rascio N., Navari-Izzo F.* Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? // “Plant Science”, Vol. 180, 2021. PP. 169–181.
7. *White P., Broadley M.* Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine // “New Phytologist”, Vol. 225, 2022. PP. 24–39.
8. *Ахмедова Л.М., Воронина В.А.* Роль макроэлементов в минеральном питании растений // «Вестник аграрной науки», № 4, 2023. СС. 45–52.
9. *Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S.* The critical role of potassium in plant stress response // “International Journal of Molecular Sciences”. Vol. 24, 2023. PP. 7173–7195.
10. *Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А.* Физиология растений. М.: «Юрайт», 2025, 893с.
11. *Broadley M., Willey N., Wilkins J., Baker A., Mead A., White P.* Phylogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms // “New Phytologist”. Vol. 152, 2021. PP. 9–27.
12. *Ebrahimi A., Schluesener H.* Natural polyphenols against neurodegenerative disorders: potentials and pitfalls // “Ageing Research Reviews”. Vol. 38, 2022. PP. 115–135.
13. *Алмазова Д.И., Смирнов П.С.* Вторичные метаболиты растений семейства Ариасеae и их биологическая активность // «Растительные ресурсы». Т. 60, № 1, 2024. СС. 23–41.
14. *White P.* Calcium // “Encyclopedia of Applied Plant Sciences”. Vol. 1, 2023. PP. 115–128.

15. *Серегин И.В., Кожевникова А.Д.* Роль тканевых барьеров и клеточных механизмов в транспорте и накоплении тяжелых металлов у растений // «Физиология растений». Т. 69, № 3, 2022. СС. 250–267.
16. *López-Arredondo D., Leyva-González M., González-Morales S., López-Bucio J., Herrera-Estrella L.* Phosphate nutrition: Improving low-phosphate tolerance in crops // “Annual Review of Plant Biology”. Vol. 65, 2022. PP. 95–123.
17. *Lambers H., Chapin F., Pons T.* Plant Physiological Ecology. 3rd ed. New York: “Springer”, 2023, 605p.
18. *Mendel R., Hänsch R.* Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants // “Journal of Experimental Botany”. Vol. 53, 2022. PP. 1689–1698.
19. *Bittner F.* Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron // “Frontiers in Plant Science”. Vol. 5, 2023. PP. 28–36.
20. *Zhao F., McGrath S., Crosland A.* Characterization of metal uptake by plants using the isotope dilution technique // “Environmental Science & Technology”. Vol. 55, 2021. PP. 1695–1703.
21. *Гармаш Е.В., Головки Т.К.* Механизмы адаптации растений к избытку железа // «Физиология растений». Т. 70, № 1, 2023. СС. 3–18.
22. *Ma J., Ryan P., Delhaize E.* Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids // “Trends in Plant Science”. Vol. 6, 2021. PP. 273–278.
23. *Ali H., Khan E., Sajad M.* Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications // “Chemosphere”. Vol. 91, 2023. PP. 869–881.
24. *Якушкина Н.И., Бахтенко Е.Ю.* Физиология растений: учебник для вузов. М.: «Владос», 2022. 464 с.
25. *Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В.* Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2023, 170с.

ВИДОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИДЕНТИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Варданян Л.Р., Навасардян Р.М., С.А. Айрапетян

Государственный университет Гориса

АННОТАЦИЯ

В данной статье проведен сравнительный анализ накопления химических элементов тремя таксономически различными видами растений: укропом (*Anethum graveolens* L.), лебедой садовой (*Atriplex hortensis* L.) и геранью лесной (*Geranium sylvaticum* L.), произрастающими в одинаковых почвенных условиях. Цель исследова-

дования – выявление видоспецифичных особенностей поглощения элементов и оценка перспективных видов для фиторемедиации. Содержание 30 химических элементов определено методом ИСП-ОЭС. Интенсивность поглощения элементов растениями оценивалась через коэффициенты биологического поглощения (КБП). Установлено, что К и S являются накапливающими элементами для всех изученных видов (КБП>1). Укроп демонстрирует максимальное накопление Mo (КБП=5.77), Cd и As, лебеда – К (КБП=9.26) и S, герань – Ca и Ba. Результаты показывают видоспецифичность накопления элементов и могут применяться в программах фиторемедиации.

Ключевые слова: накопление химических элементов, коэффициент биологического поглощения, укроп, лебеда садовая, герань лесная, ИСП-ОЭС, фиторемедиация.

SPECIES-SPECIFIC CHARACTERISTICS OF CHEMICAL ELEMENT ACCUMULATION IN IDENTICAL EDAPHIC CONDITIONS

L. Vardanyan, R. Navasardyan, S. Hayrapetyan

Goris State University

ABSTRACT

A comparative analysis of chemical element accumulation was conducted for three taxonomically distinct plant species: dill (*Anethum graveolens* L.), orach (*Atriplex hortensis* L.), and wild geranium (*Geranium sylvaticum* L.) growing in the same soil environment. The study aimed to identify species-specific patterns of element uptake and evaluate prospective species for phytoremediation applications. The concentrations of 30 chemical elements were determined using ICP-OES methodology. Element uptake intensity by plants was assessed through bioaccumulation factors (BAF). Results revealed that K and S are accumulating elements for all studied species (BAF>1). Dill demonstrated maximum accumulation of Mo (BAF=5.77), Cd and As, orach showed highest K (BAF=9.26) and S accumulation, while wild geranium exhibited maximum Ca and Ba accumulation. The findings demonstrate species-specific element accumulation patterns and can be applied in phytoremediation programs.

Keywords: chemical element accumulation, bioaccumulation factor, dill, orach, wild geranium, ICP-OES, phytoremediation.

FAMILY-BASED DETECTION OF R113G AND Y695C MUTATIONS IN THE *NDUFS1* GENE USING SANGER SEQUENCING

*I. Zhukova*¹, *A. Aramyan*¹, *V. Hayrapetyan*^{1,2}, *L. Karapetyan*¹, *H. Ghazaryan*^{1,2},
S. Atshemyan^{1,2}, *A. Arakelyan*^{1,2}, *R. Zakharyan*^{1,2}

¹*Russian-Armenian University*

²*Institute of Molecular Biology NAS RA*

irina.zhukova@student.rau.am, ani.aramyan0699@gmail.com,
varduhi.hayrapetyan@rau.am, lana.karapetyan@rau.am, h_ghazaryan@mb.sci.am,
s_atshemyan@mb.sci.am, arsen.arakelyan@rau.am, roksana.zakharyan@rau.am

ABSTRACT

In this paper, we reported the inheritance pattern of two missense mutations (R113G and Y695C) in the *NDUFS1* gene, which were previously identified in a pediatric proband. *NDUFS1* is a nuclear gene that encodes a subunit of mitochondrial complex I, mutations in this gene can cause mitochondrial diseases and lead to severe neurological and metabolic disorders in children. Based on previous genetic testing results, the affected child was heterozygous for both missense variants and showed clinical features of a mitochondrial disorder. We analyzed DNA samples from both parents by Sanger sequencing to determine the origin of these mutations in their child. Our results showed that the mother carries the Y695C mutation and the father carries the R113G mutation, both in a heterozygous state. These findings confirm an autosomal recessive inheritance pattern.

Keywords: *NDUFS1*, Sanger sequencing, rs1692265722, rs773465401, mitochondrial complex I deficiency.

Introduction

Mitochondria are double-membrane-bound organelles which are essential for normal cellular metabolism and signaling. Their main function is to generate ATP through the process of oxidative phosphorylation (OXPHOS), also they

include in calcium signaling and apoptosis. Mitochondrial diseases are a wide and heterogeneous range of different disorders which affect mitochondrial functions and structure. Mutations in both nuclear DNA and mitochondrial DNA can lead to disease. Energy-intensive organs and tissues such as brain, heart, eyes, nervous system and skeletal muscles are more susceptible to OXPHOS defects, leading to diversity neurological, ophthalmological and cardiological symptoms. [3]

The OXPHOS system is located in mitochondria and consists of four (I–IV) electron transport chain complexes. These complexes transfer electrons from NADH and FADH₂ and producing the electrochemical gradient of protons which is required for ATP synthesis. Complex I is the largest enzyme; it consists of 45 protein subunits. Also, it is the most frequently affected complex in mitochondrial diseases. [1]

NDUFS1 is a nuclear gene located on human chromosome 2. It encodes a protein of 727 amino acids, which is a part of the core catalytic N-module of Complex I, which is responsible for NADH oxidation and electron transfer to iron-sulfur (Fe–S) clusters. Mutations in the *NDUFS1* gene are associated with mitochondrial Complex I deficiency, Leigh syndrome, and other multisystem diseases [2].

Previous genetic testing using next-generation sequencing (NGS) identified two heterozygous missense variants in the *NDUFS1* gene in a one-year-old proband (Table 1). The pediatric proband presented with irritability, increased blood lactate, scaphocephaly, oculomotor apraxia, hyperreflexia, increased muscle tone. These symptoms are commonly observed in mitochondrial disorders.

In ClinVar the R113G variant is reported as a variant of uncertain significance (VUS), although it has been associated with mitochondrial complex I deficiency, nuclear type 1, and Leigh syndrome. The R113G variant is located in the iron–sulfur (Fe–S) cluster domain due to this substitution may affect electron transport chain in complex I. The Y695C variant is located in the C-terminal region of the protein, and its functional impact has not yet been described in the scientific literature.

Table 1.

Description of *NDUFS1* mutations

Variant name	rs	cDNA change	Protein change	Population frequency (GnomAD exomes)	Clinical significance (ClinVar)
R113G	rs1692265722	c.337A>G	p.Arg113Gly	unknown	VUS
Y695C	rs773465401	c.2084A>G	p.Tyr695Cys	2.28×10^{-5}	VUS

The aim of our study was to determine the origin and inheritance pattern of two missense mutations (R113G and Y695C) in the *NDUFS1* gene in the proband using Sanger sequencing approach.

Materials and methods

Blood samples were collected from both proband parents. Genomic DNA was extracted using commercially available kit (Promega, USA). DNA samples were amplified in PCR reaction followed by purification and final library preparation.

Primer design for PCR was performed using Primal Scheme (<https://primalscheme.com/>). The primer sequences are presented in the Table 2.

Table 2.

Primer sequences

Primer name	Sequence (5' - 3')
NDUFS1_R113E_M13_F	TGTAACACGACGGCCAGTCTCCTAGAAGCTGA GCACACCAA
NDUFS1_R113E_M13_R	CAGGAAACAGCTATGACCTCAATAGTGCCTGC TAATCAAAGC
NDUFS1_Y695C_M13_R	CAGGAAACAGCTATGACCTCTGGATCAAGTAA GGAACAGATTGGA
NDUFS1_Y695C_M13_F	TGTAACACGACGGCCAGTCTCCTGCAGTTATTTG CCACTTTGGA

In more details, PCR final reaction volume was 20 μ L containing 4 μ L FIREPol® Master Mix Ready to Load (Solis BioDyne), supplemented with $MgCl_2$ to a final concentration of 2.5 mM, 1 μ M of each gene-specific primer with universal M13 tails, and genomic DNA (approximately 200-300 ng per reaction). Nuclease-free water was added up to 20 μ L. The amplicon lengths were 519 bp for R113E and 586 bp for Y695C. PCR products were then purified using the SyntEra-DNA magnetic beads to remove residual primers, nucleotides, and enzymes. Purified amplicons were used as templates for PCR with universal M13 primers, the BrilliantDye™ Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. Sanger sequencing was performed on a SeqStudio Genetic Analyzer (Thermo Fisher Scientific). Chromatograms were analyzed using Ugene (v.52.1).

Results and discussion

The Sanger sequencing electropherograms demonstrated that the mother was homozygous for the wild-type allele, while the father was heterozygous, carrying both the wild-type and R113E variant alleles (Figure 1). Based on the results obtained it can be concluded that the proband inherited the R113E variant from the father. Pedigree analysis shows the inheritance of the R113E variant in the proband and his parents (Figure 3A).

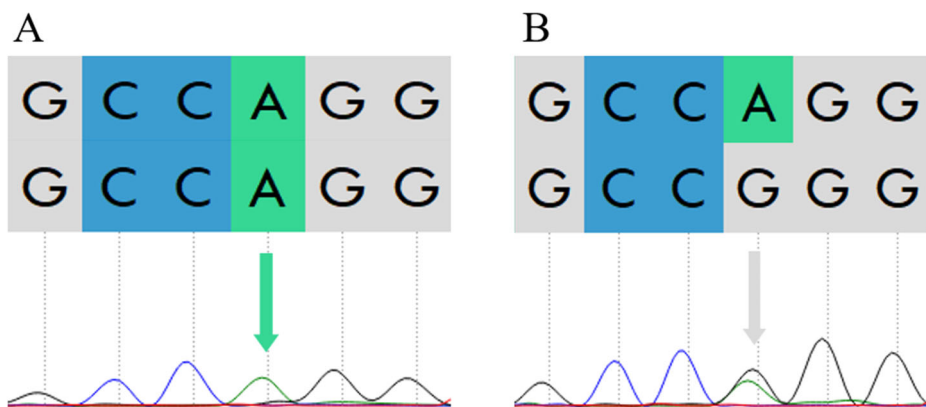


Figure 1. Sanger sequencing chromatograms of the R113E variant in the NDUF51 gene.

(A) Chromatogram of the mother.

(B) Chromatogram of the father.

In contrast, the Y695C variant is present in a heterozygous state in the mother, whereas the father is homozygous wild-type. These genotypes were confirmed by Sanger sequencing (Figure 2), and the pedigree illustrates the inheritance of the variant (Figure 3B).

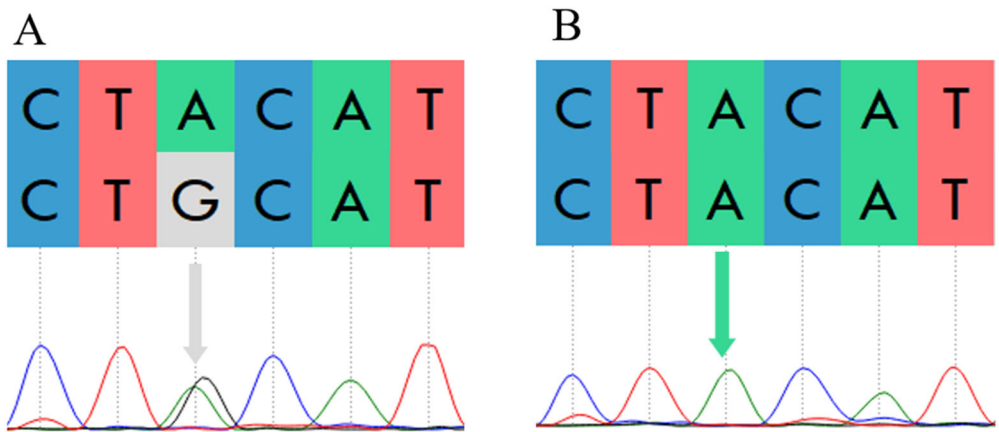


Figure 2. Sanger sequencing chromatograms of the Y695C variant in the NDUFS1 gene.
 (A) Chromatogram of the mother.
 (B) Chromatogram of the father.

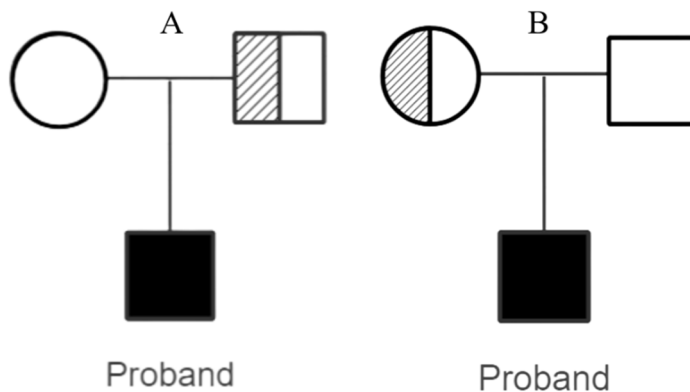


Figure 3. Pedigree chart of the family. Filled symbols indicate affected individuals, half-filled symbols indicate carrier status and unfilled symbols indicate wild-type individuals.

(A) Pedigree showing inheritance of the R113E variant.
 (B) Pedigree showing inheritance of the Y695C variant.

The results indicate that the inheritance pattern in this family corresponds to the classical autosomal recessive model (Figure 3). In our case study, the proband is a compound heterozygote, he inherited two different mutant alleles in the *NDUFS1* gene, R113G from the father and Y695C from the mother. Due to autosomal recessive pattern in this family each pregnancy has a 25% probability of resulting in an affected child, a 50% probability of producing a heterozygous carrier, and a 25% probability of an unaffected child carrying no pathogenic variants.

Based on these findings, the family received genetic counseling to review carrier status and potential risks for future children.

REFERENCES

1. *Fernandez-Vizarra E., Zeviani M.* Mitochondrial disorders of the OXPHOS system // *FEBS Lett.*, 2021. V. 595, №8. PP. 1062–1106. DOI: 10.1002/1873-3468.13995
2. NCBI Gene. *NDUFS1* (Gene ID: 4719) [El. resource]. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/4719>
3. *Wen H., Deng H., Li B.* [et al.] Mitochondrial diseases: from molecular mechanisms to therapeutic advances // *Signal Transduct. Target. Ther.* V. 10, № 1, Art. 9. 2025. DOI: 10.1038/s41392-024-02044-3/

СЕМЕЙНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МУТАЦИЙ R113G И Y695C ГЕНА *NDUFS1* МЕТОДОМ СЕКВЕНИРОВАНИЯ ПО СЭНГЕРУ

*И.В. Жукова¹, А.Г. Арамян¹, В.О. Айрапетян^{1,2}, Л.В. Карпетян¹,
О.К. Казарян^{1,2}, С.А. Аджемян^{1,2}, А.А. Аракелян^{1,2}, Р.В. Захарян^{1,2}*

¹*Российско-Армянский университет*

²*Институт молекулярной биологии НАН РА*

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании мы описали тип наследования двух миссенс-мутаций (R113G and Y695C) в гене *NDUFS1*, которые были ранее выявлены у ребенка-пробанда. *NDUFS1* это ядерный ген, который кодирует субъединицу митохондриального комплекса I, мутации в данном гене могут при-

вести к митохондриальным заболеваниям и серьезным неврологическим и метаболическим нарушениям у детей. На основании предыдущих результатов генетического тестирования ребенок был гетерозиготным по обеим миссенс-мутациям и имел клинические симптомы митохондриального заболевания. Для определения происхождения этих мутаций мы проанализировали образцы ДНК от обоих родителей с помощью секвенирования по Сэнгеру. Результаты показали, что мать является носителем мутации Y695C в гетерозиготном состоянии, а отец является носителем мутации R113G так же в гетерозиготном состоянии. Эти данные подтверждают аутосомный рецессивный тип наследования.

Ключевые слова: NDUFS1, секвенирование по Сэнгеру, rs1692265722, rs773465401, дефицит митохондриального комплекса I.

НЕЙРОПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ АРТЕМИЗИНИНА И ДИГИДРОАРТЕМИЗИНИНА НА ЖИВОТНОЙ МОДЕЛИ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

А.А. Манукян¹, Е.Р. Амбарцумян¹, С.Г. Тирацумян²

Российско-Армянский университет

¹Институт Биомедицины и Фармации

¹Кафедра Медицинской биохимии и биотехнологии

*²Кафедра Биоинженерии, биоинформатики и молекулярной биологии
anahitmanukyan652@gmail.com, yelena.hambarcumyan@rau.am,
susanna.tiratsuyan@rau.am*

АННОТАЦИЯ

В настоящее время особое внимание уделяется перепрофилированию лекарств. Противомаларийные препараты, в том числе артемизинины, обладают терапевтическим потенциалом, выходящим за рамки лечения малярии, в частности, мощным противоопухолевым, антидиабетическим, анти-инфламаторным, антиатерогенным, антибактериальным, антиинфекционным, анти-аутоиммунным, иммуномодулирующим и т.д. Артемизинин, а также дигидроартемизинин рассматриваются в качестве потенциальных нейропротекторов. Болезнь Альцгеймера – наиболее распространенное нейродегенеративное заболевание, характеризующееся накоплением бляшек бета-амилоида и нейрофибриллярных клубков агрегированного гиперфосфорилированного тау-белка. Этому способствует также изменение уровня моноаминных нейротрансмиттеров, вызванное моноаминоксидазой (МАО Б). А таргетное воздействие на МАО-Б представляет собой потенциальную терапевтическую стратегию для модуляции метаболизма и моноаминергической сигнализации.

Целью настоящего исследования является оценка нейропротекторной активности артемизинина и дигидроартемизинина изучением их *in silico* сродства к ферменту МАО-Б, и посредством электрофизиологического анализа. Исследования *in silico* выявили прямое взаимодействие артемизинина и дигидроартемизинина с МАО-Б.

Электрофизиологический анализ продемонстрировал, что они действуют как нейропротекторы.

Ключевые слова: болезнь Альцгеймера, артемизинины, Аβ-пептид, когнитивное нарушение, MAO-B.

Введение

В настоящее время особое внимание уделяется перепрофилированию лекарств, поскольку известные профили безопасности и фармакокинетики перепрофилированных лекарств указывают на то, что они с большей вероятностью будут применяться своевременно по сравнению с новыми лекарствами [1, 2]. Многофункциональные природные соединения и добавки демонстрируют феномен гормезиса, механизмы которого могут предотвращать или смягчать нейродегенеративный патогенез [3–6]. Они обладают нейропротекторными, антиоксидантными, противовоспалительными, иммуностимулирующими и антипатогенными свойствами, а способность проникать через гемато-энцефалический барьер делает их перспективными кандидатами для лечения/профилактики болезни Альцгеймера. Одним из таких нейрогормонов фитохимического происхождения является артемизинин (АРТ) и его производные, такие как дигидроартемизинин (ДГА). Противомаларийные препараты, такие как хлорохин, хинины и артемизинины, имеют долгую историю клинического применения. Накапливается все больше данных, указывающих на их терапевтический потенциал, выходящий за рамки лечения малярии [7, 8].

Занимая первое место после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, болезнь Альцгеймера (БА) является наиболее распространенным нейродегенеративным заболеванием у пожилых людей. Оно характеризуется накоплением бляшек бета-амилоида (Аβ) и нейрофибриллярных клубков агрегированного гиперфосфорилированного тау-белка, который в норме способствует стабилизации микротрубочек в нейронах. С БА связано изменение уровня моноаминных нейротрансмиттеров в мозге, вызванное моноаминоксидазой (MAO), что индуцирует отложение Аβ и нейрофибриллярных клубков и когнитивным нарушением вследствие гибели нейронов. Синтез ГАМК в астроцитах отличается от синтеза ГАМК в нейронах, где

единственным источником является глутамат, а в астроцитах – путресцин. Чрезмерный синтез ГАМК с помощью MAO-B приводит к образованию перекиси водорода, вызывая окислительный стресс и нейродегенерацию. Эти механизмы подчеркивают центральную роль MAO-B в нейродегенерации при БА, а таргетное воздействие на него представляет собой потенциальную терапевтическую стратегию при нейродегенеративных заболеваниях.

Целью настоящего исследования является изучение *in silico* средства АРТ, ДГА к MAO-B и *in vivo* анализ электрофизиологии для выявления изменений памяти мозга, вызванных активацией энторинальной коры, проявляющейся в виде синаптической потенциации, в условиях пре протекции АРТ и ДГА, а также- антибактериальной активности АРТ и ДГА.

Материал и методы

Были проведены 3 серии экспериментов на белых крысах-самцах породы Альбино, массой 135–280г.: интактных, на модели БА, индуцированной введением Аβ1-42 в гиппокамп; на крысах, которым до создания БА вводили АРТ и ДГА- (7 уколов в течение 14 дней через день, группа профилактики). Методом электрофизиологии изучали активность нейронов гиппокампа с высокочастотной стимуляцией (ВЧС) энторинальной коры мозга (ЭК) [8]. Построены суммированные и усредненные гистограммы перистимулов (PETH Average) и частотные гистограммы (Frequency Average). Для расчета антибактериального действия использовали специально разработанную программу “Image Repair” [8].

Структура комплекса MAO-B с ингибитором сафинамидом (PDB: 2V5Z) с разрешением 1.6 Å получена из Protein Data Bank. Протокол докинга был проверен путем редокинга кристаллографического лиганда. Химические структуры селегилина (SEL) [CID: 26757], АРТ [CID: 68827] и ДГА [CID: 107770] получены из базы данных PubChem. FAD сохранен в структуре MAO-B для имитации натуральных условий. Молекулярный докинг был выполнен с использованием AutoDock Tools и AutoDock Vina. Анализ водородных связей и гидрофобных взаимодействий проводился с помощью Ligplot+[4]. Соединения были оценены с помощью PreADMET и показали приемлемые фармакокинетические свойства [8].

Результаты

Терапевтический потенциал ингибиторов MAO-B в сочетании с полным пониманием физиологии этого фермента может привести к дальнейшему развитию этих препаратов [9]. На Рис. 1 представлены результаты докинга ART и ДГА с MAO-B. В качестве референса использовали необратимый селективный ингибитор MAO-B - селегилин, изначально разработанный как антидепрессант. Недостаточная селективность может вызывать нежелательные токсические эффекты, такие как «Сырная реакция или тираминовый криз» – серьезное побочное явление, которое может возникнуть при одновременном приеме неселективных ингибиторов MAO с определенными продуктами питания и лекарствами. Поэтому улучшение оперативного выявления нецелевых взаимодействий крайне важно до начала клинических испытаний [10, 11].

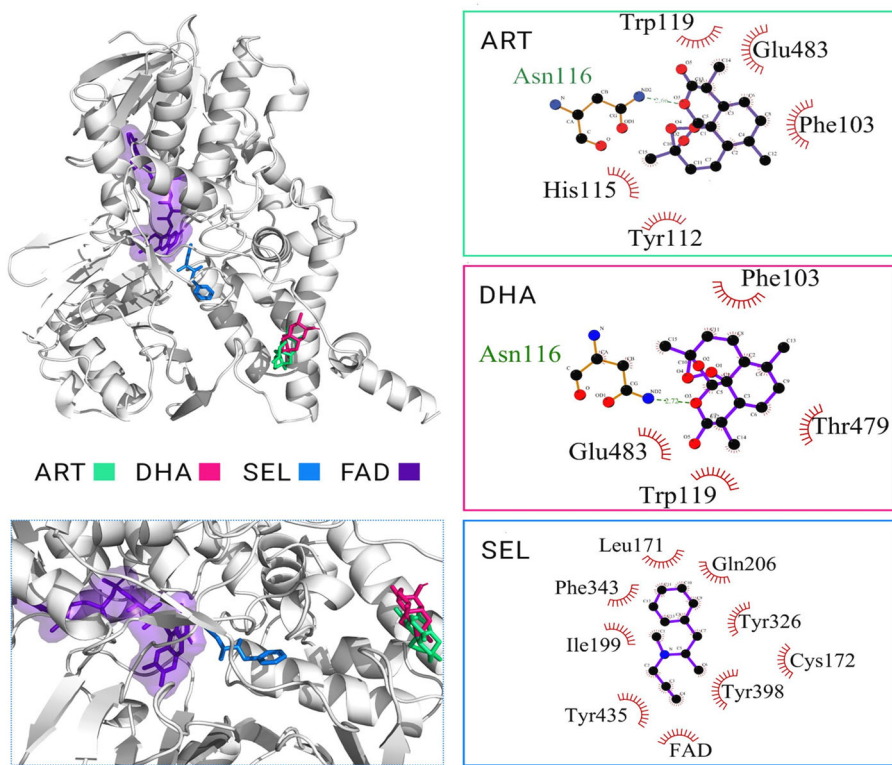


Рисунок 1. Докинг ART, DHA, SEL с MAO-B (слева) и анализ ключевых взаимодействий (справа).

Селегилин гидрофобно взаимодействует с Leu171, Gln206, Tyr326, Cys172, Tyr398, Tyr435, Ile199, Phe343, FAD MAO-B, АРТ гидрофобно взаимодействует с Trp119, Glu483, Phe103, His115, Tyr112 и образует водородную связь с Asn116, а ДГА гидрофобно взаимодействует с Trp119, Glu483, Phe103, Thr479 и образует водородную связь с Asn116. Trp 119 расположен в субстратном домене MAO-B, который имеет решающее значение для взаимодействия субстрата и ингибитора [11]. В MAO-B петля, охватывающая аминокислотные остатки 99-112, играет роль в открытии и закрытии полости активного центра, потенциально влияя на связывание субстрата. Взаимодействие этой петли с мембраной предполагает механизм контроля доступа субстратов к активному центру [12, 13]. Phe103 – это «регуляторный остаток» MAO-B, влияющий на связывание субстратов и ингибиторов, которые либо позволяют субстрату получить доступ к активному центру, либо ограничат его, потенциально влияя на способность фермента расщеплять дофамин и другие нейромедиаторы.

На модели БА в нейронах гиппокампа в сравнении с нормой тетаническая депрессия оказалась резко сниженной в депрессорных эффектах, а частота потенциалов действия сильно повысилась. Анализ пре/постстимульной частот, предшествующих и сопровождаемых депрессорными и возбуждательными постстимульными эффектами в патологии, выявил чрезмерно повышенную частоту импульсной активности, что дает возможность говорить о выраженной нейродегенерации. При профилактическом введении ДНА депрессорные реакции в обеих последовательностях повысились, а возбуждательные – снизились с тенденцией приближения к норме. Отмечается очевидный и значительный спад эксайтотоксичности, который предшествует и депрессорным и возбуждательным постстимульным эффектам, что свидетельствует о мощном нейропротекторном эффекте. АРТ также оказывал сильное нейропротекторное воздействие (данные не приводятся), но менее выраженное по сравнению с ДГА (Рис. 2).

Проведено микробиологическое исследование ДГА и АРТ в различных дозах на бактерии *S. aureus* и *E. Coli*. Оба оказывали очень слабое подавляющее действие на рост *S. aureus* и не влияли на рост *E. Coli* (Табл. 1).

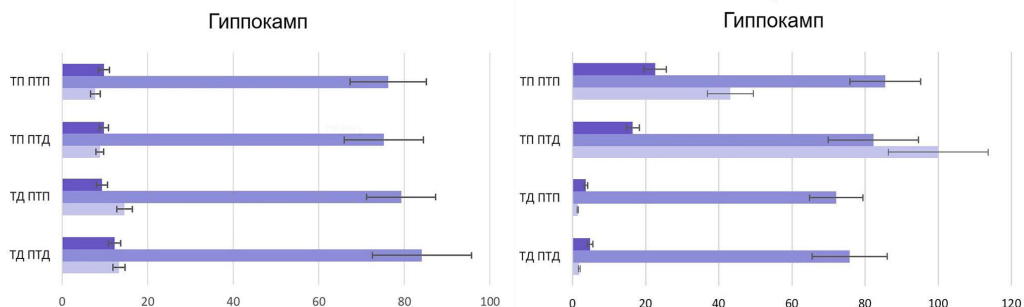


Рисунок 2. Степень выраженности частот престимульной (слева) и постстимульной (справа) активности депрессорных – ТД ПТД, депрессорно-возбудительных – ТД ПТП, возбудительных – ТП ПТП и возбудительно-депрессорных – ТП ПТД эффектов в одиночных нейронах гиппокампа при ВЧС(100 Гц/сек) ЭК, предшествуемых и сопровождаемых указанными проявлениями постстимульной активации в норме, на амилоидной модели БА, при профилактическом введении ДГА.

Таблица 1.

**Действие АРТ и ДГА на рост бактерий *S.aureus*
(Зона лизиса в pixel 2). (p<0.05)**

Концентрация	Артемизинин	Дигидроартемизинин
1мг/мл	6559±87	9471±105
0.5мг/мл	6866±109	7116±103
0.25мг/мл	6908±121	8017±134
0.125 мг/мл	5240±76	6354±149
0,03125 мг/мл	3391±98	4893±49

Действие ДГА в тех же концентрациях несколько превышает таковое у АРТ. Полученные результаты в целом согласуются с литературными данными [15]. При этом было показано, что оба препарата ингибировали образование биопленок, подавляя систему кворум сенсинга у *E. Coli*, *S.aureus* и выживаемость клеток [15].

Таким образом, результаты исследования *in silico* показали, что ДГА и АРТ взаимодействуют с критическими аминокислотами активного центра MAO-B, потенциально влияя на связывание субстрата. Электрофизиологический анализ показал, что АРТ и ДГА действуют как нейропротекторы, предотвращая или замедляя повреждение мозговой ткани, и способствуют восстановлению нейронов и окружающей их среды. АРТ и ДГА имеют большой потенциал для разработки новых лекарственных средств с использованием комбинированной терапии [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nossier E., Anwar M. & El-Zahabi M.* Recent advances in drug repositioning and rediscovery for different therapeutic activities utilizing updated technological approaches // “Mol Divers”, 2025.
2. *Recino A., Rayner M.D., Rohn J. et al.* Therapeutic innovation in drug repurposing: Challenges and opportunities // “Drug Discovery Today”. Vol. 30, 2025.
3. *Sahebnasagh A., Eghbali S., Saghafi F. et al.* Neurohormetic phytochemicals in the pathogenesis of neurodegenerative diseases // “Immun Ageing”, № 19, 2022.
4. *Tiratsuyan S., Hambarzumyan Y.* In Silico Profiling of Natural Bioactive Multitarget Compounds: Implications for Modulation of Inhibitory Neurotransmission In: Sontea V., Tiginyanu I., Railean S. // 7th ICNBME, 2025. IFMBE Proceedings. Vol 134, 2025.
5. *Mark P., Leak R.* The hormesis principle of neuroplasticity and neuroprotection // “Cell Metabolism”. Vol. 36, № 2, 2024. PP. 315–337.
6. *Salinaro T., Pennisi M., Di Paola R. et al.* Neuroinflammation and neurohormesis in the pathogenesis of Alzheimer’s disease and Alzheimer-linked pathologies: Modulation by nutritional mushrooms // “Immun. Ageing”, 2018.
7. *Huang Y., Yang Y., Liu G. et al.* New clinical application prospects of artemisinin and its derivatives: a scoping review // “Infect Dis Poverty”, № 12 (115), 2023.
8. *Tiratsuyan S., Hambarzumyan Y. et al.* Neuroprotective Effect of Artemisinin in an Animal Model of Alzheimer’s Disease // “PubMed”. V. 32, 2025.
9. *Behl T., Kaur D., Sehgal A. et al.* Role of Monoamine Oxidase Activity in Alzheimer's Disease: An Insight into the Therapeutic Potential of Inhibitors // “Molecules”, 2021.
10. *Finberg J-P., Gillman K.* Selective inhibitors of monoamine oxidase type B and the “cheese effect” // “Int Rev Neurobiol”, 2011.

11. *Pacureanu L., Bora A., Crisan L.* New Insights on the Activity and Selectivity of MAO-B Inhibitors through In Silico Methods // “PubMed Central”, 2023.
12. *Binda C., Hubálek F. et al.*, Crystal structure of human monoamine oxidase B, a drug target enzyme monotonically inserted into the mitochondrial outer membrane // “FEBS Lett.”, 2004.
13. *Dasgupta S., Mukherjee S., Sekar K., Mukhopadhyay B.* The conformational dynamics of wing gates Ile199 and Phe103 on the binding of dopamine and benzylamine substrates in human monoamine Oxidase B. // “J Biomol Struct Dyn.”, 2021. PP. 1879–1886.
14. *Posadino A. et al.* Medicinal and mechanistic overview of artemisinin in the treatment of human diseases // “Biomedicine & Pharmacotherapy”. Vol. 163, 2023.
15. *Ginosyan S., Chilingaryan G., Grabski H. et al.* Mode of Artemisinins’ Action on Oxidative Stress, Genomic and G-Quadruplex DNA. In: Tiginyanu I., Sontea V., Railean S. (eds) 4th ICNBME, 2019.
16. *Huang Q., Xu W-J, Wang X. et al.* SARS-CoV-2 and Plasmodium falciparum Co-Infection in a Returning Traveler // “PubMed”, 2022.

**NEUROPROTECTIVE EFFECT OF ARTEMISININ
AND DIHYDROARTEMISININ IN AN ANIMAL MODEL
OF ALZHEIMER'S DISEASE**

A. Manukyan¹, Y. Hambardzumyan¹, S. Tiratsuyan²

Russian-Armenian University

Institute of Biomedicine and Pharmacy

¹*Department of Medical Biochemistry and Biotechnology*

²*Department of Bioengineering, Bioinformatics and Molecular Biology*

State Educational Institution of Higher Professional Education

ABSTRACT

Currently, special attention is paid to the re-profiling of drugs. Antimalarial preparations, including artemisinins have therapeutic potential that goes beyond the treatment of malaria, in particular, powerful anti-tumor, anti-diabetic, anti-inflammatory, anti-atherogenic, antibacterial, anti-infectious, anti-autoimmune, immunomodulating, etc. Artemisinin and dihydroartemisinin are considered as potential neuroprotectors. Alzheimer's disease is the most common neurodegenerative disease

characterized by the accumulation of beta-amyloid plaques and neurofibrillary tangles of aggregated hyperphosphorylated tau protein. This is also facilitated by the change in the level of monoamine neurotransmitters caused by monoamine oxidase (MAO B). A targeted effect on MAO-B is a potential therapeutic strategy for modulation of metabolism and monoaminergic signaling.

The purpose of this study is to evaluate the neuroprotective activity of artemisinin and dihydroartemisinin by studying their *in silico* affinity to the enzyme MAO-B, and with the help of electrophysiological analysis. *In silico* studies have revealed a direct interaction of artemisinin and dihydroartemisinin with MAO-B.

Electrophysiological analysis demonstrated that they act as neuroprotectors.

Keywords: Alzheimer's disease, artemisinins, A β -peptide, cognitive impairment, MAO-B.

ОЦЕНКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ И ПРОТИВОВИРУСНОЙ АКТИВНОСТЕЙ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ КЛАССА АЗОЛОАЗИНОВ

*Ш.А. Нур¹, Г.Г. Данагулян², Н.В. Гаврилова^{1,3}, А.В. Бродская^{1,3},
О.Л. Власова¹*

¹ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»

² ГОУ ВПО Российско-Армянский университет

³ ФГБУ «НИИ гриппа им А.А. Смородинцева» Минздрава России
*noorshel@mail.ru, gdanag@email.com, alexandra.b_05@mail.ru,
olvlasova@yandex.ru*

АННОТАЦИЯ

В работе проводилась проверка биологической активности шести соединений класса производных азолоазинов, на бактериальной культуре *E. coli* с выявлением потенциальной антибактериальной активности, а также на эукариотической культуре MDCK, с выявлением противовирусного потенциала *in vitro* в отношении вируса гриппа А человека (ВГА). Данное исследование имеет потенциал для разработки новых эффективных антибактериальных и противовирусных препаратов в условиях растущей угрозы антибиотикорезистентности.

Ключевые слова: азолоазины, противомикробные соединения, антибиотики, антибактериальная активность, противовирусные препараты.

Введение

Органическая химия играет ключевую роль в разработке синтетических и полусинтетических лекарственных препаратов, среди которых значительное место занимают гетероциклические соединения [1]. В последние годы возникает необходимость поиска новых антибактериальных и противовирусных средств, а также возможных универсальных терапевтических агентов для сочетанных инфекций. Это связано с развитием антибиотикорезистентности

среди распространенных возбудителей клинических инфекций, а также выявлением новых штаммов вирусов и бактерий.

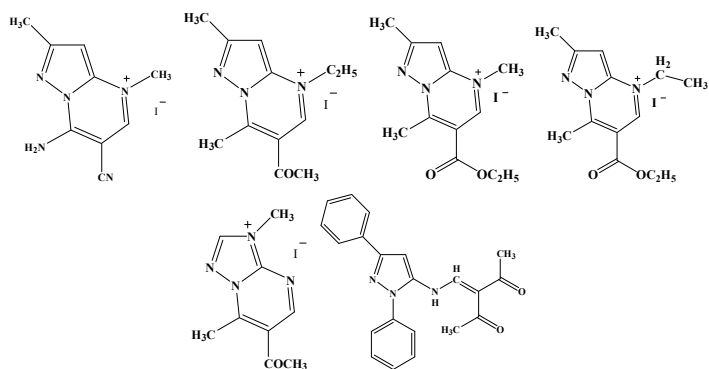
В настоящее время во всем мире активно исследуются структурные аналоги азотистых оснований ДНК и РНК, такие как ацикловир и рибавирин. Азолазины – это класс азаетероциклических соединений, аналогичных пуриновым основаниям, обладающих широким спектром биологической активности [2, 3]. Они проявляют значительную антимикробную активность. Так, в одном из недавно опубликованных исследований [4] были синтезированы восемь производных азолазинов, протестированных против двух грибов и восьми бактерий (четырех грамположительных и четырех грамотрицательных). Результаты показали, что эти соединения превзошли амфотерицин В в борьбе с *Aspergillus niger* и продемонстрировали высокую активность против *Geotricum candidum* и *Klebsiella pneumoniae*. Также показана противовирусная активность азолазинов и их производных, включая работы по подавлению репродукции коронавируса [5], а также за счет влияния азолазина на основную протеазу 3CLpro-2 коронавируса. Заслуживает внимания также разработанный и зарегистрированный в РФ оригинальный противовирусный препарат семейства азолазинов Триазавирин® (Риамилловир) [6–7]. Помимо антибактериальной и противовирусной активности, азолазины и их производные проявляют защитные свойства от септического шока, обладают антигликирующей и антикоагулянтной активностями, а также эффективны в качестве ингибиторов дипептидилпептидазы 4, применяемых для лечения сахарного диабета 2 типа [8–10].

Целью данной работы является оценка антибактериального и противовирусного потенциала ряда соединений класса азоло[1,5-*a*]азинов, синтезированных в Российско-Армянском университете (РАУ).

Материалы и методы

В ходе исследования для оценки антибактериальных свойств были выбраны шесть соединений, относящиеся, соответственно, к ряду пиразоло[1,5-*a*]пиримидинов (DGV-275, DGV-44, DGV-45 и DGV-82), а также препарат DGV-81, являющийся производным 1,2,4-триазоло[1,5-*a*]пиримидина, которые могут быть причислены к производным азолазинов (Рис. 1). Образец DGV-295, рассматривается как ациклический аналог азолазинов, содержа-

щий лишь одно пиразольное кольцо. Для оценки антибактериальных свойств применялись два метода: диско-диффузионный и метод культивирования с построением кривой роста на модели *E. coli* (K802). Цитотоксическое действие препаратов на эукариотической культуре MDCK оценивали методом МТТ Противовирусную активность определяли на клеточной модели вирусной инфекции в отношении ВГА (штамм А/Guangdong-Моаonan/SWL1536/2019/ H1N1 pdm09) методами РГА и ИФА в клетках.



DGV-275 DGV-82 DGV-44 DGV-45 DGV-81 DGV-295

Рисунок 1. Химическое строение производных азолоазинов.

Результаты

При использовании концентраций 25 мкл/мл и 50 мкл/мл наблюдалось снижение роста *E. coli* в 2,5 раза по сравнению с контролем, с оптической плотностью 0.7-0.1 через 5 часов (Рис. 2). В первые три часа рост бактерий не фиксировался, что может указывать на бактериостатическое действие соединений.

Зоны угнетения бактериального роста были отмечены вокруг всех дисков, кроме DGV-44, что указывает на отсутствие активности этого соединения против *E. coli*. Максимальный диаметр зоны угнетения составил 0.9 мм для DGV-295 и DGV-81 при концентрации 100 мкл/мл. Также наблюдалось обесцвечивание дисков после ночной инкубации, что свидетельствует о проникновении соединений в бактериальные клетки и влияние на метаболизм бактерий.

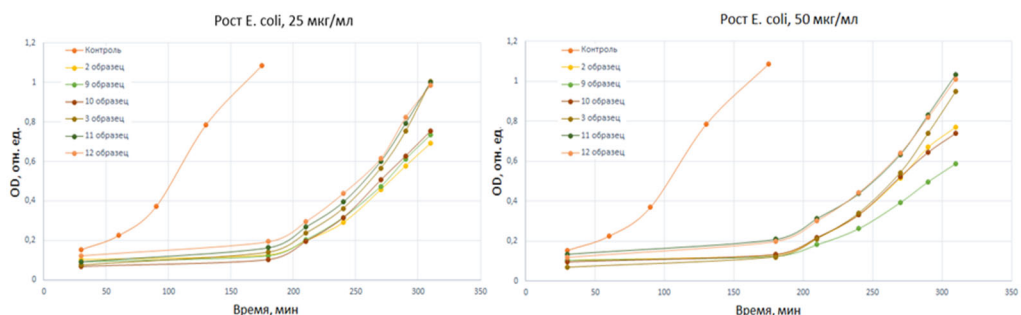


Рисунок 2. Кривые роста *E. coli* в среде с разной концентрацией исследуемых производных азолазинов.

Зоны угнетения бактериального роста были отмечены вокруг всех дисков, кроме DGV-44, что указывает на отсутствие активности этого соединения против *E. coli*. Максимальный диаметр зоны угнетения составил 0.9 мм для DGV-295 и DGV-81 при концентрации 100 мкл/мл. Также наблюдалось обесцвечивание дисков после ночной инкубации, что свидетельствует о проникновении соединений в бактериальные клетки и влияние на метаболизм бактерий.

Для всех препаратов также были проведены тесты на цитопатическое действие на эукариотической культуре MDCK. Было выявлено, что минимальное цитопатическое действие проявляет препарат DGV-82, с достижением ЦТД₅₀ в концентрации 10 мг/мл. Препараты DGV-295, DGV-275, DGV-45 также не выявили значимого цитопатического действия, выраженного в гибели более чем 20% клеточного монослоя для максимально допустимых концентраций начиная с 1 мг/мл до 0,0001 мг/мл. Для препаратов DGV-44 и DGV-81 снижение цитотоксического действия начинается с концентрации 0,2 мг/мл (200 мкг/мл), а полумлетальные дозы препарата достигаются для максимально возможных концентраций 1 мг/мл.

Была исследована вирусоподавляющая активность всех исследуемых соединений и выявлено специфическое снижение вирусной нагрузки в клетках при профилактическом внесении препаратов для DGV-295 и DGV-44. Тем не менее противовирусный эффект препаратов не наблюдался в снижении титра вируса при вирусологическом титровании для исследуемых доз препаратов в 100 мкг/мл. Для малых доз заражения 0,01–0,0001 было продемонстрировано значимое снижение вирусного белка в клетках по ИФА после введения препаратов в увеличенной дозе 200 мкг/мл. Введение сниженной дозы 20 мкг/мл

позволило выявить статистически значимый дозозависимый противовирусный эффект препарата DGV-295. Однако более явный эффект со снижением вирусной нагрузки более чем на 70% продемонстрировало профилактическое введение препарата DGV-44 (Рис. 3).

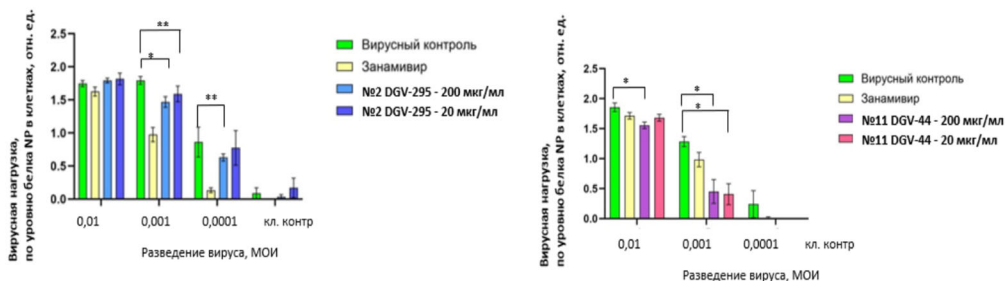


Рисунок 3. Результаты ИФА по определению относительного уровня накопленного белка NP в клетках MDCK при заражении ВГА и профилактического внесения препарата DGV-295 и DGV-44, в концентрациях 200 мкг/мл и 20 мкг/мл. (Статистический анализ, критерий Стьюдента, * $p < 0,01$; ** $p < 0,05$).

Выводы

Исследования показали, что соединения на основе азолазинов обладают антибактериальными свойствами, замедляя рост *E. coli* в процессе культивирования и создавая зону ингибирования вокруг дисков, пропитанных этими веществами. Исследуемые препараты из ряда производных азолазинов проявляют умеренную цитопатическую активность на клеточной культуре MDCK. Продемонстрирована противовирусная активность протестированных соединений для малых доз инфицирования *in vitro*. Для соединений DGV295 и DGV-44 была выявлена специфическая дозозависимая вирусоподавляющая активность.

Показано, что препарат DGV-295 проявил цитостатическое и комбинированное антибактериальное и противовирусное действие. Стоит отметить, что DGV-44 не проявил значимой антибактериальной активности, что делает его перспективным для разработки новых противовирусных препаратов и борьбы с антибиотикорезистентностью.

В будущем такие соединения могут быть использованы для разработки лекарственных средств для терапии различных, в том числе сочетанных бактериальных и вирусных инфекций.

Работа выполнена в рамках реализации совместной программы сотрудничества СПбПУ и РАУ «Исследование противовирусной и антибактериальной активности соединений ряда азоло[1,5-а]азинов», а также при поддержке Государственного задания по программе международного сотрудничества СПбПУ и РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Russell A.* Types of antibiotics and synthetic antimicrobial agents // “Hugo and Russell's Pharmaceutical Microbiology”, 2004. PP. 152–186.
2. *Pinheiro S. et al.* Biological Activities of [1,2,4]triazolo[1,5-*a*]pyrimidines and Analogs // “Med. Chem. Res”. V. 29, 2020. PP. 1751–1776.
3. *Gurevich K. et al.* Synthesis and Antiplatelet and Anticoagulant Activity of Thietane-Containing 2-(5-Bromo-2,4-Dihydro-3-Oxo-1,2,4-Triazolyl-4) Acetate Salts. // “Pharm. Chem. J.” V. 55, 2021. PP. 417–422.
4. *Al-Humain A. et al.* Genotoxic Effects of New Azoloazine Derivatives with Antitumor Activity in MCF-7 Tumor Cell Culture // “Pharmaceutical Chemistry Journal”. V. 57, № 6, 2023. PP. 822–827.
5. *Muhammad Z. et al.* Synthesis of antimicrobial azoloazines and molecular docking for inhibiting COVID-19 // “J. Heterocycl. Chem.”. V. 58, 2021. PP. 1286–1301.
6. *Sabitov A. et al.* Meta-Analysis of Randomized Controlled Clinical Trials of Riamilovir Efficacy in the Etiotropic Therapy of Acute Respiratory Viral Infection // “Antibiot. Khimioterapiya”. V. 66, 2021. PP. 48–57.
7. *Sabitov A. et al.* Practical Experience of Using Riamilovir in Treatment of Patients with Moderate COVID-19 // “Antibiot. Khimioterapiya”. V. 65, 2020. PP. 27–30.
8. *Kassem A. et al.* New azoloazine derivatives as antimicrobial agents: Synthesis under microwave irradiations, structure elucidation, and antimicrobial activity // “Journal of Heterocyclic Chemistry”. V. 57, № 2, 2020. PP. 611–620.
9. *Ishmetova R. et al.* Synthesis and biological activity of 3-guanidino-6-R-imidazo[1,2-*b*]- and 6-guanidino-3-R-[1,2,4]triazolo[4,3-*b*][1,2,4,5]tetrazines // “Russ. Chem. Bull.” V. 67, 2018. PP. 2079–2087.
10. *Rusinov V. et al.* Fused azoloazines with antidiabetic activity // “Russian Chemical Bulletin”. V. 71, № 12, 2022. PP. 2561–2594.

EVALUATION OF ANTIBACTERIAL AND ANTIVIRAL ACTIVITY OF SOME OF AZOLOAZINE CLASS COMPOUNDS

*Sh. A. Nur*¹, *G. Danagulyan*², *N. Gavrilova*^{1,3}, *A. Brodskaya*^{1,3}, *O. Vlasova*¹

¹*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

²*Russian-Armenian University*

³*Research Institute of Influenza*

ABSTRACT

This study evaluated the biological activity of six azolylazine-class compounds. Their potential antibacterial activity was assessed using the bacterial model *Escherichia coli*, while their antiviral potential was investigated in vitro against human influenza A virus (IAV) using the eukaryotic MDCK cell line. The research was conducted in the context of the growing global threat of antimicrobial resistance. The findings indicate promising dual antibacterial and antiviral properties of the tested compounds, suggesting their potential as lead structures for the development of novel, effective therapeutic agents.

Keywords: azoloazines, antimicrobial compounds, antibiotics, antibacterial activity, antiviral drugs.

АНАЛИЗ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

А.С. Тавадов, Т.Я. Бровкина

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
andranik_tas@mail.ru, tativiva.10@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты комплексного исследования по оценке хозяйственно-ценных признаков перспективных сортов сои в почвенно-климатических условиях центральной зоны Краснодарского края. Проведен детальный анализ элементов структуры урожая, качества семян и адаптационного потенциала сортов отечественной селекции. На основании полученных данных разработаны практические рекомендации по использованию изученных сортов в производственных условиях региона. Результаты исследований представляют ценность для сельхозпроизводителей Краснодарского края и могут быть использованы для оптимизации сортового состава сои в системе адаптивно-ландшафтного земледелия региона.

Ключевые слова: соя (*Glycine max* L.), урожайность, масличность, качество зерна, структура урожая.

Введение

Соя (*Glycine max* L.) занимает важное место в структуре посевов зернобобовых культур в мире благодаря уникальному химическому составу семян и их многостороннему использованию [6]. В современных условиях увеличение производства сои становится особенно актуальным в связи с растущим спросом на растительный белок. Кроме того, соя, как и другие зернобобовые, играет огромную роль в повышении плодородия почвы за счет способности к азотфиксации [2, 3]. Краснодарский край – один из благоприятных по почвенно-климатическим условиям регионов для возделыва-

ния этой культуры. Эффективность производства сои зависит от многих агротехнических и экологических факторов [5]. Однако правильно подобранный сорт – это половина успеха ее выращивания.

В связи с этим весьма актуально проведение комплексной оценки хозяйственно-ценных признаков перспективных сортов сои. Это позволит повысить эффективность селекционного процесса и совершенствовать зональные технологии возделывания этой ценной культуры [1, 4]. В наших исследованиях ставилась цель – изучить особенности роста и развития растений сои, особенности формирования урожайности и качества семян в центральной зоне Краснодарского края.

В период проведения посева и появления всходов погодные условия были в целом благоприятными, прежде всего по температурному режиму. Среднесуточная температура апреля составила $+12,1^{\circ}\text{C}$, что на $1,5^{\circ}\text{C}$ выше многолетней нормы. Сумма осадков за этот месяц достигла 75 мм, что превысило многолетнее значение на 97%. В мае, июне и июле установилась жаркая погода и существенный недобор осадков, особенно в июле. В период созревания сои погодные условия были далеки от оптимальных. Август отличался экстремальной положительной изотермой температур при критическом водном дефиците. Среднесуточная температура за месяц достигала $+27,0^{\circ}\text{C}$, с превышением многолетнего значения на $+4,1^{\circ}\text{C}$. В этом месяце выпало всего лишь 0,1 мм осадков, тогда как среднемноголетняя норма составляет 55 мм. В целом, вегетационный период сои в 2023 году характеризовался выраженной климатической контрастностью.

Материал и методы

Исследования проводились в Производственном отделении № 3 предприятия «Победа». В процессе опыта проводилось изучение сортов сои раннеспелой группы.

Схема нашего опыта включала четыре сорта отечественной селекции: Пума, Олимпия, Веда и Оптима. За стандарт был принят высокопродуктивный, толерантный к стрессовым факторам, устойчивый к болезням, полеганию и растрескиванию бобов сорт сои Пума. Общая площадь делянки – 125 м², учетная площадь делянки – 57 м². Повторность в опыте трехкратная. Размещение вариантов в опыте – систематическое.

Результаты и обсуждение

Анализ данных (Табл. 1) выявил различия между сортами по важнейшим показателям продуктивности. Посевы характеризовались равномерной густотой стояния растений (23–25 растений/м²). Высота прикрепления нижнего боба варьировала от 12,3 до 13,8 см, с максимальным значением у сорта Олимпия (13,8 см) и минимальным у стандарта Пума (13,1 см).

В наших исследованиях изучалась индивидуальная продуктивность растений сои, которая определялась числом ветвей, бобов, семян и их массой. Максимальное число ветвей (3,8 шт./растение) отмечалось у сорта Веда, минимальное – у стандарта (3,1 шт./растение). Сорта Оптима и Олимпия имели промежуточное значение (3,4 и 3,3 шт./растение соответственно).

Сорта Веда и Оптима формировали наибольшее количество бобов (21–23 шт./растение), тогда как у сортов Пума и Олимпия этот показатель составил 15–17 шт./растение. Наибольшая плотность расположения бобов на ветвях была у сорта Оптима (6,1–6,8 шт./ветвь), у Олимпии – 4,7 шт./ветвь.

Масса бобов и семян варьировала в зависимости от количества плодов. Сорта Оптима и Веда имели наибольшую массу бобов (13,2–14,0 г) и семян (7,8–9,5 г), превышая стандарт на 11–19%. Сорта Пума и Олимпия уступали по этим показателям на 17–38%. Масса 1000 семян у Олимпии составила 147 г, у стандарта – 141 г.

Биологическая урожайность сортов определялась густотой стояния растений и индивидуальной продуктивностью. Сорт Оптима показал наибольшую прибавку к стандарту (71 г/м²), Веда – 34 г/м², Олимпия – снижение на 13 г/м². Нами установлено, что вариабельность биологической урожайности изучаемых сортов обусловлена различиями в элементах структуры урожая сои.

Таблица 1.

Элементы структуры урожая изучаемых сортов сои, 2023г.

Сорт	Количество растений, шт./м ²	Высота прикрепления нижнего боба, см	Количество на одном растении, шт.			Масса с одного растения, г		Масса 1000 семян, г	Биологическая урожайность, г/м ²
			ветвей	бобов	семян	бобов	семян		
Пума (st)	23	13,1	3,1	17	51	12,3	7,1	141	161
Олимпия	22	13,8	3,2	15	47	10,2	6,8	147	148
Веда	25	12,3	3,8	21	60	13,7	8,4	124	195
Оптима	24	12,8	3,4	23	73	14,6	9,8	134	232

Урожайность семян – главный критерий оценки сорта. В Табл. 2 приведены полученные данные урожайности сортов сои в АО «Агрокомплекс» имени Н.И. Ткачева, предприятия «Победа» Тимашевского района в год проведения наших исследований.

Таблица 2.

Урожайность изучаемых сортов сои, 2023г.

Сорт	Урожайность, ц/га	Отклонение от стандарта, ±	
		ц/га	%
Пума (st)	14,6	-	-
Олимпия	13,7	-0,9	6,1
Веда	17,1	+2,5	17,1
Оптима	20,2	+5,6	38,3
НСР ₀₅	1,99		

Анализируя данные урожайности, отметим, что все изучаемые сорта сои значительно превосходили стандартный сорт Пума по этому показателю, за исключением сорта Олимпия.

Так, наибольшую урожайность получили у сорта Оптима, который так же существенно превосходил стандарт на 5,6 ц/га или на 38,3%. Снижение урожайности по сравнению со стандартом отмечено у сорта Олимпия – на 0,9 ц/га или 6,1%. Однако, согласно результатам однофакторного дисперсионного анализа различия по урожайности следует считать несущественными (НСР₀₅ = 1,99).

Сорт Веда занимал промежуточное положение среди изучаемых в опыте сортов по урожайности, обеспечивая получение достоверной прибавки по сравнению со стандартом Пума 2,5 ц/га или 17,1%.

Математической обработкой урожайных данных установлена достоверность полученных прибавок урожайности для сортов по сравнению со стандартом.

При этом сорта Веда, Оптима существенно превышали стандарт по урожайности на 2,5–5,6 ц/га.

Масличность семян и сбор масла являются ключевыми показателями продуктивности сои. В Табл. 3 представлены результаты анализа этих параметров для исследуемых сортов. Также сорта различались по содержанию белка.

Максимальная масличность наблюдалась у сорта Веда, превосходящего стандарт на 1,5%. Сорт Оптима занимал промежуточное положение с разницей 0,8%. Сорт Олимпия уступал стандарту на 2,7%, что связано с наименьшей среди изучаемых в опыте сортов масличностью семян (20,4%).

Сбор масла варьировал от 2,4 до 4,1 ц/га. Максимальная прибавка (4,1 ц/га) получена для сорта Оптима, что на 1,2 ц/га выше стандарта. Сорт Олимпия показал наименьший сбор масла (2,4 ц/га), уступая стандарту на 0,5 ц/га. Сорт Веда обеспечил средний сбор масла (3,6 ц/га), превышая стандарт на 0,7 ц/га.

Содержание белка в семенах варьировало от 38,6% (Олимпия) до 41,3% (Оптима). Сорт Оптима превосходил стандарт на 0,6%, а сорт Веда имел содержание белка 40,3%, уступая стандарту на 0,4%.

Наибольший сбор белка обеспечил сорт Оптима (7,1 ц/га), превосходя стандарт на 39,2%. Сорт Веда показал сбор белка 5,9 ц/га, превышая стандарт на 15,7%. Сорт Олимпия имел минимальный сбор белка (4,5 ц/га), недобор по этому показателю составил 0,6 ц/га в сравнении со стандартом.

Сорта Оптима и Веда продемонстрировали наилучшие показатели продуктивности. Оптима отличался высокой масличностью (21,1%), белковостью (41,3%) и сбором масла (4,1 ц/га). Сорт Веда обеспечил масличность – 21,8%, белковость – 40,3%, сбор масла – 3,6 ц/га и белка – 5,9 ц/га.

Таблица 3.

Хозяйственно-ценные качества семян и продуктивность изучаемых сортов, 2023г.

Сорт	Содержание, %		Сбор, ц/га		Отклонение от стандарта по сбору, ±			
	масла	белка	масла	белка	масла		белка	
					ц/га	%	ц/га	%
Пума (st)	23,1	40,7	2,9	5,1	-	-	-	-
Олимпия	20,4	38,6	2,4	4,5	-0,5	17,2	-0,6	11,8

Веда	24,6	40,3	3,6	5,9	0,7	24,1	0,8	15,7
Оптима	23,9	41,3	4,1	7,1	1,2	48,3	2,0	39,2

Выводы

1. Сорта Оптима и Веда продемонстрировали максимальную продуктивность, существенно превосходя стандартный сорт Пума по урожайности на 2,5–5,6 ц/га (17,1–38,3%) при статистически доказанной достоверности ($НСР_{05} = 1,99$ ц/га). Наибольшая урожайность отмечена у сорта Оптима – 20,2 ц/га.

2. По качественным показателям выделился сорт Веда с максимальной масличностью – 21,8%, что на 1,5% выше стандарта. Сорт Оптима показал наивысшие значения сбора масла (4,1 ц/га) и белка (7,1 ц/га), превысив стандарт на 1,2 ц/га и 2,0 ц/га соответственно.

3. Сорт Олимпия уступал стандарту по всем изучаемым параметрам: урожайности (13,7 ц/га), масличности (20,4%) и сбору масла (2,4 ц/га). Низкая продуктивность обусловлена минимальным количеством бобов (15–17 шт./растение) и семян (47 шт./растение).

4. Таким образом, проведенные нами исследования позволили выделить сорта сои, характеризующиеся наибольшей продуктивностью и стабильностью в условиях юга России. Наибольший хозяйственный потенциал для производства в условиях центральной зоны Краснодарского края показали сорта Оптима и Веда, сочетающие высокую урожайность с оптимальными показателями качества зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бойко Е.С.* Новые сорта – новые возможности / Е.С. Бойко, Н.В. Репко, А.А. Салфетников, Л.В. Назаренко // «Труды Кубанского государственного аграрного университета», № 61, 2016. СС. 86–91.
2. *Бровкина Т.Я.* Значение симбиотической азотофиксации в повышении продуктивности сои / Т.Я. Бровкина, О.В. Димитриенко // «Тенденции развития науки и образования», № 97-8, 2023. СС. 51–53.
3. *Комаров Д.О.* Влияние технологии возделывания сои в низинно-западинном агроландшафте Центральной зоны Краснодарского края на динамику гумуса

- и оструктуривание почвы / Д.О. Комаров, А.С. Тавадов, В.Н. Гладков // «Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 79-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2023 год. В 2-х частях, Краснодар, 25 апреля 2024г.». Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. СС. 50–52.
4. Сравнительная характеристика сортов сои селекции (СОКО) в центральной зоне Краснодарского края / А.С. Тавадов, В.Н. Гладков, Е.Н. Ничипуренко, Л.А. Исаева // «Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета», № 209, 2025. СС. 462–469.
 5. *Тавадов А.С.* Морфометрические признаки и продуктивность сортов сои в Тимашевском районе Краснодарского края / А.С. Тавадов, Т.Я. Бровкина // «Агроинновации: интеграция науки и бизнеса: Материалы Школы-конференции для молодых ученых с международным участием. Краснодар, 25–27 июня 2025г.». Краснодар: ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», 2025. СС. 263–268.
 6. *Тюпаков Э.Ф.* Растениеводство / Э.Ф. Тюпаков, Т.Я. Бровкина. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2006, 520с.
 7. *Board J. & Tan Q.* Assimilatory effects of soybean yield components and pod number // “Crop Science”. Vol. 35, № 3, 1995. PP. 846–851.
 8. *Zabarna T.* The formation of soybean phy-tocenosis and seeds quality depending on the intensification factors // Scientific journal “Agriculture and Forestry”: Bulletin of Vinnytsya State Agricultural University, № 19, 2020. PP. 144–156.

ANALYSIS OF AGRICULTURALLY VALUABLE TRAITS IN PROMISING SOYBEAN VARIETIES IN THE CENTRAL ZONE OF KRASNODAR KRAI

A. Tavadov, T. Brovkina

Kuban State Agrarian University named after I. Trubilin

ABSTRACT

This article presents the results of a comprehensive study assessing the agronomically valuable traits of promising soybean varieties in the soil and climatic conditions of the central zone of Krasnodar Krai. A detailed analysis of yield structure

elements, seed quality, and the adaptive potential of domestically bred varieties was conducted. Based on the data obtained, practical recommendations for the use of the studied varieties in the region's production conditions were developed. The research results are valuable for agricultural producers in Krasnodar Krai and can be used to optimize soybean varietal composition in the region's adaptive landscape farming system.

Keywords: soybean (*Glycine max* L.), yield, oil content, grain quality, crop structure.

Տասնիններորդ միջազգային տարեկան գիտաժողով
2025 թ. դեկտեմբերի 1–5
Գիտական հոդվածների ժողովածու՝
Ֆիզիկական-մաթեմատիկական և բնական գիտություններ

The nineteenth International Annual Scientific Conference
(December 1-5, 2025)
Collection of scientific articles: physical, mathematical and natural sciences

ԳՀԽ գլխավոր խմբագիր – Մ.Է. Ավագյան
Խմբագիրներ – Ա.Ս. Եսայան,
Ն.Բ. Բադալյան
Համակարգչային էջադրում – Ա.Հ. Անտոնյան

Editor-in-Chief of the RNI – M. Avakyan
Editors – A. Yesayan, N. Badalyan
Computer layout – A. Antonyan

Ռուս-Հայկական
համալսարանի Գիտական
հրատարակումների խմբագրության հասցե՝
0051, ք. Երևան, փող. Հովսեփ Էմին, 123
հեռ./ֆաքս՝ (+374 12) 77-57-75 (ներքին՝ 392)
էլ.փոստ՝ maria.avakian@rau.am

Address of the Editorial Board
of Scientific Publications of
the Russian-Armenian University:
0051, Yerevan, st. Hovsep Emin, 123
tel./fax: (+374 12) 77-57-75 (ext. 392)
e-mail: maria.avakian@rau.am

Պատվեր № 20
Ստորագրվել է տպագրության 15.04.2026
Ձևաչափ՝ 70x100^{1/16}
Ծավալ՝ 9 պայմ.տ.թ.
Տպաքանակ՝ 100 օրինակ

Order № 20
Signed for publication on 15.04.2026
Format 70x100^{1/16}.
Volume 9 conv. p.l.
Circulation 100 copies

**Девятнадцатая международная годичная научная
конференция (1–5 декабря 2025г.)
Сборник научных статей:
физико-математические и естественные науки**

*Главный редактор РНИ – М.Э. Авакян
Редакторы – А.С. Есаян, Н.Б. Бадалян
Компьютерная верстка – А.Г. Антонян*

Адрес Редакции научных изданий
Российско-Армянского университета:
0051, г. Ереван, ул. Овсена Эмина, 123
тел/факс: (+374 12) 77-57-75 (внутр. 392)
e-mail maria.avakian@rau.am

Заказ № 20
Подписано к печати 15.04.2026
Формат 70x100¹/₁₆.
Объем 9 усл. п.л. Тираж 100 экз.

ISBN 978-9939-67-410-0



9 789939 674100

