

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАУКИ

**80-я НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Материалы конференции

Минск, 10–20 марта 2023 г.

В трех частях

Часть 1

Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2023

ISBN 978-985-881-550-9 (ч. 1)
ISBN 978-985-881-551-6

© БГУ, 2023

УДК 082(06)
ББК 9я431

Редакционная коллегия:

доктор химических наук, профессор *А. В. Блохин* (гл. ред.);
кандидат физико-математических наук *О. Н. Янковский* (зам. гл. ред.);
кандидат биологических наук, доцент *Д. Г. Жоров*;
кандидат исторических наук, доцент *А. А. Кухаренко* (отв. секретарь)

Рецензенты:

кандидат биологических наук, доцент *О. И. Губич*;
кандидат физико-математических наук, доцент *В. И. Шиманский*

80-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс] : материалы конф., Минск, 10–20 марта 2023 г. В 3 ч. Ч. 1 / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. В. Блохин (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-550-9.

Издание состоит из трех частей. В первую часть включены доклады студентов и аспирантов факультетов географии и геоинформатики, прикладной математики и информатики, радиофизики и компьютерных технологий, механико-математического, физического, биологического и химического факультетов.

Минимальные системные требования:

PC, Pentium 4 или выше; RAM 1 Гб; Windows XP/7/10;
Adobe Acrobat

Оригинал-макет подготовлен в программе Microsoft Word

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Ю. С. Семенюк*

Подписано к использованию 20.12.2023. Объем 22,3 МБ

Белорусский государственный университет.
Управление редакционно-издательской работы.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.
Телефон: (017) 259-70-70
e-mail: urir@bsu.by
<http://elib.bsu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

Кухаренко А. А., Семенюк Ю. С. Об итогах проведения 80-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ12

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Абакунчик Д. В., Артемчук Я. Н., Семченко А. Ю. Действие фенольных соединений и лазерного излучения на состояние антиоксидантной системы и процессы перекисного окисления липидов в печени крыс в опытах *in vitro*16

Аманбердиева О., Мазурова Д. А. Индукция запрограммированной клеточной гибели под действием смесей, генерирующих гидроксильные радикалы, на фоне различной обеспеченности металлами-макроэлементами.....20

Антонович А. П. Архитектоника кожи человека и использование электромагнитного излучения для оценки процесса регенерации24

Арзамаскина К. И., Герман А. Д. Анализ воздействия Ni^{2+} и Ni-гистидиновых комплексов на рост и архитектуру корней *Hordeum vulgare*28

Бирюкова Н. Ю., Стельмашенко Д. В. Влияние бактериальной АЦК-дезаминазы на повышение устойчивости трансгенных растений к загрязнению среды высокими концентрациями никеля.....32

Бондарева К. С. Анализ 3D-структуры белка семейства MAREG из штамма дикого типа бактерий *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca*36

Гайдуков М. Д. К видовому составу жуков-фитофагов семейства Cerambycidae Минской и Витебской областей40

Горелик К. М., Ислами К. М. Характеристика микроорганизмов орнитогенных почв Восточной Антарктиды44

Губаревич К. И. Изменение экспрессии генов у высших растений в ответ на повышенные уровни тяжелых металлов в среде.....48

Дацкевич М. В. Метилирование генов *HOXA9*, *MARCH11*, *UNCX*, *PTGDR* у пациентов с немелкоклеточным раком легкого52

<i>Дворникова А. А.</i> Фенетический анализ изменчивости жилкования крыла <i>altica oleracea</i> (<i>coleoptera, chrysomelidae, galerucinae</i>) популяций центральной Беларуси	56
<i>Жизневская А. А.</i> Сравнительный анализ цитотоксической активности феназиновых соединений <i>Pseudomonas chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> в отношении культур нормальных и малигнизированных клеток	61
<i>Качан В. С., Пашкевич В. И., Рак С. В.</i> Влияние отвара солянки холмовой (<i>Salsola collina</i> Pall.) на биохимические показатели липидного обмена у крыс с хронической алкогольной интоксикацией	65
<i>Копылева Д. В.</i> Получение рекомбинантного человеческого фактора некроза опухоли-альфа в клетках <i>escherichia coli</i>	69
<i>Кремза А. А.</i> Использование бактериальных консорциумов для биоремедиации сред, загрязненных нефтепродуктами	73
<i>Кузьмицкий Д. А.</i> Влияние наночастиц оксида меди на рост корней клевера лугового и гороха полевого	77
<i>Куфко И. Э., Покладок Е. С.</i> Получение культур человеческих клеток со стабильной экспрессией гена <i>Cas9</i>	80
<i>Ларченко А. Ю.</i> Регуляция процесса биodeградации нафталина в клетках бактерий <i>Rhodococcus pyridinivorans</i> 5Ap	85
<i>Леонович В. В.</i> Создание коллекции свободноживущих бактерий-азотфиксаторов, перспективных для использования в агробιοтехнологии	89
<i>Лукашевич А. А., Покрова Е. С., Зинкевич А. Г., Жизневская А. А.</i> Введение в культуру клеток эпителиальных и мезенхимальных тканей для тестирования биологической активности феназиновых соединений	93
.....	97
<i>Максимук В. А.</i> Мимикрия антигенов <i>Helicobacter pylori</i> и H^+/K^+ -атфазы желудка как причина развития аутоиммунного гастрита	101
<i>Моковский И. Г.</i> Изучение сравнительной эффективности действия популярных кофеин-содержащих энергетических напитков в экспериментальной модели избыточной физической нагрузки	106

<i>Мухина А. А.</i> Действие селенита натрия на рост и биохимические показатели каллусной культуры розмарина лекарственного (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	110
<i>Олесик Т. С.</i> Адаптивные реакции на температурные нагрузки у студентов.....	114
<i>Павленко У. Ю.</i> Особенности гнездовой биологии певчего дрозда (<i>Turdus philomelos</i>) на территории памятника природы республиканского значения «Дубрава Щомыслицкая» (Минск)	119
<i>Соболева А. А., Шаховская К. С.</i> Энтомологическое разнообразие хортобионтов и герпетобионтов на разных типах городских газонов ...	123
<i>Титенкова Е. А., Янкун И. С.</i> Влияние отвара падуба широколистного (<i>Ilex latifolia</i>) на показатели углеводного обмена лабораторных крыс с экспериментальным сахарным диабетом	128
<i>Трусев И. С.</i> Биоинформатическое прогнозирование иммуногенности генно-инженерных белков для активной иммунотерапии	132
<i>Труш Д. С.</i> Вегетативная регуляция сердечного ритма при действии запаховых раздражителей	136
<i>Тухто К. Г.</i> Получение рекомбинантного эндолизина PlyG в бактериях <i>escherichia coli</i> и выявление его антибактериальной активности.....	140
<i>Хотянович Ю. Н.</i> Новые методы биодиагностики в оценке экологического состояния нарочанских озер.....	145

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

<i>Воробей М. В.</i> Исследование влияния показателей плодородия сельскохозяйственных земель на вегетационные индексы	148
<i>Гуд Д. И.</i> Анализ качества питьевой бутилированной воды г. Минска .	151
<i>Дробенок С. Д.</i> Региональный анализ обращения с отходами производства в Беларуси	159
<i>Кот У. В.</i> Демографический потенциал Брестской области Республики Беларусь.....	164
<i>Малюга М. И.</i> Географическое распространение представителей семейства беличьих (<i>Sciuridae</i>) на территории Беларуси по данным GBIF	168

<i>Микляева П.</i> Применение метода тестирования при изучении физической географии в высшей школе	171
<i>Михасько Д. С.</i> Применение ГИС и искусственного интеллекта для целей изучения городской среды (на примере г. Минска).....	175
<i>Недобега А. П.</i> Жара как опасное природное явление: общие подходы к трактовке понятия.....	179
<i>Рондак У. А.</i> Разработка системы вертикального озеленения в г. Минске	186
<i>Скребец Г. А.</i> Сравнительная геология Земли и Марса.....	191

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<i>Асташонок В. А., Перехрест Д. С.</i> Использование математической статистики для изучения финансового положения предприятий в Беларуси и России	194
<i>Бадак Б. А.</i> О дидактических аспектах обучения математике студентов технического университета.....	198
<i>Бобрович А. О., Черняк В. И.</i> Создание математического эвристического тренажера для студентов.....	202
<i>Бураков Д. И.</i> Зависимость среднего балла студентов от внеучебной деятельности	205
<i>Владыковский Д. А.</i> Программное средство для блочного шифрования информации	209
<i>Герасимова А. В.</i> Моделирование форм свободной поверхности магнитной жидкости вокруг проводника с током	214
<i>Гершов М. Д.</i> Анализ данных в медицинских задачах	219
<i>Жемойтяк Н. П.</i> Математическое моделирование процессов цитотоксичности клеток.....	223
<i>Кирилло Д. Е.</i> Бизнес-анализ облачного билетного оператора	227
<i>Левый А. А.</i> Напряженно-деформированное состояние тела с круговым отверстием, с учетом различных пластических свойств.....	231
<i>Марус А. С.</i> Интеллектуальный анализ статистических данных поездок в такси	237

<i>Мордачѳв С. В.</i> Уровни усвоения математического содержания учащимися и студентами на примере тем «Модуль числа», «Основные методы интегрирования».....	241
<i>Мулиця К. В.</i> Арганізацыя эфектыўнай праектнай камунікацыі падчас стварэння ІТ-прадуктаў	245
<i>Плюсюк Г. С., Сахечидзе Я. Г.</i> Проектирование и реализация вычислительного ядра для электронного решебника по анализу числовых рядов.....	250
<i>Рудкевич В. В.</i> Применение преобразования фурье к анализу сигналов	254
<i>Яблонская А. О.</i> Классификация и кластеризация клиентской базы организации	257
<i>Шинкарѳв К. А.</i> Математическое моделирование летучести хелатов одновалентных металлов	261
<i>Nguyen Le.</i> Уравнения движения трехслойной балки-полосы с высококонтрастными свойствами материала	267

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<i>Wang P., Wang X.</i> Internal stress of fcc and bcc high entropy alloys irradiated by helium.....	271
<i>Асиненко Д. А.</i> Лабораторная установка экспонирования ближнего и дальнего УФ-диапазонов	274
<i>Eremenko E. A.</i> Study of the surface luminescence properties of detonation nanodiamonds with various heat treatments.....	277
<i>Колодочка П. С.</i> Классификация типов сахаров с помощью многопараметрического анализа Uv-Vis-Nir спектров оптической плотности их водных растворов	281
<i>Леоник П. А.</i> Анализ поперечного пространственного сверхразрешения в нелинейной микроскопии	285
<i>Mandryk A. K.</i> Optical characteristics of solar cells based on straight-band semiconductors with chalcopyrite structure	289
<i>Прокопенко Н. Д., Свечко А. Д., Дудинов О. Н.</i> Фотохимическая устойчивость нитрофурановых фотосенсибилизаторов при воздействии синего света	292

<i>Seliazniou A. V.</i> Spontaneous synchronization of transverse modes. occurrence of anomalous waves in lasers.....	296
<i>Соболева О. В.</i> Изучение прецизионной энергетической характеристики полупроводникового спектрометра на основе анализа спектров эталонных источников гамма излучения	300
<i>Тетеруков Е. В., Колесникова Е. А.</i> Структура и электрические свойства гетероэпитаксиальных пленок антимонида индия, ионами криптона с энергией 145 МэВ.....	304
<i>Язлыев М. С.</i> Влияние графеновых нанопластинок, модифицированных днк, на внутриклеточный рН нейтрофилов.....	308

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

<i>Барышева И. В.</i> Применение градиентного бустинга для прогнозирования временных рядов	313
<i>Брезгунова А. А.</i> Конечно-разностные методы решения уравнения пуассона в произвольных двумерных областях	317
<i>Голод Т. В.</i> Анализ и прогнозирование финансовых временных рядов с помощью ансамбля моделей	322
<i>Гончаренко А. Д.</i> Проектирование веб-приложения на основе flask и python, микросервисная и облачная архитектура.....	327
<i>Гордей П. Д., Петров А. А.</i> Разработка масштабируемой высоконагруженной системы адаптивной потоковой передачи медиаданных	331
<i>Дасько Ф. Б.</i> Понижение степеней многочленов при алгебраическом описании дискретных преобразований	335
<i>Денгалёв Д. И.</i> Разработка алгоритмов поиска изоморфных подграфов в помеченных графах	339
<i>Жидович М. С.</i> Исследование и разработка экспериментальных средств генерации КТ-изображений с помощью диффузионных нейронных сетей	343
<i>Казловский М. А.</i> Электронное голосование: криптографические вызовы и потенциальные риски.....	346
<i>Кацуба С. С.</i> Разработка агрегатора тематических электронных ресурсов	351
<i>Кучин Н. Н.</i> Разработка системы синтеза речи на белорусском языке из текста.....	355

<i>Леонов И. К.</i> Последовательный анализ случайных гауссовых полей.....	359
<i>Малафеева М. И., Лобач С. В.</i> Предсказание временных рядов на основе моделей в пространстве состояний и фильтра калмана	363
<i>Мальшиц А. А.</i> Разработка генеративных сетей для поиска потенциальных лекарств против ВИЧ.....	368
<i>Мацкевич В. В.</i> Гибридный алгоритм обучения нейронных сетей.....	372
<i>Мойсейчик Е. С.</i> Проектирование и реализация распределенной системы управления и обмена сообщениями на основе микросервисной архитектуры.....	376
<i>Мороз А. С.</i> Система принятия оперативных решений на основе редукации корпоративных данных.....	380
<i>Протасеня Д. О.</i> Моделирование и разработка компонентов и приложений в сфере интернета вещей	385
<i>Сафиуллин Т. Т.</i> Методы классификации сетевого трафика с использованием машинного обучения.....	389
<i>Сенькевич Н. И.</i> Разработка многопользовательского приложения для безопасного обмена сообщениями и документами с электронной цифровой подписью на основе протокола Фейге-Фиата-Шамира	394
<i>Старовойтов А. А.</i> Алгоритм проактивного управления вычислительными ресурсами	398
<i>Тылецкий А. В.</i> Регрессия 2D ключевых точек лица на основе нейронных сетей	402
<i>Ульяно А. М.</i> Применение бинарного линейного программирования в задаче планирования работы аккумулятора	406
<i>Шевцов Е. О., Сергеев А. В.</i> Высшее образование: тенденции, проблемы и перспективы развития	410
<i>Шейма И. Н.</i> Оценка влияния уровня неопределенности в реальном секторе экономики на темпы экономического роста.....	414
<i>Шибалко С. А.</i> Статистическое оценивание параметров полностью связанных многомерных двоичных временных рядов.....	419
<i>Шинкевич Д. О.</i> Многопоточность и параллельные алгоритмы в разработке мобильных приложений для операционной системы Android	424

ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

<i>Андреева Е. Г.</i> Разработка прототипа веб-ресурса для инжиниринговой организации	429
---	-----

<i>Афоненко А. А.</i> Самосогласованный расчёт собственных энергий электронных уровней сверхрешетки с учётом пространственного распределения заряда	433
<i>Биран А. А.</i> Многокритериальная маршрутизация в мультисервисных сетях	437
<i>Болотина Ю. В.</i> Структурные и электрофизические свойства тонкопленочных покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN	441
<i>Васильцов К. А., Казеко Д. Н.</i> Моделирование низкоорбитальной группировки малых космических аппаратов для оптимизации совместного обслуживания региональных сервисов.....	446
<i>Вольская П. Д.</i> Реализация протокола Modbus в датчике влажности А315.....	451
<i>Золотухо Е. Д., Басацкий В. О.</i> Беспроводное обновление программируемого контроллера на базе микропроцессора ESP32	455
<i>Каваленя А. А.</i> Определение межмодовой дисперсии многомодовых кварцевых волоконных световодов рециркуляционным способом.....	459
<i>Коваленко К. О.</i> Разработка интернет-магазина на основе веб-интерфейса telegramбота	463
<i>Колесников К. Д.</i> Модификация алгоритма корреляционного анализа стереоизображений SAD для нахождения соответствий областям высокой однородности.....	467
<i>Крупенков П. А.</i> Эффект резистивного переключения в структурах на базе тонких слоев нитрида кремния	472
<i>Крупович Д. В.</i> Разработка программного обеспечения анализа состояния шины Controller Area Network.....	476
<i>Ласточкина Е. С.</i> Разработка программно-технического метода для осуществления голосового управления.....	480
<i>Лебедева Е. А.</i> Перестройка частоты генерации квантоворазмерных полупроводниковых лазеров при прямоугольном токе накачки	484
<i>Макейкова М. С.</i> Моделирование факультета с помощью средств виртуальной реальности.....	489
<i>Михалёнок А. А.</i> Влияние добавок кремния на состав и структуру тонкопленочных покрытий TiAlSiN и их применение	493

<i>Олехнович Е. А.</i> Влияние рефракции в стандартной атмосфере в лазерной аэрокосмической связи и навигации	497
<i>Пастушенко А. М.</i> Интеллектуальная система обнаружения мошенничества с кредитными картами.....	501
<i>Ярошевич С. В.</i> Оптикоэлектронный контроль состояния усталости водителя транспортного средства.....	505

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<i>Асадчий М. В.</i> Разработка пористых оксидных материалов на основе металлорганических каркасных темплатов	509
<i>Безносик Т. В., Просмыцкая Ю. С.</i> Получение формовочных композиций на основе пищевых полимеров с различными функциональными добавками	514
<i>Демченко А. С.</i> Влияние места происхождения лаванды на физико-химические свойства эфирного масла	518
<i>Лев Е. С., Урбанович О. В.</i> Радиолиз глицерина и его дейтерированного производного в деаэрированных водных растворах при рН 7,4.....	523
<i>Левковец А. М.</i> Квантовохимическое исследование механизма каталитического восстановления оксидов азота на гетерополисоединениях вольфрама.....	527
<i>Леонков Д. А.</i> Рациональные методы кросс-сочетания терминальных ацетиленов	531
<i>Павлович Д. И.</i> Синтез 4-метоксибензизоксазол-5-карбоновых кислот и получение новых потенциальных противоопухолевых агентов на их основе	534
<i>Полын И. Ю.</i> Исследования методов синтеза дисперсных порошков ферритов с регулируемыми размерами и формой частиц.....	538
<i>Прокопчук В. А.</i> Разработка методики определения следовых количеств лактонов в аромообразующих веществах пищевой продукции	542
<i>Сысоенков М. Р., Алейникова А. А.</i> Термодинамические свойства 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида в конденсированном состоянии.....	546

ОБ ИТОГАХ ПРОВЕДЕНИЯ 80-Й НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ БГУ

А. А. КУХАРЕНКО, Ю. С. СЕМЕНЮК

С 10 по 20 мая 2023 года в Белорусском государственном университете была проведена юбилейная 80-я научная конференция студентов и аспирантов. Заслушивание докладов было организовано в офлайн и онлайн форматах на 298 секциях 18 подразделений университета. На конференции выступили с докладами 3147 участников из БГУ, других УВО Республики Беларусь и стран ближнего и дальнего зарубежья. В рамках конференции было прочитано 3268 докладов. В работе конференции также приняли участие учащиеся Национального детского технопарка, гимназий и лицеев г. Минска.

Количество аспирантов, соискателей, магистрантов, студентов первых – шестых курсов и учащихся, принявших участие в конференции, представлено на рис. 1.

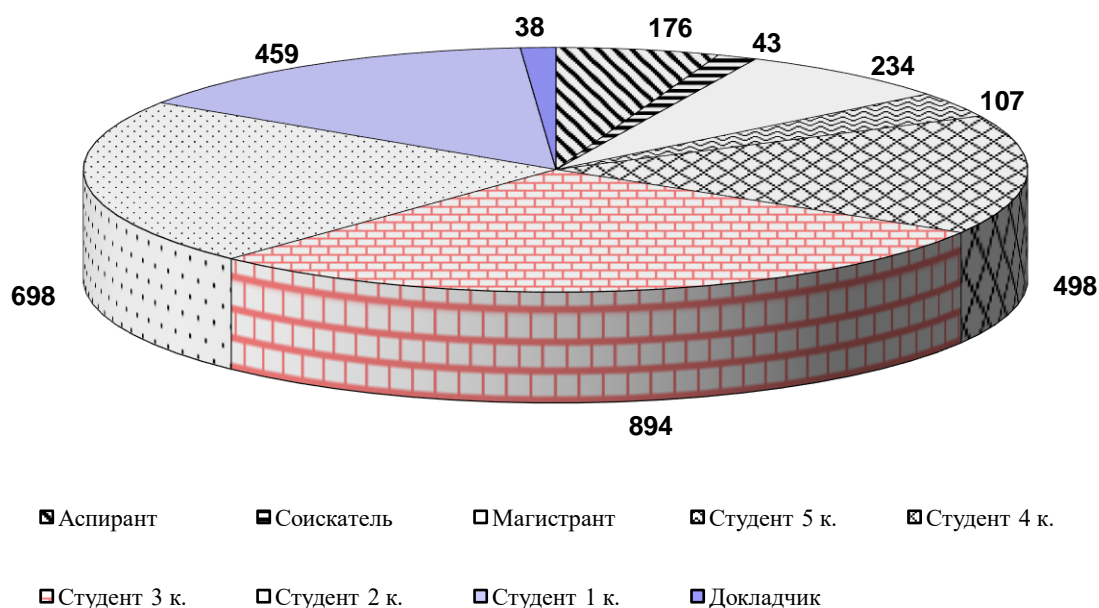
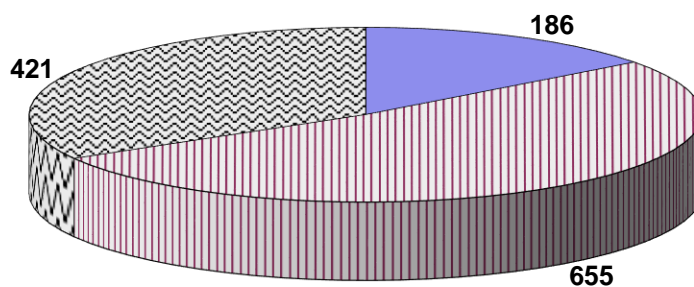


Рис. 1. Участники конференции

Качество докладов участников конференции в значительной степени определяется профессионализмом их научных руководителей. Количество докторов и кандидатов наук – научных руководителей участников конференции – представлено на рис. 2.



■ Д-р наук ■ Канд. наук ■ Без уч. ст.

Рис. 2. Количество докторов, кандидатов наук, научных работников и преподавателей без ученой степени, являвшихся научными руководителями участников конференции

Доклады подготовлены под руководством 1262 сотрудников БГУ. Статистические данные по научным руководителям участников конференции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Участие научных руководителей в подготовке докладов, представленных на конференции

Количество научных руководителей докладчиков	609	258	125	90	55	33	25	17	19	12	3
Количество докладов, подготовленных под руководством одного сотрудника БГУ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Окончание таблицы 1

Количество научных руководителей докладчиков	5	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Количество докладов, подготовленных под руководством одного сотрудника БГУ	12	13	14	15	16	17	18	19	24	25

Эффективность участия в конференции студентов и аспирантов разных подразделений БГУ отражена в таблице 2. Наибольшее количество участников (572 человека) являются студентами и аспирантами факультета международных отношений.

Количество участников конференции

Название подразделения БГУ	Кол-во участников
Факультет международных отношений	572
Юридический факультет	329
Факультет философии и социальных наук	314
ГУО «Институт бизнеса Белорусского государственного университета»	280
Экономический факультет	195
Филологический факультет	181
Факультет журналистики	179
Факультет социокультурных коммуникаций	161
Факультет географии и геоинформатики	153
Химический факультет	153
Исторический факультет	152
Механико-математический факультет	121
Физический факультет	120
Факультет радиофизики и компьютерных технологий	114
Биологический факультет	62
Кафедра педагогики и проблем развития образования	29
Факультет прикладной математики и информатики	26
ГУО «Институт теологии имени святых Мефодия и Кирилла» БГУ	6

Таким образом, 80-я научная конференция студентов и аспирантов БГУ является эффективной формой стимулирования научно-исследовательской работы студентов и аспирантов. В ходе конференции были определены авторы лучших докладов для последующего поощрения, а также отобраны работы для участия в конкурсе на лучшие научные работы студентов БГУ и XXX Республиканском конкурсе научных работ студентов учреждений высшего образования Республики Беларусь.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ДЕЙСТВИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ПЕЧЕНИ КРЫС В ОПЫТАХ *IN VITRO*

Д. В. Абакунчик, Я. Н. Артемчук, А. Ю. Семченко

dariaabakunchikws@gmail.com;

Научный руководитель — Н. М. Орел, кандидат биологических наук, доцент

В опытах *in vitro* на гомогенатах печени крыс установлено, что лазерное излучение, генерируемое аппаратом «Витязь», стимулирует деятельность антиоксидантных ферментов СОД и Кат, и усиливает процессы ПОЛ в печени крыс. Фенольные соединения Крапивы двудомной нормализуют активность СОД, а Ромашки аптечной и Шалфея лекарственного такого действия не оказывают. Эти же соединения исследованных растений достоверно ослабляют, но полностью не нормализуют эффекты лазерного облучения на активность каталазы, и достоверно тормозят процессы ПОЛ, инициированные НИЛИ.

Ключевые слова: СОД; каталаза; перекисное окисление липидов; фенольные соединения; Крапива двудомная; Ромашка аптечная; Шалфей лекарственный; низкоинтенсивное лазерное излучение.

Фенольные соединения (ФС) растений обладают антиоксидантной активностью и способны регулировать процессы ПОЛ, создавая оптимальные условия для нормального метаболизма и функционирования клеток и тканей [1]. Травы Крапивы двудомной (к.д), Ромашки аптечной (р.а), Шалфея лекарственного (ш.л) содержат достаточно специфичный спектр фенолов [2, 3, 4], однако влияние этих соединений на активность ферментов антиоксидантной системы и процессы ПОЛ в тканях животного организма практически не изучены.

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) определенных режимов и длин волн способно активировать процессы ПОЛ, и это его действие мы использовали в модели изучения антиоксидантных свойств фенольных соединений исследуемых растений в опытах *in vitro* [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа была выполнена на беспородных белых крысах самцах, массой 150-180 г, находившихся на стандартном рационе вивария. Все эксперименты проводили в соответствии с рекомендациями и требованиями работы с лабораторными животными.

ФС из сухого растительного сырья исследуемых растений экстрагировали, как описано [5]. Для решения поставленной задачи в гомогенаты печени вносили водную фракцию ФС – 0,05 мкг/мл, как раздельно, так и в сочетании с воздействием НИЛИ. Облучение гомогената проводили с помощью аппарата квантовой терапии «Витязь» [5]. Контролем служили показатели в интактном гомогенате. Концентрацию исследуемых веществ подбирали на основании данных, представленных [5,6].

Определение концентрации ФС в водном экстракте проводили методом [7]. Активность супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (Кат) определяли по [8, 9]. Концентрацию продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК-продукты) – по методу [10]. Концентрацию белка [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментов показали, что ФС к.д, р.а и ш.л при внесении в гомогенат печени крыс в концентрации 0,05 мкг/мл достоверно не изменяют активность СОД, и в среднем на 60–70 %% снижают концентрацию ТБК-активных продуктов. ФС к.д. и ш.л не изменяют, а р.а уменьшают активность Кат на 27,4% по отношению к контролю.

Воздействие на гомогенат НИЛИ понижает активность СОД на 25,4 %, повышает ее у Кат на 121,3 %, а также увеличивает концентрацию ТБК-активных продуктов на 164,7 % по отношению к контролю. что может свидетельствовать о активации процессов ПОЛ лазерном излучением используемых режимов и длин волн.

Данные наших экспериментов свидетельствуют о том, что внесение ФС к.д одновременно с облучением НИЛИ нормализуют активность СОД. ФС р.а в тех же условиях опыта снижают ее активность на 35,2 % по отношению контролю, а по отношению к изменениям при действии НИЛИ – незначительно на 13,2 %. Комплекс ФС ш.л не приводит к нормализации активности СОД при сочетании с действием НИЛИ, так как она остается ниже контрольных значений на 21,8 % и практически не изменяется по отношению к уровню сдвигов показателя после лазерного воздействия.

Из литературы известно, что взаимодействия СОД и Кат с активными формами кислорода после лазерной терапии уравнивают активность свободных радикалов. Это утверждение подтверждается экспериментами, в которых было доказано, что облучение НИЛИ с различной характеристикой длины волны (красный и инфракрасный диапазоны света) оказывает стимулирующее действие на активность СОД [5].

Исследование эффектов влияния ФС к.д при совместном действии с НИЛИ установило достоверное снижение активности Кат на 54,7 % по

отношению к показателю, полученному после облучения интактного гомогената, а по отношению к активности фермента в контроле она определяется выше в среднем на 66 %. ФС р.а в сочетании с НИЛИ также вызывает достоверное снижение на 64,2 % активности фермента по сравнению с изменением, вызванным воздействием лазера. По отношению к уровню контроля ее активность при комплексном воздействии определяется выше на 57,1 %. Аналогичная направленность изменений установлена при совместном действии ФС ш.л и НИЛИ, так как активность Кат определяется на 72,2 % выше контрольного уровня. Однако по отношению к ее сдвигам, вызванным фенолами или НИЛИ, она понижается в среднем на 42,3 % и 49,1% соответственно.

Фенолы к.д при совместном действии с излучением понижают уровень ТБК-активных продуктов на 20,1 %, несмотря на то что внесение только фенольной фракции к.д в гомогенат вызывает повышение их концентрации на 46,4 %. Фракция р.а тормозит процессы ПОЛ в гомогенате печени крыс при ее добавлении в сочетании с НИЛИ, так как уровень ТБК-активных продуктов при этом воздействии снижается на 191,3 % по сравнению с установленными после облучения. Добавление в гомогенат фенолов ш.л в сочетании с НИЛИ приводит к уменьшению концентрации ТБК- активных продуктов на 177,4 % при расчете к показателям, установленным при лазерном облучении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных *in vitro* установлено, что НИЛИ, генерируемое аппаратом «Витязь», стимулирует деятельность антиоксидантных ферментов СОД и Кат, и усиливает процессы ПОЛ в печени крыс.

Показано, что ФС Крапивы двудомной нормализует активность СОД при совместном воздействии с НИЛИ, Шалфея лекарственного – не изменяет, а Ромашки аптечной усиливает отрицательный эффект лазерного облучения на изучаемый показатель.

Фенольные фракции исследуемых растений оказывают достоверную тенденцию к нормализации изменения активности Кат, вызванного НИЛИ, при этом уровень сдвигов при совместном действии поддерживается достоверно выше контрольных значений.

Установлено, что фенольные соединения Крапивы двудомной, Ромашки аптечной и Шалфея лекарственного эффективно нормализуют процессы ПОЛ в гомогенате печени крыс, инициированные лазерным излучением, о чем свидетельствует существенное понижение концентрации ТБК активных продуктов при совместном их действии с

НИЛИ по отношению к эффекту, вызванному действием лазерного излучения.

Библиографические ссылки

1. *Alov, P.* Computational Studies of Free Radical-Scavenging Properties of Phenolic Compounds / *P. Alov, I. Tsakovska, I. Pajeva* // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2015. V. 15. P. 85-104.
2. *Тринеева О.В.* Состав метаболома крапивы двудомной, произрастающей на территории центрального черноземья (обзор) / *О.В. Тринеева, А.И. Сливкин, Е.Ф. Сафонова* // *Химия растительного сырья*. 2022. №2. С. 5-18.
3. *Косман В.М.* Сравнительное изучение содержания флавоноидов и кумаринов в некоторых препаратах ромашки аптечной / *В.М. Косман, О.Н. Пожарицкая, А.Н. Шиков, В.Г. Макаров* // *Химия растительного сырья*. 2015. №1. С. 107-112.
4. *Рябокоть Л.П.* Идентификация и определение биологически активных веществ шалфея лекарственного *Salvia officinalis* L., полученных в условиях субкритической экстракции / *Л.П. Рябокоть, В.В. Милевская, Н.В. Киселева, З.А. Темердашев* // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2020. Т. 20, № 1. С. 22-30.
5. *Орёл Н.М., Лисенкова А.М., Братченя А.М., Жолудева Д.А.* Состояние антиоксидантной активности и процессов перекисного окисления липидов в печени крыс при действии лазерного излучения в сочетании с фенолами растительного происхождения в опытах *in vitro* // *Лазерно-информационные технологии: труды XXX Международной научной конференции 12-17 сентября 2022 г.; г. Новороссийск, 2022*. С.36-38.
6. *Granica S.* Antioxidant and anti-inflammatory flavonol glucuronides from *Polygonum aviculare* L. / *S. Granica [et.all]* // *Fitoterapia*. 2013. V.91. P.180-188.
7. *Денисенко, Т.А.* Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу / *Т.А. Денисенко, А.Б. Вишникин, Л.П. Цыганок* // *Аналитика и контроль*. 2015. Т. 19, № 4. С. 373-380.
8. *Костюк, В.А.* Простой и чувствительный метод определения активности супероксиддисмутазы, основанный на реакции окисления кверцетина / *Костюк, В.А., Потапович, А.И., Ковалева, Ж.В.* // *Вопросы мед. Химии*. 1990. Т.36, №2. С.88-91.
9. *Beers, R.F.* A spectrophotometric method for measuring the break-down of hydrogen peroxide by catalase / *R.F. Beers, I.W. Sizer* // *J Biol Chem*. 1952. V.195, n.1. P.133-40.
10. *Стальная И.Д.* Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / *И.Д. Стальная, Т.Г. Гаришвили; под ред. В.Н. Ореховича* // *М.: Медицина*. 1977. С. 66-68.
11. *Peterson G.L.* A simplification of the protein assay method of Lowry et al. which is more generally applicable // *Anal. Biochem*. 1977. Vol. 83, № 2. P.346-356.

ИНДУКЦИЯ ЗАПРОГРАМИРОВАННОЙ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СМЕСЕЙ, ГЕНЕРИРУЮЩИХ ГИДРОКСИЛЬНЫЕ РАДИКАЛЫ, НА ФОНЕ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕТАЛЛАМИ-МАКРОЭЛЕМЕНТАМИ

О. Аманбердиева, Д. А. Мазурова

v.mackievic@gmail.com;

Научный руководитель — В. С. Мацкевич, старший преподаватель

Запрограммированная клеточная гибель (ЗКГ) является активным генетически контролируемым процессом, приводящим к избирательному уничтожению нежелательных или поврежденных клеток у эукариот. Активные формы кислорода (АФК) играют особую роль в клеточной сигнализации и запуске ЗКГ. Однако, в настоящий момент мало известно о влиянии уровня металлов-макроэлементов на развитие окислительного стресса в клетках растений. В данной работе было показано, что увеличение уровня Ca^{2+} и K^+ во внешнем растворе снижало ЗКГ при обработке Cu/a , что вероятно опосредовано их ролью в запуске адаптивных реакций. В тоже время повышение уровня Mg^{2+} усиливало повреждающее действие HO^{\bullet} .

Ключевые слова: запрограммированная клеточная гибель; НАДФН-оксидаза; АФК; металлы-макроэлементы; окислительный стресс; абиотический стресс; арабидопсис; корень.

ВВЕДЕНИЕ

Запрограммированная клеточная гибель (ЗКГ) играет важную роль в выполнении программы индивидуального развития, ростовых процессах, фитоиммунитете, поддержании тканевого гомеостаза, а также в ответной реакции организма на стрессовые воздействия [1]. Реализация ЗКГ сопровождается изменениями морфологии клетки, модификацией структуры ядра и цитоплазмы, конденсацией хроматина, повреждением мембран [2]. Также наблюдается активация каспазоподобных протеаз, фитоспаз, эндонуклеаз и ДНК-ладдеринг [2-4]. Особую роль в ЗКГ играют активные формы кислорода (АФК), образующиеся в результате одноэлектронного восстановления O_2 до $\text{O}_2^{\bullet-}$ и его дальнейших превращений. Усиленное образование АФК представляет серьезную угрозу для организма за счёт подавления активности ферментов, мутаций, дегградации биополимеров и изменений мембранной проницаемости [3]. В настоящий момент мало известно о влиянии уровня металлов-макроэлементов на развитие окислительного стресса в клетках растений. Понимание этого процесса имеет важное значение для фундаментальной науки и для создания мероприятий по защите сельскохозяйственных культур от стресс-факторов.

Целью настоящей работы было выявить особенности развития симптомов ЗКГ, индуцированной гидроксильными радикалами, в клетках корня арабидопсиса на фоне различной обеспеченности металлами-макроэлементами.

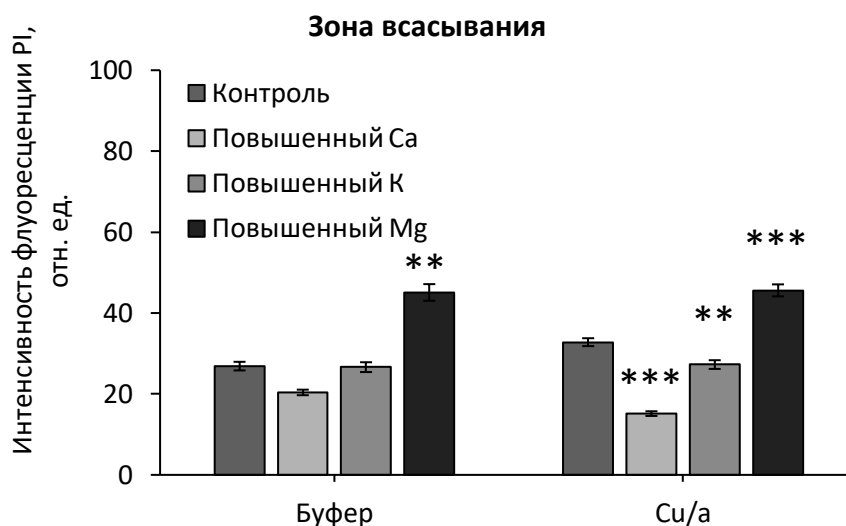
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были использованы корни *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Семена арабидопсиса обрабатывались 15 мин 20% раствором «Domestos», промывались dH₂O 7 раз и высаживались на поверхность среды (100% среда Мурашиги и Скуга, 1% сахароза, 0,35% фитогель, рН 6,0) в чашках Петри при помощи стерильных зубочисток по 10-15 семян в ряду. Затем чашки выдерживались 2 сут при 4°C в темноте, после чего помещались в ростовой кабинет с контролируруемыми условиями (16 ч света и 8 ч темноты, 22°C), где выращивались в течение 7 сут. Индукция ЗКГ проводилась 15-часовой обработкой смесями, генерирующими гидроксильные радикалы (Cu/a, ммоль/л): 1 CuCl₂, 1 аскорбат, 1 H₂O₂ рН 6,0. Контрольные образцы выдерживались в буферном растворе (ммоль/л): 0,1 KCl, 0,1 CaCl₂, 1 Tris/ 2 Mes рН 6. Повышенные уровни металлов-макроэлементов вводили в буферный раствор, итоговая концентрация Ca²⁺ и Mg²⁺ доводилась до 2 ммоль/л, K⁺ – до 5 ммоль/л. Анализ жизнеспособности клеток корня проводился с помощью йодида пропидия (PI). После обработки растения помещались в 10 мг/мл PI на 10 мин, затем промывались 3 раза в буферном растворе и перемещались на слайды. Регистрирование флуоресценции PI проводилось при помощи микроскопа Nikon Eclipse TS100 ($\lambda_{ex} = 535$ нм; $\lambda_{em} = 615$ нм). Анализ фотографий проводился в приложении ImageJ.

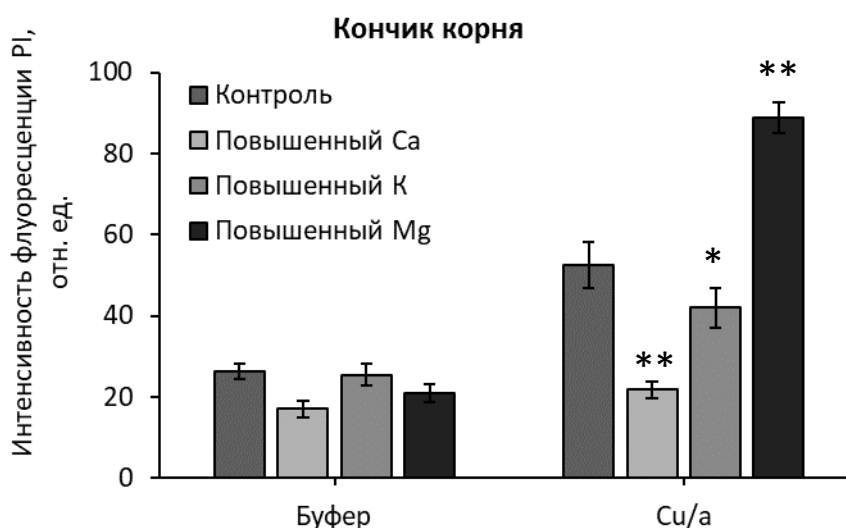
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При обработке смесью Cu/a на протяжении 15 ч наблюдалось увеличение флуоресценции PI по сравнению с контролем в зрелой зоне корня на 20%, в кончиках корня на 80% (рисунок), что свидетельствует о повреждении мембран и снижении жизнеспособности клеток. Добавление ингибитора НАДФН-оксидаз (дифенилениодония хлорид, DPI) в концентрации 1 мкмоль/л полностью нивелировало индукцию окислительных повреждений HO[•]. Следовательно, НАДФН-оксидазы играют важную роль в индукции ЗКГ при окислительном стрессе. Следует отметить, что добавление Cu/a в среду выращивания оказывает ингибирующее действие на ростовые процессы как у модельных растений *A. thaliana* (начиная с 0,1 ммоль/л), так у важного сельскохозяйственного вида *Triticum aestivum* (начиная с 0,01 ммоль/л).

А



Б



Интенсивность флуоресценции PI в клетках корня арабидопсиса при обработке смесями, генерирующими гидроксильные радикалы (Cu/a) на фоне различной обеспеченности металлами-макроэлементами ($X \pm Sx$; $n = 50-60$). Достоверность рассчитывалась по отношению к контролю: ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$

Как видно из панели А повышение уровня Ca^{2+} до 2 ммоль/л вызывало снижение флуоресценции PI в зрелой зоне корня на 30%, HO^{\bullet} -индуцированная флуоресценция была на 10% ниже по сравнению с аналогичной реакцией на фоне обычного буфера, содержащего 0,1 ммоль/л Ca^{2+} . Добавление 5 ммоль/л K^{+} не имело значимого эффекта при отсутствии стресса, но снижало гидроксил-индуцированную флуоресценцию PI на 17%. Введение 2 ммоль/л Mg^{2+} в буферную смесь увеличивало свечение PI на 60% по сравнению с контролем. Аналогичная

интенсивность наблюдалось в данной системе при добавлении гидроксильных радикалов, что примерно на 40% больше, чем в случае действия HO^\bullet в обычном буфере. В случае кончика корня (панель Б) были получены схожие эффекты – при повышенном уровне Ca^{2+} наблюдалось снижение флуоресценции PI на 30% как в контроле, так и при добавлении Cu/a . Повышение уровня K^+ снижало базовую флуоресценцию PI на 8-10%, HO^\bullet -индуцированное свечение PI также снижалось на 20%. Повышение уровня Mg^{2+} не оказывало влияние на изменение жизнеспособности клеток в зоне деления, флуоресценция PI была на уровне контроля. Однако при добавлении Cu/a на фоне повышенного Mg^{2+} наблюдалось 4-кратное увеличения флуоресценции PI. Следовательно, магний усиливал повреждающий эффект HO^\bullet .

Таким образом, нами было показано: 1) Обработка растений HO^\bullet нарушает целостность мембран и снижает общую жизнеспособность клеток корня, при этом зона деления демонстрирует большую чувствительность по сравнению со зоной всасывания. 2) Увеличение уровня Ca^{2+} и K^+ во внешнем растворе снижает интенсивность флуоресценции PI при обработке Cu/a , что вероятно опосредовано их ролью в запуске адаптивных реакций. 3) Повышение уровня Mg^{2+} усиливает повреждающее действие гидроксильных радикалов. Видимо, избыток Mg^{2+} приводит к замещению внеклеточного Ca^{2+} , который регулирует стабильность клеточной стенки и плазматической мембраны. Кроме того, токсическое действие Mg^{2+} может быть обусловлено нарушением сигнальных путей. 4) При ведении ингибитора НАДФН-оксидаз (DPI) совместно с Cu/a наблюдается снижение токсического эффекта HO^\bullet . Следовательно, НАДФН-оксидазы играют ключевую роль в индукции ЗКГ при окислительном стрессе.

Библиографические ссылки

1. *Kuriyama, H.* Developmental programmed cell death in plants / *H. Kuriyama, H. Fukuda* // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2002. – Vol.5. – P.568–573.
2. *Фомичева, А.С.* Программированная клеточная смерть у растений / *А.С. Фомичева, А.И. Тужиков* // *Успехи биологической химии*. – 2012. – Т. 52. – С. 97-126.
3. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K^+ -permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment / *Demidchik [et al.]* // *Journal of Experimental Botany*. – 2015. – Vol. 65, № 5. – P. 1259-1270.
4. Ингибирование ростовых процессов и индукция запрограммированной клеточной гибели в корне *Helianthus annuus* L. под действием ионов никеля и никель-гистидиновых комплексов / *В.С. Мацкевич. и др.* // *Экспериментальная биология и биотехнология* – 2020. – Т. 1. – С. 11-19.

АРХИТЕКТОНИКА КОЖИ ЧЕЛОВЕКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ

А. П. Антонович

antonovicandrej87@gmail.com;

Научный руководитель — М. А. Капустин, заведующий учебной лабораторией

Определение детектируемых параметров регенерации кожных покровов является необходимым для разработки и внедрения в практику методов экспресс оценки течения процесса ранозаживления. Целью работы является анализ возможности применения электромагнитного излучения для оценки регенерации ран. Описанный метод является перспективным и может быть использован для исследований в области тканевой инженерии, регенеративной медицины и дерматологии.

Ключевые слова: кожа; кератогиалин; клетки Лангерганса; Лангеровские линии; ранозаживление; коллаген; тирозин.

Кожа является крупнейшим органом человеческого тела и представляет собой не просто механический барьер, а является уникальной композитной конструкцией [1, 2]. В структуре эпидермиса дифференцируются 5 слоев – базальный, шиповатый, зернистый, блестящий и роговой. Клетки базального и шиповатого слоев являются наиболее активно пролиферирующими и обеспечивают обновление клеток вышележащих слоев. Также в этих слоях локализованы меланоциты. Зернистый слой эпидермиса представлен несколькими слоями уплощенных клеток, содержащих крупные гранулы кератогиалина, каждая из которых представляет собой композит 3 белков: профилагрина, лорикрина и трихогиалина [3]. При дифференцировке клеток зернистого слоя кератогиалин превращается в кератин. Молекула α -кератина в нативной конформации представляет собой фибриллу, в то время как кератогиалин организован в виде гранул. В ходе процесса кератинизации, механизм которого слабо изучен, белки, входящие в состав зерен кератогиалина, декомпактизируются. При этом формируется две или три отдельные трихогиалиновые фибриллы, которые агрегируют, образуя протофибриллы, ассоциирующиеся в кератин. При этом роль матричного «клея», способствующего объединению фибрилл выполняет профилагрин, который дефосфорилируется в филагрин. Лорикрин способствует постепенному ороговению клеток [3].

Блестящий слой представлен 3-4 слоями плоских безъядерных клеток, содержащих много белка элаидина, обеспечивающего соответствующий оптический эффект. Самым верхним слоем является

роговой, представленный постоянно слущивающимися мертвыми клетками, содержащими зрелый α -кератин. Дерма представляет собой двухслойную соединительнотканную структуру, в структуре которой выделяют сосочковый и сетчатый слои. Дерма без резкой границы переходит в подкожную жировую клетчатку или гиподерму.

Компоненты, обеспечивающие иммунные свойства кожи представлены клетками Лангерганса, клетками Гринштайна, Т-лимфоцитами и тучными клетками. Ведущую роль в формировании иммунных свойств кожи играют клетки Лангерганса, осуществляющие фагоцитоз антигенных частиц и передачу их внутриэпидермальным Т-хелперам, секрецию интерлейкинов 1 и 6, образование лизоцима и интерферона. Они также обеспечивают правильную послойную организацию кератиноцитов. Клетки Гринштайна осуществляют лизис поврежденных кератиноцитов, являются антигенпредставляющими клетками для Т-супрессоров [4].

Накопленные данные о белковых компонентах, макро и микроструктуре слоев кожи позволили разработать инновационные методы стимуляции и оценки протекающих в ней репарационных процессов. Особый интерес представляет метод оценки процесса ранозаживления с использованием комбинированных источников и детекторов УФ-излучения [6].

В качестве маркеров клеточной пролиферации могут выступать количество пепсин-гидролизумых поперечных связей в структуре коллагена и концентрация в клетках аминокислоты тирозина, позволяющие отслеживать процессы формирования и созревания грануляционной ткани и эпителизации соответственно. В спектрах поглощения и излучения тирозина пиковые значения приходятся на длины волн 295 и 340 нм. Пики поглощения и излучения электромагнитного излучения (ЭМИ) пепсин-гидролизумыми поперечными связями коллагена приходятся на 335 и 390 нм.

При разработке данного метода с использованием различных по питательности сред на основе DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) было выращено четыре образца человеческой кожи [6]. Два из образцов выращивали на обедненной питательными веществами среде, остальные – на полноценной. На каждый из образцов были нанесены раны, две из которых являлись сквозными, две – слепыми. Процесс ранозаживления для образцов на полноценной среде принимался за нормальное течение раневого процесса, а культивируемых на обедненной среде – за осложненное, при котором формируются частично незакрывающиеся раны [6]. Установка-детектор представляет собой комплекс источника света с системой из 7 фильтров, что позволяет сделать поток света

монохромным и направленным, и фотоаппарата со светопоглощающим фильтром [6].

При сравнении образцов кожи, выращенных на полноценной и обедненной средах было показано различие в интенсивности флуоресценции, на длинах волн поглощения/излучения 295/340 нм, обусловленных различиями в количестве синтезированного кератиноцитами тирозина. С 1 по 14 день течения процесса ранозаживления видимых изменений спектральных характеристик не наблюдалось ни для одного из образцов. У образцов, выращенных на обедненной среде флуоресценция практически не обнаруживалась. После 2-х недель течения раневого процесса интенсивность и распределение УФ-свечения на образцах в полноценной среде изменились. Интенсивность флуоресценции стала значительно выше по периферии раневого канала, что свидетельствовало о начале активной пролиферации кератиноцитов. Проведенный в ходе течения процесса эпителизации анализ интенсивности флуоресценции в различных участках раны показал, что наиболее активная пролиферация идет у краев раны, и в процессе миграции клеток к центру скорость деления постепенно снижается, что приводит к снижению интенсивности флуоресценции. При изучении образцов, выращиваемых на обедненной среде, были выявлены аналогичные изменения после 2-х недель течения раневого процесса, однако интенсивность протекающих процессов была значительно ниже [6].

Наличие в структуре пепсин-гидролизуемых поперечных связей обуславливает способность коллагена к флуоресценции на длине волны 390 нм после облучения ЭМИ с длиной волны 335 нм. При анализе динамики ранозаживления также было показано различие по данному показателю для образцов с полноценной и питательными средами. Согласно полученным данным, интенсивность флуоресценции на образцах с полноценной средой начала изменяться после 8-го дня течения процесса ранозаживления. Возрастание флуоресценции в области раневого канала связано с активным формированием грануляционной ткани [7]. Характерно, что с течением времени наблюдалось снижение интенсивности флуоресценции для данных образцов, что обусловлено образованием поперечных сшивок в процессе созревания грануляционной ткани. Данные результаты достоверно отражают зависимость интенсивности флуоресценции коллагена от степени его сшитости поперечными связями. Изменения спектральных характеристик образцов, выращенных в условиях полноценной среды, как и в первом случае были значительно более выраженными по сравнению с образцами, выращенных в модельных условиях частично незакрывающихся ран [6].

Обнаруженные изменения в спектральных свойствах ран коррелируют с морфологическими особенностями раневого ложа образцов кожи, выращенных на полноценной и обедненной среде. Так, в случае образцов, испытывающих трофический дефицит, наблюдаются значительно большие линейные размеры нерегенерировавшей области, чем для образцов, выращенных на полноценной среде. Диаметр и глубина ран на образцах с нормальным течением раневого процесса достоверно уменьшался [6].

Следует отметить, что для образцов с нанесенными сквозными повреждениями изменения спектральных характеристик отмечались значительно позднее, чем для образцов с нанесенными слепыми ранами. Это обусловлено тем, что на модели слепой раны формирование грануляционной ткани наступает значительно раньше, а в случае сквозных повреждений процесс формирования грануляционной ткани затягивается, так как требуется восстановление дермы.

Описанный метод оценки течения раневого процесса является перспективным и заслуживает большого внимания, поскольку является неинвазивным, бесконтактным, объективным и может быть использован для исследований в области тканевой инженерии, регенеративной медицины и дерматологии.

Библиографические ссылки

1. *Kanitakis, J. Structure of normal human skin/ J. Kanitakis // Eur. J. Dermatology. – 2002. Vol.12, № 5. P. 1 -12.*
2. *Igarashi, T., Nishino, K., Nayar. S. K. The Appearance of Human Skin/ T. Igarashi, K. Nishino, S. K. Nayar // Foundations and Trends. 2007. Vol. 11, № 6. P. 1-66.*
3. *Nguyen, H. T., Mitsuaki O., Hara E. S. Type XVIII Collagen Modulates Keratohyalin Granule Formation and Keratinization in Oral Mucosa // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20. P. 1 - 14.*
4. *Clayton, K., Vallejo, A. F., Davies, J. Langerhans Cells – programmed by the Epidermis / K. Clayton, A. F. Vallejo, J. Davies // Frontiers in Immunology. 2017. Vol. 8, № 16. P. 1 - 14.*
5. *Abdallah, F., Mijouin, L., Pichon, C. Skin Immune Landscape: Inside and Outside the Organism / F. Abdallah, L. Mijouin, C. Pichon, // Hindawi. 2017. № 1. P. 1 - 17.*
6. *Wang, Y., Gutierrez-Herrera, E., Ortega-Martinez, A. UV fluorescence excitation imaging of healing of wound in skin: evaluation of wound closure in organ culture model / Y. Wang, E. Gutierrez-Herrera, A. Ortega-Martinez // Lasers in Surgery and Medicine. 2016. Vol. 48, № 2. P. 678–685.*
7. *Антонович, А.П., Капустин, М.А. Физиолого-биохимические и молекулярные механизмы ранозаживления / А.П. Антонович, М.А. Капустин // Материалы 79-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета. 2022. Ч.1. С. 22–27.*

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ Ni^{2+} И Ni -ГИСТИДИНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА РОСТ И АРХИТЕКТУРУ КОРНЕЙ *HORDEUM VULGARE*

К. И. Арзамазкина, А. Д. Герман

v.mackievic@gmail.com;

Научный руководитель – В. С. Мацкевич, старший преподаватель

Одной из самых важных проблем экологии является загрязнение почв тяжелыми металлами. Среди них можно выделить никель, так как он поступает в большом количестве в окружающую среду из промышленных отходов и бытовых изделий. При воздействии никеля в растениях синтезируется чрезмерное количество активных форм кислорода (АФК), оказывающих повреждающее действие. В ответ на Ni -стресс растения выделяют аминокислоту гистидин. В данной работе было протестировано влияние Ni^{2+} и Ni -гистидиновых комплексов на рост и архитектуру корней *Hordeum vulgare*.

Ключевые слова: никель; гистидин; ячмень; рост; корень; проростки.

ВВЕДЕНИЕ

Никель является одним из основных микроэлементов высших растений и жизненно важным компонентом для их роста [1]. Никель входит в состав некоторых пептид-деформилаз, глиоксалаз и редуктаз. Поэтому он участвует в разных физиологических процессах: образовании метана, водородном обмене [2]. Кроме того, никель является кофактором фермента уреазы [3]. Несмотря на то, что Ni является жизненно важным микроэлементом высших растений, его чрезмерная концентрация оказывает токсическое действие на организм растения: никель вызывает замедление и снижение роста побегов и корней и, соответственно, снижает значение их общей биомассы [4]. Помимо этого, слишком высокое содержание Ni в растениях приводит к хлорозу и некрозу, а также негативно сказывается на процессах фотосинтеза и дыхания [5]. Было выяснено, что, в первую очередь, в ответ на повышенные уровни никеля в среде растения выделяют аминокислоту гистидин, которая способна частично нейтрализовать его воздействие [4]. Гистидин обладает способностью к перехвату пероксильных радикалов, предотвращению карбоксилирования белков и образования белковых сшивок [5]. Антиоксидантная активность гистидина опосредована хелатированием ионов металлов, поглощением активных форм кислорода и азота, а также путем секвестрации передового гликирования и прогрессирующего липоксидирования [6].

Цель данной работы – протестировать влияние Ni^{2+} и Ni - гистидиновых комплексов на рост и архитектуру корней высших растений на примере ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

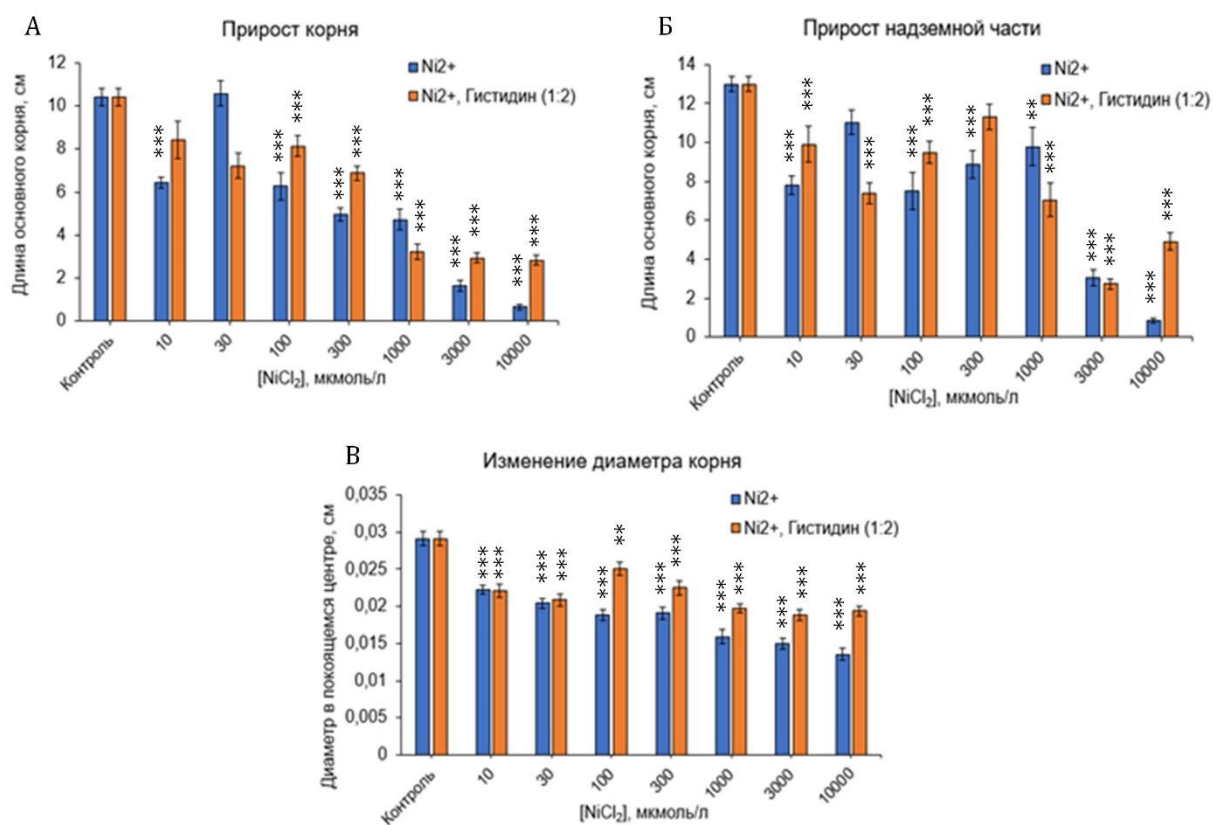
В качестве объекта исследования использовались растения ячменя (*Hordeum vulgare*). Проростки растения выращивались рулонным методом. Семена ячменя стерилизовались 10% раствором гипохлорита натрия (Белизна) на протяжении 10 мин, промывались под проточной водой и выкладывались на лист фильтровальной бумаги на расстоянии примерно 1 см от верхнего края, затем сверху размещался еще один лист, и все они вместе с семенами скручивались в рулоны, которые помещались в стаканы с питательной средой, содержащей 10% стандартный набор солей Мурасиге и Скуга. В данную среду вводились растворы Ni^{2+} ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и Ni-гистидин, pH доводился до 6,0. Затем стаканы с рулонами ставились в стерильную камеру с поддерживаемым освещением (16 ч свет, 8 ч темнота) и температурным режимом (22°C). На 7 сут регистрировалась длина основного корня, расчеты производились при помощи приложения *ImageJ*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Добавление в среду Ni^{2+} оказывало ингибирующий эффект на рост корней *Hordeum vulgare*, начиная с концентрации 0,01 мМ (рисунок 1, А). При добавлении никеля в концентрации 0,3 мМ оказывался полублетальный эффект. Максимальное ингибирующее действие наблюдалось при повышенных концентрациях Ni^{2+} (3 мМ и 10 мМ). В 10 мМ наблюдалось почти полное торможение ростовых процессов корня: на 93,6% по сравнению с контролем. Добавление гистидина оказывало протекторное действие, особенно при повышенных концентрациях никеля, равных 3 мМ и 10 мМ. При этих концентрациях ингибирующий эффект никеля снижался на 20-30%. В случае изменения длины проростков негативное влияние никеля проявлялось схожим образом, начиная с концентрации 0,01 мМ (рисунок, Б). Уменьшение длины побегов более чем на 50% происходило при концентрации Ni^{2+} 0,3 мМ, а максимальное негативное влияние оказывалось при 10 мМ (на 91,5%). При обработке надземной части ячменя Ni^{2+} вместе с гистидином ингибирующий эффект, оказываемый Ni^{2+} , был меньше.

Так как корни растений продемонстрировали большую чувствительность никелевому стрессу, были также проанализированы изменения архитектуры корня: диаметр корня в зоне покоящегося роста,

диаметр в зоне всасывания и длина атрихобластов. Проведенные эксперименты показали, что наиболее подверженным никелевому стрессу оказался диаметр корня в зоне покоящегося роста. Он уменьшался с ростом концентрации металла. Максимальное ингибирование утолщения корня в этой зоне наблюдалось при концентрации 10 мМ Ni^{2+} : ширина корня снизилась на 53,4% по сравнению с контролем. Добавление гистидина частично компенсировало негативное влияние никеля: на 20% (рисунок, В). Чуть менее чувствительным параметром в случае архитектуры корня оказалось снижение длины атрихобластов, а наименее чувствительным по отношению к добавлению никеля в среду оказалось изменение диаметра в зоне всасывания. При максимальной концентрации никеля (10 мМ) происходило уменьшение данных параметров на 40%.



Изменение длины корней ячменя (А); длины надземной части ячменя (Б); диаметра корня ячменя в зоне покоящегося центра (В) в ответ на Ni^{2+} и Ni^{2+} -гистидин ($X \pm Sx$).

Достоверность различий рассчитывалась по сравнению с контролем при помощи ANOVA теста: *** – $p < 0,001$; ** – $p \leq 0,01$

Также было протестировано накопление биомассы корней и надземной части при выращивании ячменя на среде с никелем и никель-гистидином. Ингибирующий эффект, оказываемый никелем на изменение биомассы, достоверно наблюдается при более высоких концентрациях

Ni²⁺, начиная с 0,3 мМ в случае сырой массы и сухой массы надземной части, и 0,03 мМ в случае сухой массы корня. Введение гистидина частично снижало эффект, оказываемый никелем.

Таким образом, было показано, что никель оказывает ингибирующее действие на рост корней и наземной части ячменя, при этом корни демонстрируют большую чувствительность к данному металлу. Добавление гистидина оказывает протекторное действие в условиях никелевого стресса. Вероятно, с одной стороны, гистидин способен хелатировать никель, тем самым уменьшая его доступность для растения, а, с другой стороны, никель совместно с гистидином могут формировать редокс-активные комплексы, способные индуцировать синтез активных форм кислорода, который может являться сигналом для запуска адаптивных реакций в клетках растений.

Библиографические ссылки

1. Co Silicon Alleviates Nickel-Induced Oxidative Stress by Regulating Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems in Mustard Plants / *E. F. Abd Allah [et al.]* // Journal of Plant Growth. 2019. Vol. 38, № 17. P. 1-14.
2. Ингибирование ростовых процессов и индукция запрограммированной клеточной гибели в корне *Helianthus annuus* L. под действием ионов никеля и никель-гистидиновых комплексов / *В.С. Мацкевич. и др.* // Экспериментальная биология и биотехнология 2020. Т. 1. С. 11-19.
3. Short-term nickel residual effect in field-grown soybeans: nickel-enriched soil acidity amendments promote plant growth and safe soil nickel levels. / *B. W. Rodak [et al.]* // Archives of Agronomy and Soil Science. 2021. P. 1-16.
4. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution / *H. Rahman [et al.]* // Plant Nutrition. 2005. № 28. P. 393-404.
5. Антиоксидантные свойства аминокислот и образование долгоживущих радикалов белка под действием рентгеновского излучения / *И.Н. Штаркман* // Автореферат диссертации кандидата биологических наук по специальности 03.00.02. – Пушкино, 2008. – 22 с.
6. *Holeček, M.* Histidine in Health and Disease: Metabolism, Physiological Importance, and Use as a Supplement / *M. Holeček* // Nutrients. 2020. Vol. 12, № 3. P. 848.

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ АЦК-ДЕЗАМИНАЗЫ НА ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ СРЕДЫ ВЫСОКИМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ НИКЕЛЯ

Н. Ю. Бирюкова, Д. В. Стельмашенко

rusaknatalie12@gmail.com, darastelmashenko@gmail.com;

Научный руководитель – Е. А. Храмова, кандидат биологических наук, доцент

В данной статье рассматривается влияние бактериальной АЦК-дезаминазы на повышение устойчивости трансгенных растений *Nicotiana tabacum* линии 10.46 к абиотическому стрессу, вызванному загрязнением среды высокими концентрациями никеля.

Ключевые слова: трансгенные растения; АЦК-дезаминаза; этилен; *acdS*-ген; *Nicotiana tabacum*; *Pseudomonas putida* В-37.

ВВЕДЕНИЕ

Этилен – важный фитогормон, который стимулирует рост и развитие растений. Однако при выращивании растений в условиях стресса его концентрация резко повышается, что пагубно влияет на процессы жизнедеятельности всего растительного организма. Такое избыточное количество фитогормона получило название «стрессовый этилен».

Фермент АЦК-дезаминаза, встречающийся в некоторых почвенных и ризосферных бактериях, способен расщеплять предшественник этилена – АЦК, в результате чего концентрация этилена резко снижается. Данный фермент не встречается в высших растениях.

Ранее были получены трансгенные растения *Nicotiana tabacum*, несущие *acdS*-ген бактерий *Pseudomonas putida* В-37, который кодирует фермент АЦК-дезаминазу.

Экспрессия *acdS*-гена, кодирующего АЦК-дезаминазу, в трансгенных растениях является альтернативным подходом к преодолению этилен-индуцированного стресса.

Токсическое действие избытка тяжелых металлов – один из важнейших стресс-факторов для растений. Среди тяжелых металлов все большее внимание уделяется никелю, уровень загрязнения которым все время возрастает. Никель в небольших количествах необходим для нормального функционирования растений, однако высокие концентрации никеля оказывают на большинство растений сильное токсическое действие.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Из ранее полученных трансгенных растений *N. tabacum* линии 10.46, была выделена тотальная ДНК и клеточная РНК, которую очищали от геномной ДНК. Очищенную РНК использовали в качестве матрицы для построения кДНК. С полученной кДНК была проведена ПЦР со специфическими праймерами к целевому гену, а также РВ-ПЦР. Определялась удельная активность фермента АЦК-дезаминазы [1,2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Первым этапом работы был подбор концентрации никеля, в ходе которого было выяснено, что при содержании никеля в среде $1 \cdot 10^{-3}$ М трансгенные растения погибали, а при концентрациях $5 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-4}$ М растения выживали. В связи с этим, дальнейшие исследования проводили при максимальной концентрации никеля при которой растения выживали – $5 \cdot 10^{-4}$ М.

Для отбора трансгенных растений семена высевали на селективную среду, несущую канамицин в концентрации 50 мкг/мл.

Проростки, выросшие на MS-среде с канамицином переносили на среду, содержащей никель. Одновременно с трансгенными растениями высевались и нетрансгенные.

Проростки выращивали при температуре $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течении 16-часового светового дня.

Для доказательства наличия *acdS*-гена в геноме выращенных растений была выделена из них ДНК и проведена ПЦР со специфическими праймерами к *acdS*-гену.

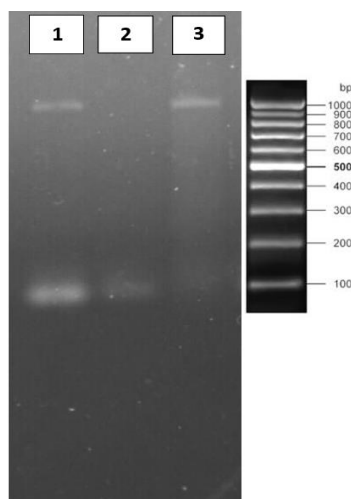


Рис. 1. Фрагмент целевого гена *acdS*, полученный при помощи ПЦР: 1 – фрагмент *acdS*-гена из трансгенного растения *N. tabacum* линии 10.46; 2 – нетрансгенный *N. tabacum*; 3 – фрагмент *acdS*-гена из плазмиды pBI121

В ходе ПЦР были получены фрагменты ДНК размером 1000 п.н., которые соответствуют размеру целевого гена. Таким образом, доказано

наличие *acdS*-гена бактерий *Pseudomonas putida* В-37 в геноме трансгенных растений *Nicotiana tabacum* линии 10.46 (рис. 1).

Чтобы узнать насколько эффективно происходит экспрессия *acdS*-гена бактерий *Pseudomonas putida* В-37 в растениях *Nicotiana tabacum* линии 10.46, провели ПЦР в реальном времени. Для этого необходимым этапом работы являлось выделение РНК.

Очищенную РНК использовали в качестве матрицы для обратной транскрипции. На первом этапе к РНК, растворенной в деионизированной воде, добавляли ДНКазу для очистки пробы от ДНК.

Для проведения ПЦР в реальном времени мы использовали набор реактивов (ArtMix-RT), который не требует отдельного синтеза кДНК, так как данный процесс происходит непосредственно в амплификаторе.

В качестве отрицательного контроля использовали пробу, которая в своем составе содержит все составляющие реакционной смеси кроме матрицы. В качестве положительного контроля использовали ген домашнего хозяйства *Ef-1 α* . Это ген альфа субъединицы фактора элонгации трансляции.

Исходя из полученных результатов (рис. 2) можно сделать вывод, что экспрессия целевого гена трансгенной линии табака 10.46 происходит на уровне сопоставимом с референсным геном домашнего хозяйства. Что свидетельствует об эффективной экспрессии *acdS*-гена бактерий *Pseudomonas putida* В-37 в геноме растений *Nicotiana tabacum*.

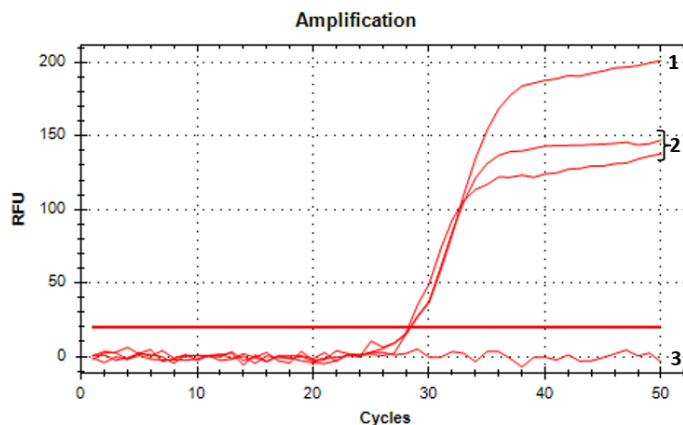


Рис. 2. Определение эффективности экспрессии *acdS*-гена с помощью ПЦР в реальном времени:
1-положительный контроль; 2 – образец, соответствующий целевому гену; 3 – отрицательный контроль

Для доказательства образования функционально-активного белкового продукта данного гена необходимо измерение активности фермента АЦК-дезаминазы, кодируемой *acdS*-геном [3].

Активность фермента была измерена как в опытных растениях трансгенного табака, выращенных в условиях абиотического стресса и в

условиях отсутствия стресса, так и в нетрансгенном табаке, выращенном в аналогичных условиях.

Согласно полученным данным, активность АЦК-дезаминазы в листьях и корнях трансгенного табака повышается в условиях стресса в 6,8 и 8,8 раз соответственно, что объясняется активацией фермента в следствие появления для него необходимого субстрата в избыточном количестве.

Таким образом, показано, что в трансгенных растениях *Nicotiana tabacum* образуется функционально-активный фермент АЦК-дезаминаза.

Исходя из того, что бактериальный *acdS*-ген эффективно экспрессируется в геноме трансгенных растений, а также синтезируется функционально активный фермент, можно сделать предположение, что бактериальная АЦК-дезаминаза за счет снижения уровня этилена в растениях будет повышать их устойчивость к стрессу и их ростовые показатели будут превышать таковые у контрольных растений, выращенных в среде, загрязненной высокими концентрациями никеля.

Следующим этапом работы явилось изучение ростовых характеристик опытных и контрольных растений, выращенных при высоких концентрациях никеля в среде. Проростки выращивали в течении 8 недель.

Были получены следующие результаты: длина корня, стебля и биомасса трансгенных растений, выросших в почве, содержащей Ni^{2+} превышает таковые у нетрансгенных в 2.7, 1.2, и 2.8 раз соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экспрессия *acdS*-гена *Pseudomonas putida* В-37 в геноме *Nicotiana tabacum* приводит к повышению их устойчивости к абиотическому стрессу, вызванному высокими концентрациями никеля в среде.

Библиографические ссылки

1. *Bradford M. M.* A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Analytical Biochemistry*. 1976. Vol. 72. P. 248–254.
2. *Honma M., Shimomura T.* Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid // *Agric. Biol. Chem.* 1978. Vol. 42, № 10. P. 1825–1831.
3. Recent developments in use of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase for conferring tolerance to biotic and abiotic stress / *I. Gontia-Mishra [et al.]* // *Biotechnol Lett.* 2014. Vol. 36. P. 889–898.

АНАЛИЗ 3D-СТРУКТУРЫ БЕЛКА СЕМЕЙСТВА MAPEG ИЗ ШТАММА ДИКОГО ТИПА БАКТЕРИИ *PSEUDOMONAS CHLORORAPHIS* SUBSP. *AURANTIACA*

К. С. Бондарева

BKristinaSav@yandex.ru;

Научный руководитель – Е. Г. Веремеенко, кандидат биологических наук, доцент

Целью исследования являлся анализ 3D-структуры белка семейства MAPEG штамма дикого типа бактерий *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* B-162. В ходе проведенного 3D-моделирования и последующего молекулярного докинга были определены ключевые аминокислотные остатки белка, принимающие участие в связывании глутатиона и взаимодействии мономеров при образовании ферментативно активной тримерной формы.

Ключевые слова: активные сайты MAPEG; глутатион-трансфераза; простогландин-Е-синтаза 1; молекулярный докинг.

Белки семейства MAPEG (от англ. «Membrane associated proteins in eicosanoid and glutathione metabolism») в большинстве своем являются интегральными трансмембранными белками. На основании своей ферментативной активности они относятся к классу глутатион-трансфераз и обнаружены в клетках всех живых организмов. MAPEG задействованы в метаболизме производных арахидоновой кислоты, а также биотрансформации и детоксикации электрофильных субстратов при участии восстановленной формы глутатиона. В условиях *in vivo* функционально активной является гомотримерная форма белка. Каждый из мономеров состоит из четырех трансмембранных α -спиралей, обеспечивающих закрепление в мембране и взаимодействие соседних мономеров друг с другом [1]. Способность к биотрансформации и детоксикации электрофильных субстратов может обуславливать потенциальное участие белков группы MAPEG в метаболизме феназиновых соединений в клетках бактерий-продуцентов. Известно, что бактерии рода *Pseudomonas* являются одними из наиболее распространенных продуцентов антибиотиков феназинового ряда. Несмотря на интенсивные исследования, вопрос о механизмах устойчивости продуцентов к собственным феназинам остается открытым.

С использованием сервиса I-TASSER [2] на основании аминокислотной последовательности белка, закодированного в геноме продуцентов феназинов *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* B-162 (дикий тип), было построено несколько вариантов 3D-моделей структуры белка семейства MAPEG. Дальнейший выбор наиболее оптимальной

структуры осуществляли на основании следующих параметров I-TASSER: референсный белок 3dww был выбран на основании параметра TM-score. Данный параметр отражает выравнивание нашей модели белка относительно всех белков в библиотеке PDB. Чем выше показатель TM-score, тем более вероятно, что предложенный аналог из PDB и исследуемый белок будет выполнять схожие функции. Учитывался также показатель RMSD^a, отражающий среднеквадратичное отклонение атомных позиций, которые структурно выровнены по показателю TM-align. Поэтому берется нижний показатель RMSD^a среди предложенных белков-аналогов. Также обращалось внимание на параметры IDEN^a и Cov, основанные на TM-align. Отобранный таким образом белок-референс также относится к классу глутатион-трансфераз и является простагландин-Е-синтазой 1, функционирующей в виде гомотримера. Это микросомальный белок человека.

Согласно данным литературных источников, активные сайты связывания глутатиона у референсной формы локализованы в положении R50 и Y96, что совпадает с локализацией аналогичных сайтов у некоторых изученных в этом отношении прокариотических организмов. На основании данных проведенного нами молекулярного докинга было установлено, что ключевыми сайтами связывания глутатиона у штамма В-162 выступают аминокислотные остатки R50, Y100, S109. Как известно, белки MAPEG активны в форме тримера, то же самое можно предсказать и для бактериальной формы MAPEG из штамма В-162. Можно отметить, что GSSG локализован в белковом «кармане» (рис. 1).

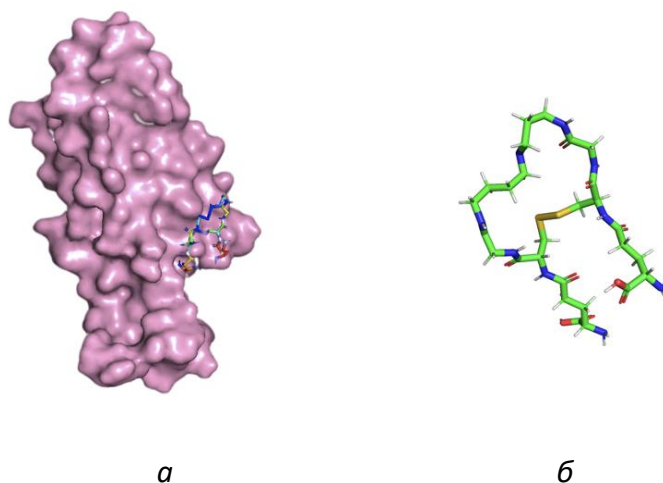


Рис. 1. Локализация GSSG в белковом «кармане»:

а) Вариант положения лиганда относительно белка; б) Модель лиганда окисленного глутатиона

Ещё одним ключевым аминокислотным остатком МАРЕГ является R113 [3]. Этот аминокислотный остаток консервативен и необходим для взаимодействия мономеров друг с другом и стабилизации всего тримерного комплекса. У МАРЕГ штамма В-162 аналогичная аминокислота расположена в позиции 108. Такое положение указывает на то, что потенциально данный аминокислотный остаток также может принимать участие в формировании тримерной активной формы (рис. 2).

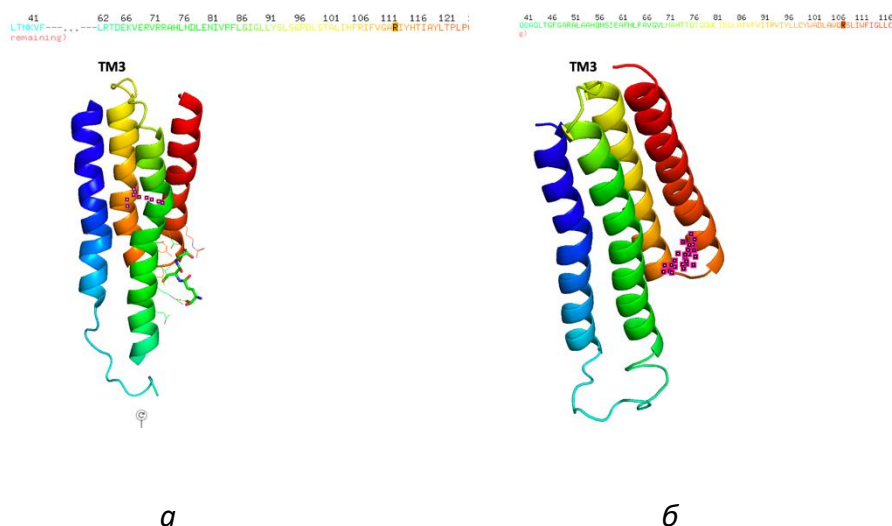


Рис. 2. Сравнение положений активного сайта, ответственного за стабилизацию гомотримерного комплекса:
 а) MGST1 эукариот; б) МАРЕГ из штамма дикого типа
 ТМ3 – трансмембранная цепь 3

Известно, что для нормального функционирования МАРЕГ, в частности MGST1, необходимо взаимодействие трансмембранных доменов (ТМ) 2 и 3 между собой с последующим образованием тримерного комплекса [2]. За такого рода взаимодействия отвечают фенилаланины. У эукариотических белков они располагаются в позициях F85, F106, F109. При анализе структуры бактериальной МАРЕГ штамма В-162 фенилаланины были обнаружены в позициях 65 и 89. Обе позиции также локализованы в пределах ТМ2 и ТМ3 и потенциально могут служить для тех же целей (рис. 3).

В каталитическом домене эукариотического белка МАРЕГ находятся два ключевых аминокислотных остатка Н75 и Е80 [4]. Данные аминокислотные остатки отвечают за взаимодействия между мономерами. У МАРЕГ из штамма В-162 аналогичные аминокислоты присутствуют в 55 и 60 позициях соответственно. Несмотря на то, что данные позиции не совпадают с аналогичными показателями в референсных формах, они, тем не менее локализованы в пределах ТМ2 и потенциально могут выполнять те же функции (рис. 4).

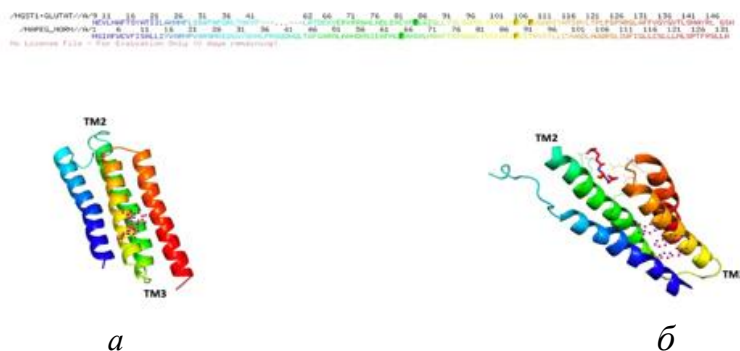


Рис. 3. Поиск консервативных активных (TM2-TM3) сайтов в белка штамма дикого типа:

а) MAPEG из штамма дикого типа; б) MGST1 эукариот TM2 – трансмембранная цепь 2, TM3 – трансмембранная цепь 3

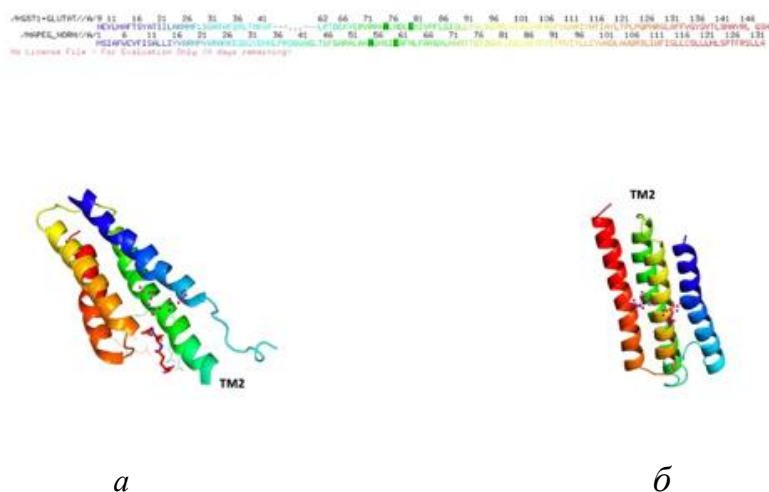


Рис. 4. Поиск каталитического домена в белке штамма дикого типа относительно белка эукариот:

а) MAPEG из штамма дикого типа; б) MGST1 эукариот TM2 – трансмембранная цепь 2

Библиографические ссылки

1. Glutathione transferases in bacteria / N. Allocati [et al.] // FEBS Journal. 2009. № 276. P. 58–75.
2. Zhanggroup [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zhanggroup.org/I-TASSER/>. – Дата доступа: 11.05.2023.
3. Structural basis for detoxification and oxidative stress protection in membranes / P. J. Holm [et al.] // J. Mol. Biol. 2006. № 360. P. 934–945.
4. Hans, H. The structure of membrane associated proteins in eicosanoid and glutathione metabolism as determined by electron crystallography / H. Hans, C. Jegerschold // Current Opinion in Structural Biology. 2007. № 17. P. 396–404.

К ВИДОВОМУ СОСТАВУ ЖУКОВ-ФИТОФАГОВ СЕМЕЙСТВА CERAMBYCIDAE МИНСКОЙ И ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

М. Д. Гайдуков

zvn671nm@gmail.com;

Научный руководитель – Ж. Е. Мелешко, кандидат биологических наук, доцент

Выявлен видовой состав представителей семейства Cerambycidae (Latreille, 1802) Минской и Витебской областей

Ключевые слова: Cerambycidae; Минская и Витебская область; нативные и чужеродные виды.

ВВЕДЕНИЕ

Насекомые-фитофаги в целом и семейство жуки-усачи (Coleoptera, Cerambycidae) в частности, представляют собой важную группу животных, так как являясь консументами первого порядка они участвуют в большинстве трофических цепей, обеспечивая распространение энергии в пределах биоценозов, на территории которых обитают. Так же они зачастую играют немаловажную роль и в жизни человека, так как могут выступать как в роли насекомых опылителей, так и вредителей сельско- и лесохозяйственных культур.

Данное исследование проводилось в рамках республиканской НИР «Инвазивные фитопатогенные грибы, грибоподобные организмы и беспозвоночные животные на культивируемых и близкородственных дикорастущих растениях: статус в сообществах, распространение, диагностика».

Объектом исследования выступало семейство жуков-усачей (Cerambycidae), которое является одним из самых многочисленных семейств жесткокрылых. Актуальность исследования данной группы обусловлено тем, что последнее полное исследование, направленное на установление видового состава семейства Cerambycidae для Беларуси в целом, было произведено Александровичем О. Р., Лопатин И.К., Писаненко А.Д., Цинкевич В.А. и Снитко С.М. для создания «Каталога жесткокрылых (Coleoptera, Insecta) Беларуси» в 1996. Данная работа представляла собой результат систематизации как научных публикаций, так и перепроверки реально сохранившихся коллекций жесткокрылых Беларуси начиная со середины XIX и заканчивая серединой XXв. [1].

Ещё одной причиной, послужила совокупность следующих факторов: изменения климатических условий, изменения в политике лесохозяйственных и сельскохозяйственных угодий, а также увеличение частоты транспортного сообщения (которое создаёт так называемые

«коридоры» инвазий), под действием которых можно обнаружить значительное изменение ранее существовавшей картины церамбицид Беларуси. Однако, данные изменения могут иметь двунаправленный характер ведущий, как и на увеличение «белорусской» фауны, посредством проникновения чужеродных видов с посадочным и лесоповалочным материалом, так и его (фаунистическое) сокращение в связи с изменениями в экологической структуре сообществ.

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОТОПОВ В ИССЛЕДУЕМЫХ РЕГИОНАХ

1.1 Обследованные биотопы Витебкой области

- Узколиственный лес – березняк осиновый
- Смешанный лес – ельник осиновый
- Открытые пространства – разнотравный редкозаливной луг
- Экотон – зарастающий песчаный карьер
- Хвойный лес – парк Сорокалетия Советской Армии г. Сенно
- Околоводная растительность поймы реки Адров
- Урбаценозы. Исследовались в разных точках Витебской области, косились растительные насаждения г. Барани, г. Орши, г. Сенно, д. Ключниково и д. Ленковичи. Сбор исследуемой группы насекомых проводился на интродуцированных и нативных древесных, древесно-кустарниковых и травянистых растениях парковых и зелёных зон.

1.2 Обследованные биотопы Минской области

- Хвойный лес – ельник сосновый
- Смешанный лес – ельник дубовый
- Экотоны – лесозащитные полосы вдоль железнодорожных путей.
- Околоводная растительность водохранилища Удранка
- Урбаценозы. Исследовались в разных точках Минской области, косились растительные насаждения г. Минска, г. Заславля, г.п. Старобин, с.т. Буда и д. Заболотье. Сбор исследуемой группы насекомых проводился на интродуцированных и нативных древесных, древесно-кустарниковых и травянистых растениях парковых и зелёных зон.

МЕТОДЫ СБОРА И ХРАНИНИЯ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

Для сбора материала использовались стандартные энтомологические методы:

1. Кошение сачком.
2. Ручной сбор, как дополнительный к первому методу.
3. Ферментные ловушки.

Ловушка состояла из 2-литрового пластикового ведра с небольшим отверстием, просверленным у края с каждой стороны, и отрезка бечёвки для прикрепления к древесному стволу в месте сбора (или небольшой искусственной опоре в случае луга). В качестве субстрата в классической методологии используются два вида приманок: приманки на основе патоки и пива по Гуарниэри (2009г.), и приманки на основе красного вина.

Ловушки проверялись еженедельно с начала июля до конца августа, выливая содержимое через ситечко и перенося с него жуков пинцетом в пустые флаконы. (После извлечения из которых жуки промывались водой, для удаления фрагментов субстрата, обрабатывались этилацетатом для предотвращения гниения и мантировались).

Для хранения собранных насекомых были выбраны два метода – постановка на энтомологические булавки (на плашки) и на ватных матрасиках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За время первичного исследования были собраны 40 видов из семейства Cerambycidae что составляет 34% от фауны исследуемого региона, приводимой в каталоге жесткокрылых [1].

Обнаруженные виды: *Acanthocinus aedilis*, *Agapanthia dahli*, *A. villosoviridescens*, *A. intermedia*, *A. violacea*, *Alosterna tabacicolor*, *Anastrangalia dubia**, *Arhopalus rusticus**, *Aromia moschata**, *Callidium violaceum*, *Clytus arietis**, *Glaphyra umbellatarum**, *Hylotrupes bajulus**, *Lamia textor**, *Leptura quadrifasciata*, *Molorchus minor**, *Monochamus galloprovincialis**, *M. sutor**, *M. urussovi**, *Obrium brunneum**, *Pachyta quadrimaculata**, *Pogonocherus fasciculatus**, *Pseudovadonia livida*, *Prionus coriarius**, *Rhagium mordax*, *R. inquisitor**, *Ropalopus clavipes**, *Saperda populnea**, *S. Carcharias**, *S. Perforata**, *Spondylis buprestoides*, *Stenurella bifasciata*, *Sten. melanura*, *Strangalia attenuata**, *Stictoleptura rubra**, *Stict. maculicornis*, *Stict. fulva*, *Tetrops praeustus*, *Xylotrechus rusticus**.

Из всех собранных видов, относящихся к данному семейству, 23 представителя являются активными ксилофагами на личиночной стадии (в тексте отмечены *). Из них большая часть – вредители экономически важных пород: 14 видов – вредители древесины заготавливаемых хвойных пород и 12 видов – вредители заготавливаемых лиственных пород (берёза, осина, тополь, дуб, бук, липа). Взрослые особи данных видов, за исключением *Hylotrupes bajulus* и *Callidium violaceum* не наносят такого высокого экономического ущерба как их личинки. В свою очередь эти два

вида, являющийся спутником человека, часто повреждают деревянные постройки и изделия [3].

Три вида *Agapanthia dahli*, *Glaphyra umbellatarum* и *Ropalopus clavipes* являются чужеродными, но не инвазивными видами для нашей фауны. Их нативным ареалом является зона лесостепи, однако их вселение на территорию Беларуси произошло до 1996 года [1, 3, 4].

Так же стоит отметить, что *Prionus coriarius* ранее относился к охраняемым видам из-за резкого сокращения его численности, однако в наше время данный вид природоохранного статуса не имеет [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение данной работы хотелось бы отметить факт того, что собранные виды не отражают собой полный фаунистический состав церамбицид Витебской и Минской области.

Исходя из чего, следует продолжить исследовательскую деятельность по изучению фаунистического разнообразия представителей данного семейства, с целью уточнения его полного биоразнообразия.

Библиографические ссылки

1. Каталог жесткокрылых (Coleoptera, Insecta) Беларуси / *О.Р. Александрович [и др.]*; Фонд фундам. исслед. Респ. Беларусь. Минск, 1996. 103 с.
2. Красная книга Республики Беларусь Животные / Минист. прир. рес. и охр. окр. сре., Нац. академ. наук. Республики Беларусь НПЦ по биоресурсам; ред. кол.: И.М. Качановский [и др.] – Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя П'яіруса Броўкі, 2015. 319 с.
3. *Тарбинский С.П., Плавильщиков Н.Н.* Определитель насекомых Европейской части СССР / *С.П. Тарбинский, Н.Н. Плавильщиков* – Москва–Ленинград: ОГИЗ «СЕЛЬХОЗГИС», 1948. С. 450–471
4. Чёрная книга инвазивных животных Беларуси / Нац. академ. наук. РБ, НПЦ по биоресурсам; ред. кол.: В.П. Семенченко, С.В. Буга – Минск: Белоруская навука, 2020. 164 с.

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ ОРНИТОГЕННЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ

К. М. Горелик, К. М. Ислами

kirill.soloveov@yandex.by; katayun@yandex.ru;

Научный руководитель – В. Е. Мямин, кандидат биологических наук, доцент

Охарактеризованы морфологические и физиолого-биохимические свойства, а также проведена идентификация микроорганизмов орнитогенных почв Восточной Антарктиды. У выделенных микроорганизмов изучено наличие 9 различных ферментативных активностей. Ряд изолятов проявляют антагонистическую активность к бактериям, продуцируют каротиноидные пигменты. Установлено систематическое положение 9 бактерий и 4 микромицетов.

Ключевые слова: орнитогенные почвы; Восточная Антарктида; микроорганизмы, морфология; антагонизм, ферменты; идентификация.

Целью данного исследования являлось выделение, характеристика и идентификация микроорганизмов, выделенных из орнитогенных почв Восточной Антарктиды, как потенциальных продуцентов биологически активных веществ и антимикробных соединений.

Исследования проводились на шести образцах грунта, отобранных 24.12.2018 в Восточной Антарктиде (Земля Эндерби, оазис Холмы Тала, мыс Гнездовой, рядом с колонией пингвинов). В результате выделения было получено 239 чистых культур микроорганизмов, среди которых для дальнейшей работы были отобраны 52 изолята бактерий и 6 изолятов микромицетов, наиболее морфологически гетерогенные.

Идентификация проводилась на основе секвенирования генов, кодирующих 16S рРНК у бактерий и ITS-области у микромицетов на базе лаборатории «Коллекция микроорганизмов» Института микробиологии НАН Беларуси. Сравнительный анализ секвенированных нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК и ITS-области с референсными последовательностями проводился с использованием баз данных GenBank, EzBioCloud и Mucobank (табл.). В результате была проведена идентификация 13 микроорганизмов (9 изолятов бактерий и 4 изолята микромицетов). Среди них изоляты 5b, 129b, 108b, 54b и 90b описаны как психрофильные бактерии [1, с. 8], все штаммы микромицетов также являлись типичными психрофилами [2, с. 40].

Результаты видовой идентификации исследуемых культур микроорганизмов

Образец грунта	Номера изолятов*	Результаты идентификации**
Почва к западу от колонии пингвинов Адели, почти без гуано	58b	<i>Arthrobacter echini</i> (98,11 %)
	54b	<i>Arthrobacter glacialis</i> (98,34 %)
	90b	<i>Jeotgalicoccus huakuii</i> (99,73 %)
	78f	<i>Pseudogymnoascus pannorum</i> (99,10 %)
	82f	<i>Leotiomycetes</i> sp. (99,86 %)
Почва к западу от колонии пингвинов Адели, гуано розового оттенка	130b	<i>Massilia varians</i> (98,70 %)
	129b	<i>Polaromonas naphthalenivorans</i> (99,25 %)
	108b	<i>Deinococcus gammatolerans</i> (99,48 %)
	107f	<i>Thelebolus microsporus</i> (99,72%)
	132f	<i>Antarctomyces psychrotrophicus</i> (99,57 %)
Западная часть колонии пингвинов Адели на 2 см вглубь с темно-розовым и коричневым оттенком	7b	<i>Rhodococcus fascians</i> (99,76 %)
	10b	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (99,60 %)
	5b	<i>Trichococcus palustris</i> (96,22 %)

Примечания: *b – бактериальный изолят, f – грибной изолят; **отнесение изолята к виду бактерий по проценту гомологии последовательности гена 16S рРНК не менее 98,7 %, мицелиальных грибов – ITS-области не менее 97 % из баз данных.

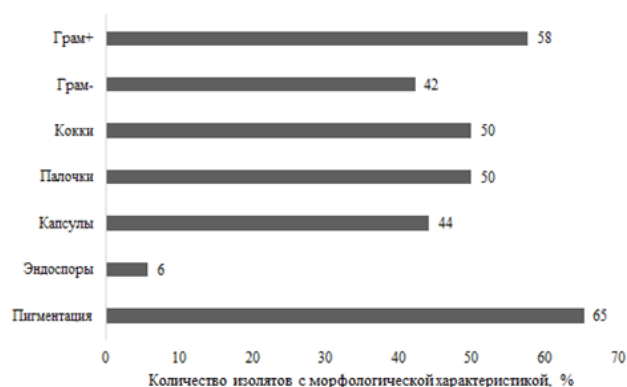


Рис. 1. Морфологические характеристики выделенных бактерий

На этапе характеристики морфологических свойств 52 бактерий исследовалась окраска по Граму, форма клеток, наличие эндоспор, капсул и пигментации исследуемых микроорганизмов (рис. 1) [3, с. 29].

Большее количество исследованных изолятов были грамположительными палочками и кокками (в равном соотношении), у многих фиксировалось наличие капсулы и пигментации, споры образовывали только 6 % из исследованных бактерий.

Для изучения температурных диапазонов роста изолятов, культуры микроорганизмов культивировались на твердой питательной среде при температурах 4, 10, 18, 28 и 37° С [4, с. 66]. Оптимальной для роста большинства культур оказалась температура 18 °С и время инкубирования от 7 до 14 суток. 29 из выделенных микроорганизмов росли в диапазоне 4–37 °С, 27 изолятов росли в диапазоне 4–18 °С. Изоляты с более высоким температурным оптимумом (28° С и 37° С) обладали способностью к накоплению большого количества биомассы (штаммы 10b, 130b и 58b) за короткий промежуток инкубирования – от 3 до 7 суток.

Далее изоляты проверялись на наличие казеинопептической, амилазной, желатиназной [4, с. 69], липазной [4, с. 77], каталазной, оксидазной [4, с. 66], уреазной, фенилаланиндезаминазной [4, с. 71], и нитратредуктазной [4, с. 70] активности (рис. 2).

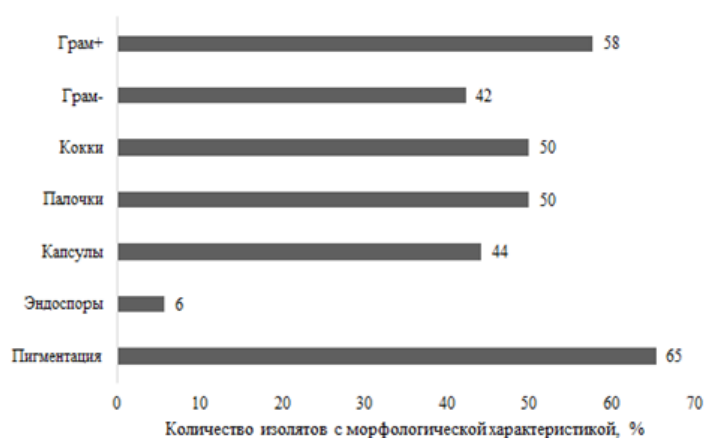


Рис. 2. Физиолого-биохимическая характеристика выделенных микроорганизмов

Каталазная активность была отмечена как наиболее характерная для 93 % микроорганизмов. В свою очередь, более половины используемых культур проявляли оксидазную, нитратредуктазную и липазную активности. Активности фенилаланиндезаминазы, уреазы, амилазы, желатиназы и казеиназы отмечены у меньшей части изолятов.

Для изучения антагонистической активности выделенных изолятов использовался метод отсроченного антагонизма [3, с. 79]. В качестве тест-

культур использовались бактерии *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Clavibacter michiganensis*, *Pectobacterium carotovorum* и зеленая водоросль *Chlorella vulgaris*. Продукция антибактериальных соединений наблюдалась у 5 микроорганизмов – штаммы 10b, 129b, а также изоляты 83, 118 и 133. Для штамма 10b и изолята 83 была зафиксирована множественная антагонистическая активность в отношении к тест-культурам *Staphylococcus aureus*, *Clavibacter michiganensis*, *Pectobacterium carotovorum*. По отношению к *Chlorella vulgaris* антагонистическую активность проявили 5 изолятов, в том числе изолят 83.

Исследовался характер роста изолятов при концентрациях NaCl 0,5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, и 20 % на твёрдой питательной среде [4, с. 75]. Для изученных изолятов микроорганизмов наиболее благоприятны небольшие концентрации соли до 3 %. Для 11 культур концентрация NaCl в 5 % оказалась непригодной для роста. Концентрация NaCl в 7 % неблагоприятна для роста 20 изолятов из 58. Четыре изолята способны расти при более высоких концентрациях соли (10 %), один из них при 15 %. Ни один из изученных микроорганизмов не способен расти при концентрации NaCl в 20 %.

При изучении роста микроорганизмов на средах Кинг А и питательном агаре с глицерином [4, с. 78] замечено образование флуоресцирующих пигментов у 17 изолятов. Для дальнейшего изучения продуцируемых микроорганизмами пигментов производилась их экстракция этанолом. Предварительный анализ позволил предположить, что 6 изолятов микроорганизмов продуцируют каротиноидные пигменты [5, с. 112].

Библиографические ссылки

1. *Smirnova M.* Isolation and characterization of fast-growing green snow bacteria from coastal East Antarctica // *MicrobiologyOpen*. 2021. Vol. 10, № 1. С. 3-16. DOI: 10.1002/mbo3.1152.
2. *Noog S.* Evolution, taxonomy and ecology of the genus *Thelebolus* in Antarctica // *Stud. Mycol.* 2005. Т. 51. С. 33-76.
3. *Лысак, В. В., Желдакова, Р. А., Фомина О. В.* Микробиология. Практикум : пособие. Минск : БГУ, 2015.
4. *Желдакова Р. А., Мямин В. Е.* Фитопатогенные микроорганизмы: учеб.-метод. комплекс для студентов биол. фак. спец. 1-31 01 01 «Биология». Минск : БГУ, 2005.
5. *Misawa N., Maoka T., Taketura M.* Carotenoids: Carotenoid and apocarotenoid analysis-Use of *E. coli* to produce carotenoid standards // *Methods in Enzymology*. 2022. Т. 670. С. 87-137. DOI: 10.1016/bs.mie.2022.03.019.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ОТВЕТ НА ПОВЫШЕННЫЕ УРОВНИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СРЕДЕ

К. И. Губаревич

v.mackievic@gmail.com;

Научный руководитель – В. С. Мацкевич, старший преподаватель

В последнее время актуальной проблемой индустриально развитых регионов стало загрязнение тяжелыми металлами. Повышенные уровни металла в окружающей среде наносят ущерб естественной флоре, а также вредит сельскому хозяйству. Целью данной работы являлось проиллюстрировать, как изменяется экспрессия генов у высших растений в ответ на повышенные уровни тяжелых металлов в среде.

Ключевые слова: тяжелые металлы; никель; медь; НАДФН-оксидаза, АФК, ПЦР.

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы (ТМ) – это химические элементы с металлическими свойствами, обладающими молекулярной массой больше 40 Да и плотностью более 8 г/см³ [1; 2]. К ним относят Cu, Ni, Pb, Cd и др. В небольших количествах ТМ являются микроэлементами, участвующими в процессах нормальной жизнедеятельности растений: катализируют анаболические и катаболические реакции, вовлечены в клеточный сигналинг, стимулируют рост, повышают иммунитет растений. Однако, в больших количествах ТМ могут оказывать токсичный эффект на растительные организмы [3]. У растений устойчивость к ТМ во многих случаях связана с экспрессией определенных генов и синтезом *de novo* ферментов, принимающих участие в механизмах адаптации растений к ТМ и их обезвреживании в организме.

Основным источником продукции экзогенных активных форм кислорода (АФК) в растениях является фермент НАДФН-оксидаза [4]. Изменение уровня АФК может сигнализировать о различных стрессовых состояниях и запускать ряд ответных реакций. Так, например, при кратковременных воздействиях 5 ммоль/л Cd или 2 ммоль/л Cu растения модулируют сигнальные сети, которые регулируют начало токсических эффектов [5]. Опосредованная НАДФН-оксидазой продукция АФК играет также важную роль в регуляции адаптивных реакций растений при воздействии таких стресс-факторов, как засоление, экстремальные температуры, засуха и др. [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись проростки *Arabidopsis thaliana* природного экотипа Col-0. Анализ роста корня проводился при помощи техники замены среды: на каждый вариант обработки высаживалось по 13

чашек Петри, в каждой по 10-15 семян, замена среды проводилась на 5 сут. Растения пересаживались на среду со следующими концентрациями тяжелых металлов: 0,1 ммоль/л Ni^{2+} , 0,3 ммоль/л Ni^{2+} , 1 ммоль/л Ni^{2+} ; 0,1 ммоль/л Cu^{2+} , 0,3 ммоль/л Cu^{2+} , 1 ммоль/л Cu^{2+} . Регистрация прироста основного корня осуществлялась на 10 сут (5 сут после введения Ni^{2+} и Cu^{2+}). Измерение длины корня проводили в программе ImageJ. Далее проводили заморозку растительного материала в жидком азоте. Выделение тотальной РНК производилось с помощью набора «Total RNA Purification Kit» (Jena). Последующая полимеразная цепная реакция (qRT-PCR) проводилась с помощью набора «Премикс ArtMix-RT ревертаза» (Артбиотех) на приборе «AriaMx Real-Time PCR System». В работе исследовалось изменение уровней транскриптов генов НАДФ-оксидаз *RBOHC*, *RBOHD*, *RBOHF* в корнях и листья арабидопсиса. В качестве гена домашнего хозяйства использовали *ACT2* и *TUB9*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе был проведен ростовой тест с использованием техники замены среды. Были выбраны 2 представителя тяжелых металлов – никель и медь, так как эти металлы являются необходимыми микроэлементами для растений, а токсические эффекты при их действии сопровождаются выбросом большого количества АФК и индукцией окислительного стресса [7]. Прирост длины корня рассчитывался за 5 сут стрессирования и сравнивался с контролем, где замена происходила на среду без металла. Результаты продемонстрированы на рисунках 1–2. Введение в среду хлорида меди в концентрации 0,1-1 ммоль/л оказывало ингибирующий эффект на рост корней. При обработке 0,1 ммоль/л $CuCl_2$ прирост длины основного корня снижался на 61%, 0,3 ммоль/л $CuCl_2$ – на 68%, 1 ммоль/л $CuCl_2$ – на 82%. Токсический эффект меди на листья также проявлялся: листья растений были увядающие, скручивающиеся и складывающиеся, но без признаков хлороза.

Введение в среду хлорида никеля в концентрации 0,1-1 ммоль/л также оказывало ингибирующий эффект на рост корней. При обработке 0,1 ммоль/л $NiCl_2$ прирост длины основного корня снижался на 30%, 0,3 ммоль/л $NiCl_2$ – на 36%, 1 ммоль/л $NiCl_2$ – на 69%. Листья растений были увядающие, скручивающиеся и складывающиеся; проявлялись признаки хлороза. Таким образом, эффект ингибирования при выращивании арабидопсиса на среде с $CuCl_2$ был выражен более ярко, чем при действии $NiCl_2$. Что согласуется с литературными данными по сельскохозяйственным культурам. В случае с проростками пшеницы, ячменя, гороха и фасоли в схожих экспериментах более сильный эффект

действия меди, нежели никеля, что, возможно, связано с лучшим проникновением и накоплением Cu внутри растительных клеток [8].

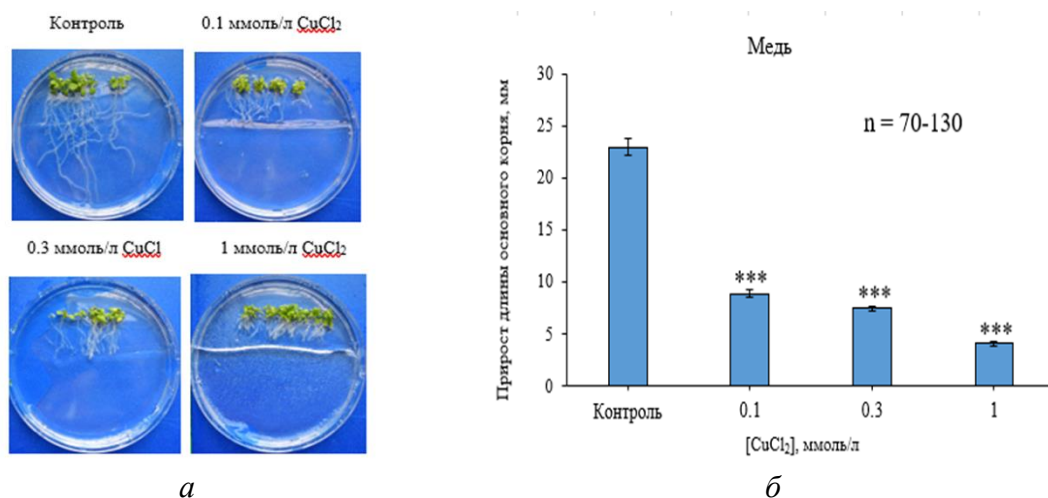


Рис. 1. Действие хлорида меди на рост основного корня арабидопсиса: *а* – типичные фотографии 10-дневных проростков; *б* – Прирост длины корня за 5 сут в контроле и на среде с металлом ($X \pm Sx$, $n=70-130$). Достоверность различий по отношению к контролю оценивалась при помощи теста ANOVA: *** - $p \leq 0,001$

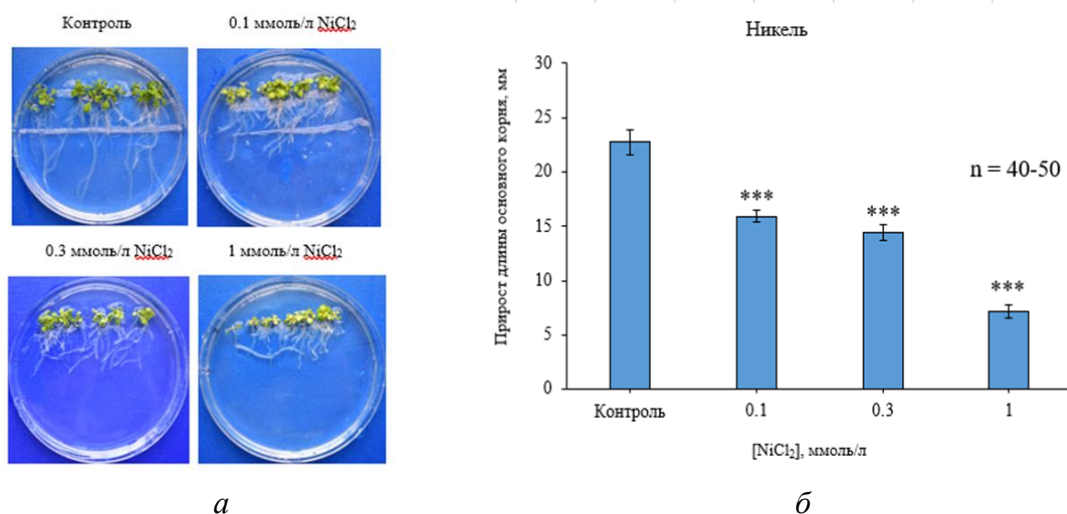


Рис. 2 – Эффект хлорида никеля на рост основного корня арабидопсиса: *а* – типичные фотографии 10-дневных проростков; *б* – Прирост длины корня за 5 сут в контроле и на среде с металлом ($X \pm Sx$, $n=40-50$). Достоверность различий по отношению к контролю оценивалась при помощи теста ANOVA: *** - $p \leq 0,001$

На следующем этапе нами было протестировано влияние меди на изменение генных экспрессий в различных частях арабидопсиса. Были выбраны гены НАДФ-оксидаз *RBOHC*, *RBOHD*, *RBOHF*. В качестве генов домашнего хозяйства использовали *ACT2* и *TUB9*. При действии 1 ммоль/л Cu^{2+} экспрессия генов *RBOHC*, *RBOHD*, *RBOHF* в листьях арабидопсиса усилилась в 2,4, 2,6 и 6,2 раз, соответственно, что

свидетельствует о роли НАДФ-оксидаз в индукции клеточных реакций в ответ на присутствие повышенных уровней ТМ в среде.

Таким образом, было показано: 1) Введение в среду хлорида меди в концентрации 0,1-1 ммоль/л оказывало ингибирующий эффект на рост корней. При обработке 0,1 ммоль/л CuCl_2 прирост длины основного корня снижался на 61%, 0,3 ммоль/л CuCl_2 – на 68%, 1 ммоль/л CuCl_2 – на 82%. 2) Введение в среду хлорида никеля в концентрации 0,1-1 ммоль/л оказывало ингибирующий эффект на рост корней. При обработке 0,1 ммоль/л NiCl_2 прирост длины основного корня снижался на 30%, 0,3 ммоль/л NiCl_2 – на 36%, 1 ммоль/л NiCl_2 – на 69%. Таким образом, никель является менее токсичным для арабидопсиса, чем медь. 3) При выращивании *Arabidopsis thaliana* на среде с CuCl_2 в концентрации 1 ммоль/л усиливалась экспрессия генов НАДФ-оксидаз в листьях в 2,4, 2,6 и 6,2 раз для *RBOHC*, *RBOHD* и *RBOHF*, соответственно, что свидетельствует о их непосредственной роли в ответе растений на тяжелометаллический стресс.

Библиографические ссылки

1. Репкина, Н. С. Влияние тяжелых металлов на экспрессию генов у растений / Н. С. Репкина, В. В. Таланова, А. Ф. Тумов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2013. №. 3. С. 31-45.
2. Heavy metals and living systems: An overview / Singh R. [et al.] // Indian journal of pharmacology. 2011. Vol. 43, № 3. С. 246.
3. Алексеева-Попова, Н. В. Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Ботанический институт им. Комарова, 1991. – 214 с.
4. Kaur, G. *In silico* physicochemical characterization and topology analysis of Respiratory burst oxidase homolog (Rboh) proteins from Arabidopsis and rice / G. Kaur, P.K. Pati // Bioinformation. 2018. Vol. 14, № 03. С.93-100.
5. Metal-specific and NADPH oxidase dependent changes in lipoxygenase and NADPH oxidase gene expression in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium or excess copper / Remans T. [et al.] // Functional Plant Biology. 2010. Т. 37, №. 6. С. 532-544.
6. Comparative analysis of the reactive oxygen species-producing enzymatic activity of Arabidopsis NADPH oxidases / H. Kaya [et al.] // Plant J. 2019. Vol. 98, № 2. С. 291-300.
7. Halliwell B. & Gutteridge J.M.C. Free radicals in biology and medicine / B. Halliwell, J.M.C. Gutteridge – Oxford, UK: OUP, 1999. 936 p.
8. Ингибирование ростовых процессов и индукция запрограммированной клеточной гибели в корне *Helianthus annuus* L. под действием ионов никеля и никель-гистидиновых комплексов / В.С. Мацкевич. и др. // Экспериментальная биология и биотехнология 2020. Т. 1. С. 11-19.

МЕТИЛИРОВАНИЕ ГЕНОВ *HOXA9*, *MARCH11*, *UNCX*, *PTGDR* У ПАЦИЕНТОВ С НЕМЕЛКОКЛЕТОЧНЫМ РАКОМ ЛЕГКОГО

М. В. Дацкевич

mary.datskevich@ya.ru;

Научный руководитель – А. Н. Щаюк, кандидат биологических наук

Рак легкого – одно из наиболее распространенных онкологических заболеваний в мире. Наиболее часто (85% случаев) регистрируется немелкоклеточный рак легкого. В настоящее время известно, что важную роль в злокачественной трансформации играют эпигенетические изменения. Дифференциальное метилирование – одно из наиболее распространенных эпигенетических изменений в опухоли и может быть ранним событием в ее формировании. Целью исследования являлось определение статуса метилирования промоторных областей генов *HOXA9*, *MARCH11*, *UNCX* и *PTGDR* в опухолевой и неопухолевой ткани у пациентов с немелкоклеточным раком легкого. Выявлено статистически значимое отличие относительного уровня метилирования в опухолевой и неопухолевой ткани пациентов. Кроме того, выявлено достоверно значимое отличие относительного уровня метилирования в гене *HOXA9* у курящих и некурящих пациентов с немелкоклеточным раком легкого.

Ключевые слова: рак легкого; плоскоклеточный рак легкого; аденокарцинома легкого; молекулярно-генетические маркеры; эпигенетическая регуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Онкологические заболевания относятся к мультифакториальным заболеваниям, так как на их возникновение и развитие влияет взаимодействие большого числа факторов внешней среды и генетических факторов [1].

В настоящее время большое число фундаментальных исследований сфокусировано на поиске новых инновационных подходов к прогнозированию течения онкологических заболеваний и индивидуализации системной противоопухолевой терапии. Одним из самых актуальных направлений является понимание молекулярно-генетических и эпигенетических механизмов, приводящих к прогрессированию и метастазированию злокачественных опухолей, что позволит открыть новые пути контроля опухолевого роста и усилить эффективность проводимого лечения [2, 3]. Успехи эпигенетики способствуют разработке методов диагностики злокачественных заболеваний на ранних стадиях. Количественная метилспецифическая ПЦР на сегодняшний день – часто используемый и хорошо зарекомендовавший себя метод обнаружения метилирования ДНК [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследуемую группу были включены 73 пациента с немелкоклеточным раком легкого. Средний возраст пациентов составил 62,2 года (от 39 до 92 лет), по гендерному соотношению в выборку вошли 20 женщин (27,4%) и 53 мужчины (72,6%). 37 пациентов (50,7%) имели аденокарциному, 36 (49,3%) – плоскоклеточный рак легкого. Статус курения у 4 пациентов (5,5%) неизвестен, 43 человека (58,9%) курящих и 26 (35,6%) – некурящих. Исследование было одобрено этическим комитетом, и пациенты подписали информированное согласие на участие. Для последующего выделения ДНК были использованы образцы ткани легкого и участка опухолевой ткани на этапе получения интраоперационного материала.

ДНК из ткани легкого выделяли путем гомогенизации с помощью лабораторного прибора Tissue Lyser II с последующим лизисом в буфере и инкубированием с протеиназой K и 10% раствором SDS. После этого переходили к стандартной фенол-хлороформной экстракции, осаждению и отмывке этанолом. Обработку бисульфитом осуществляли с помощью набора EpiJET Bisulfite Conversion Kit #K1461 (Thermo Fisher Scientific). Праймеры и зонды для ПЦР, специфичные для метилирования, были синтезированы в ОДО «Праймтех», Минск. Реакции амплификации проводили в системе CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad). Для каждого из образцов ставили реакцию по изучаемым генам (*HOXA9*, *MARCH11*, *UNCX*, *PTGDR*) и по референсному гену бета-актина. Количественная метилспецифическая реакция проводилась как для образцов опухолевой ткани, так и для образцов неопухолевой ткани одного и того же пациента. Для интерпретации полученных результатов был использован относительный уровень метилирования, который определялся как отношение уровня флуоресценции изучаемого гена к уровню флуоресценции гена бета-актина.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного пакета STATISTICA 10. В исследовании применена описательная статистика, непараметрические методы: для сравнения зависимых выборок (значения для опухолевой и неопухолевой ткани одного и того же пациента) по количественным признакам использовался стандартизированный W-критерий Вилкоксона. Для сравнения независимых выборок (пациенты с разными гистологическими типами, выборки по возрасту, полу, стадиям) использовали стандартизированный показатель критерия Манна-Уитни. За критический уровень статистической значимости принимали вероятность безошибочного прогноза, равную 95% ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании получены положительные уровни метилирования гена *HOXA9* для 61 пациента из 73, гена *MARCH11* – для 59 пациентов, гена *PTGDR* – для 50 пациентов, гена *UNCX* – для 62 пациентов. Эти данные были использованы для дальнейшего анализа. Были проанализированы средние уровни метилирования промоторных регионов генов *MARCH11*, *HOXA9*, *PTGDR*, *UNCX*. Получены основные статистические данные анализа статуса метилирования изучаемых генов (табл.).

Описательная статистика: относительный уровень метилирования четырех отдельных маркеров в опухолевых очагах и неопухолевой ткани пациентов с немелкоклеточным раком легкого

Ген	<i>HOXA9</i>		<i>MARCH11</i>		<i>UNCX</i>		<i>PTGDR</i>	
	опухоль	норма	опухоль	норма	опухоль	норма	опухоль	норма
Тип ткани								
Количество образцов	61	61	59	59	62	62	50	50
Среднее	97,60	49,63	43,04	26,95	52,99	35,37	41,13	23,42
Стандартное отклонение	40,72	37,89	19,36	13,90	34,87	17,05	36,28	25,38
Медиана	107,58	44,02	48,49	30,47	46,66	35,61	37,78	13,07
Минимум	18,49	0,43	0,73	0,44	5,03	0,58	1,58	0,01
25 процентиль	71,11	27,62	27,06	17,39	22,83	23,50	19,40	8,20
75 процентиль	127,90	61,46	54,90	36,95	78,48	43,11	63,33	31,29
Максимум	167,68	273,01	82,66	59,06	172,54	82,05	139,49	99,56

Статистическая обработка полученных результатов показала достоверное отличие относительного уровня метилирования в опухолевой и неопухолевой ткани пациентов с немелкоклеточным раком легкого для каждого из исследованных генов. Значение стандартизованного показателя W-критерия Вилкоксона для гена *HOXA9* составило 5,46, $p=4,89 \cdot 10^{-8}$, для гена *MARCH11* – 4,69, $p=2,67 \cdot 10^{-6}$, для гена *UNCX* – 3,64, $p=2,70 \cdot 10^{-4}$, для гена *PTGDR* – 5,38, $p=7,38 \cdot 10^{-8}$.

В исследуемой выборке не было выявлено статистически значимых отличий относительного уровня метилирования изучаемых генов в зависимости от гистологического типа опухоли, стадии заболевания, возраста и пола пациентов, однако для курящих и некурящих пациентов выявлена достоверная значимость относительного уровня метилирования в гене *HOXA9*: стандартизованный показатель критерия Манна-Уитни составил 1,96 ($p=0,049$).

Согласно данным литературы известно, что метилирование промоторных участков генов *HOXA9*, *PTGDR*, *UNCX* и *MARCH11*

является специфическим для рака изменением [4]. Следовательно, полученные результаты могут использоваться в качестве дополнительного биомаркера для выявления заболевания, а также диагностики немелкоклеточного рака легкого на ранних стадиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растущее число данных об эпигенетических изменениях, особенно метилирования промотора генов, способствующих инициации и прогрессированию немелкоклеточного рака легкого, позволяет рассматривать эти изменения как дополнительный маркер развития данного заболевания.

Результаты исследования показали, что относительный уровень метилирования генов *HOXA9*, *MARCH11*, *UNCX* и *PTGDR* в среднем выше в опухолевой ткани пациентов с немелкоклеточным раком легкого, чем в неопухолевой. Кроме того, относительный уровень метилирования в гене *HOXA9* у курящих в среднем выше, чем у некурящих пациентов. Статистически значимых отличий относительного уровня метилирования данных генов в зависимости от гистологического типа опухоли, стадии заболевания, возраста и пола пациентов не было выявлено.

Библиографические ссылки

1. *Hanahan, D.* Hallmarks of Cancer: The Next Generation / *D.Hanahan, R.A.Weinberg* // Cell. 2011. Vol.144. P. 646–674.
2. Genomic profiling toward precision medicine in non-small cell lung cancer: getting beyond EGFR / *A.L. Richer* [et al.] // *Pharmgenomics and Personalized Medicine*. 2015. Vol. 8 P. 63–79.
3. miRNA-93-5p Promotes Gemcitabine Resistance in Pancreatic Cancer Cells by Targeting the PTEN-Mediated PI3K/Akt Signaling Pathway / *Y. Wu* [et al.] // *Ann Clin Lab Sci*. 2021. Vol. 51, № 3. P. 310–320.
4. A Panel of Novel Detection and Prognostic Methylated DNA Markers in Primary Non-Small Cell Lung Cancer and Serum DNA / *A.Ooki* [et al.] // *Clinical Cancer Research*. 2017. Vol. 23, № 22. P. 7141–7152.

ФЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЖИЛКОВАНИЯ КРЫЛА *ALTICA OLERACEA* (*COLEOPTERA*, *CHRYSOMELIDAE*, *GALERUCINAE*) ПОПУЛЯЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ

А. А. Дворникова

ab035264@gmail.com;

Научный руководитель – О. Л. Нестерова, кандидат биологических наук, доцент

В работе приводятся результаты исследования полиморфизма жилкования крыльев популяций жуков-листоедов с использованием методов фенетики. Были выявлены фены и феноккомплексы исследуемых популяций и проведен сравнительный анализ данных популяций позволяющий оценить внутрипопуляционное разнообразие для данного вида.

Ключевые слова: Фенетический анализ; феноккомплекс; жилкование крыла; *Altica oleracea*; флуктуирующая асимметрия.

Представители семейства *Chrysomelidae* (*Coleoptera*, *Insecta*) жуки-листоеды являются одним из крупнейших семейств жесткокрылых Палеарктики, они играют значимую роль в биогеоценозах. Популяционные фенетические исследования для *Altica oleracea* (Linnaeus, 1758) (*Chrysomelidae*, *Galericinae*) ранее не проводились. Так же в настоящее время растет популярность использования фенетического подхода в популяционных исследованиях.

Предмет исследования – изменчивость жилкования перепончатых крыльев *A. oleracea*.

Целью данной работы явилось проведение фенетического анализа с исследованием особенностей жилкования перепончатых крыльев сорняковой блошки *A. oleracea*.

Сборы материала для исследования проходили в Минской области в Минском и Воложинском районах в летний период 2021 и 2022 года. Данные о местах сбора приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные о местах сбора

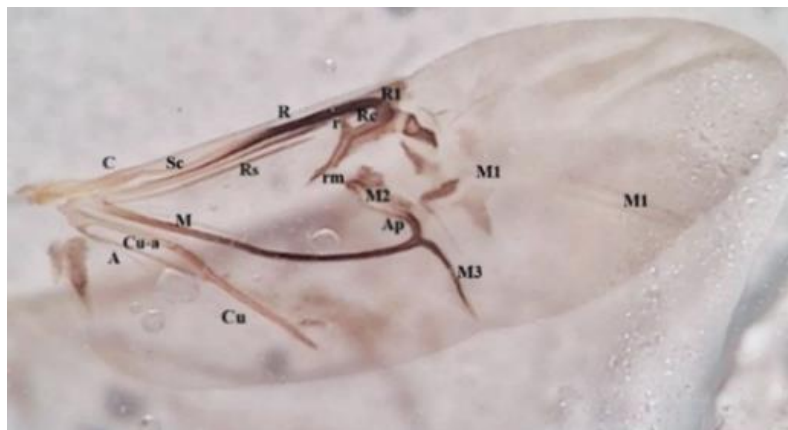
Популяции	Место сбора	Сроки сбора материала
№ 1	Минская область, Воложинский район, д. Калдыки (54.136691,26.413188)	07.2021
№ 2	Минская область, Минский район, д. Колядичи (53.826591,27.567474)	08.2021

Популяции	Место сбора	Сроки сбора материала
№ 3	Минская область, Минский район, памятник природы республиканского значения «Дубрава» (53.834787,27.472911)	06.2022
№ 4	Минская область, Воложинский район, д. Калдыки (54.136691,26.413188)	07.2022
№ 5	Минская область, Минский район, памятник природы республиканского значения «Дубрава» (53.834787,27.472911)	07.2022
№ 6	Минск, Лесопарк «Медвежино» (53.889983,27.454064)	08.2022

Для сбора объектов исследования были использованы такие стандартные методы: ручной сбор, кошение энтомологическим сачком, сбор с помощью эксгаустера.

Для исследования изменчивости жилкования крыльев изготавливались фиксированные препараты. С помощью энтомологических пинцетов и булавок от размоченного в кипятке насекомого отделялись перепончатые крылья, а также определялся пол по наличию, либо отсутствию эдеагуса. В каплю растопленной глицерин-желатиновой среды на предметном стекле выкладывались расправленные крылья, сверху закрывались покровным стеклом.

Для дальнейшего исследования проводилось фотографирование всех препаратов через окуляр микроскопа ZEISS Stemi 2000-Zoom.



Жилки: С-костальная, Sc-субкостальная, R-радиальные, Rs-сектор радиуса, M1,M2,M3- медиальные, Cu-кубитальная, А-анальная; ячейки: Cu-a- кубитально-анальная, Ap-медиальная, Rc-радиальная
Перепончатое крыло *A. Oleracea*

Жилкование перепончатых крыльев является важным критерием в систематике жесткокрылых насекомых. Для *A. oleracea*, как и всех листоедов, характерен кантароидный тип жилкования перепончатых крыльев с упрощенной кубито-анальной системой. Основная часть крыла представлена тонкой и эластичной кутикулой, находящейся мимо жилками.

Костальная жилка (C) укороченная, умеренно склеротизированная, плотно прилегает к короткой субкостальной жилке (Sc). У вершины крыла субкостальная жилка сливается с длинной усиленно склеротизированной радиальной жилкой (R). Вдоль нижнего края радиальной жилки проходит радиальный сектор (Rs). Медиальная жилка (M) проходит наискосок под средней частью крыла и делится на ветви: M2 частично редуцирована, M3-отчетливая жилка в дистальной части. Два последних разветвления медиальной жилки образуют небольшую ячейку (Ap) [1]. Базальная часть жилки M2 исчезает, а дистальная часть связывается с R_c, нечеткими, короткими поперечными жилками r-m. Кубитальная жилка (Cu) ярко выражена, анальная жилка (A) короткая и снизу примыкает к кубитальной, образуя кубитально-анальную ячейку (Cu-a).

Для изучения фенофона популяций *A. oleracea* в данном исследовании проводилось выделение фенотипов жилкования по форме жилок, их расположению, исчезновению отдельных продольных или поперечных жилок, разветвлению, наличию добавочных жилок и других образований на крыле.

Всего из шести популяций было собрано 377 особей.

После выделения фенотипов были составлены фенотипические комплексы.

Для оценки фенотипического разнообразия использовались показатели Л.А. Животовского [2]

На основе исследуемого материала было выделено 28 фенотипов жилкования крыла, формирующих 29 различных фенотипических комплексов, что является показателем высокой внутривидовой и межвидовой изменчивости. Для анализируемых фенотипических комплексов жилкования крыла были рассчитаны показатели внутривидового разнообразия (μ) и доли редких морф (h), позволяющие оценить степень и структуру этого разнообразия (табл. 2).

Таблица 2

Показатели внутривидового разнообразия *A. oleracea*

Популяция	Кол-во экз.		Кол-во фенотипов	Кол-во фенотипических комплексов	$\mu \pm S\mu$	$h \pm Sh$
	♂	♀				
№1	12	38	19	18	14.47±0.71	0.20±0.04
№2	21	12	19	10	7.17±0.55	0.28±0.06

Окончание табл. 2

Популяция	Кол-во экз.		Кол-во фенов	Кол-во феноккомплексов	$\mu \pm S\mu$	$h \pm Sh$
	♂	♀				
№3	1	93	16	4	3.72±0.07	0.07±0.02
№4	6	63	17	5	3.57±0.19	0.29±0.04
№5	13	68	15	2	1.73±0.05	0.13±0.03
№6	5	44	27	8	4.93±0.39	0.38±0.05

μ - коэффициент внутривидового разнообразия; h - доли редких морф

Наиболее высоким показателем внутривидового разнообразия обладает популяция №1, собранной в деревне Калдыки в 2021 году, а наименьшим популяция №5 собранная в «Дубраве». Наибольшей долей редких морф обладает популяция №6 из лесопарка «Медвежино», наименьшей – популяция №3 из «Дубравы».

Выборки из популяций жуков-листоедов сравнивались между собой по частотам вариаций каждого исследуемого феноккомплекса с использованием показателя попарного сходства (r). Наибольшим сходством обладают популяции №4 и №5, выборки из которых собраны в один год, но в разных локациях. Наименьшим сходством обладают популяции №2 и №6 и популяции №2 и №4, данные популяции собраны в разных местах и в разные года. Популяции №2 и №3 и популяции №2 и №5 вообще не имеют сходств. В данном случае сравнивались сходства популяции из д. Колядичи с гетерохронными популяциями из «Дубравы». В результате попарного сравнения популяций оказалось, что наименьшим сходством, или его отсутствием с другими популяциями обладает популяция №2 (табл. 3).

Таблица 3

Результаты попарного сравнения выборок

Популяция	№1	№2	№3	№4	№5
№2	0,02				
№3	0,08	0			
№4	0,12	0,01	0,29		
№5	0,12	0	0,32	0,53	
№6	0,1	0,0003	0,31	0,39	0,46

Анализ изменчивости жилкования крыльев показал явление флуктуирующей асимметрии, характеризующееся значительными

отклонениями от билатеральной симметрии [3]. Показатель асимметрии указывает на наличие в среде обитания живых организмов негативного фактора. В популяции №1 доля асимметричных особей составила 20%, в популяции №2 – 9,09%, в популяции №3 – 18,08%, в популяции №4 – 18,57%, в популяции №5 – 6,17%, в популяции №6 – 0%. Самой большой асимметрией обладают выборки популяций №1 и №4, являющиеся гетерохронными выборками из популяций д. Калдыки. В популяции №6 явление флуктуирующей асимметрии не установлено, что говорит о благоприятности среды, занимаемой данной популяцией.

Работа выполнена в рамках международной НИР №Б20ЕА-051 от 06 ноября 2020 г. «Вредители лекарственных растений: особенности геномной организации и состава микробиома у растительноядных насекомых и клещей, ассоциированных с растениями, содержащими фармакологически ценные вещества».

Библиографические ссылки

1. *Suzuki K.*, 1994. Comparative morphology of the hindwing venation of the Chrysomelidae (Coleoptera) // *Eds. Jolivet P.H., Cox M.L., Petitpierre E.* Novel aspects of the biology of Chrysomelidae. Kluwer Acad Pbls, p. 337 – 354.
2. *Животовский, Л.А.* Показатели сходства популяций по полиморфным признакам // Журн. общая биология. 1979. Т. 40. №4. С.587– 602.
3. *Захаров, В.М.* Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход) / *В.М. Захаров.* М.: Наука, 1987. – 213 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИТОТОКСИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНАЗИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ *PSEUDOMONAS CHLORORAPHIS* SUBSP. *AURANTIACA* В ОТНОШЕНИИ КУЛЬТУР НОРМАЛЬНЫХ И МАЛИГНИЗИРОВАННЫХ КЛЕТОК

А. А. Жизневская

anastasia.zhyzneyskaya@gmail.com;

Научный руководитель – Е. Г. Веремеенко, кандидат биологических наук, доцент

Проведено исследование цитотоксического эффекта феназинов различных штаммов бактерий *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* в отношении линий клеток HeLa и первичной культуры гепатоцитов мыши. Показана высокая устойчивость гепатоцитов и низкая устойчивость клеток линии HeLa к исследованным феназиновым комплексам.

Ключевые слова: вторичные метаболиты; феназины; цитотоксическая активность; HeLa; *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca*.

ВВЕДЕНИЕ

Феназины представляют собой большую группу природных и химически синтезированных азотсодержащих гетероциклических веществ, являющихся вторичными метаболитами бактерий, обеспечивающими продуцентам конкурентное преимущество в занимаемой экологической нише [1]. Синтез феназинов характерен для представителей родов *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Brevibacterium*, *Bacillus*, *Xanthomonas*, а также некоторых морских микроорганизмов и архей рода *Methanosarcina* [2, 3].

Ядром феназинов является пиразиновое кольцо, к которому присоединены разнообразные заместители, что опосредует огромное разнообразие биологических активностей данных соединений [4]. Феназины обладают антибиотическим, цитотоксическим, противогрибковым, инсектицидным и противопаразитарным эффектами. Их производные активно используются в медицинской практике как противорвотные, гипотензивные средства, нейролептики, в ветеринарии в качестве глистогонных препаратов. Клофазимин – препарат, который оказывает бактерицидное действие на *Mycobacterium leprae* [5, 6].

Основным механизмом действия феназинов является генерация активных форм кислорода и последующая гибель чувствительных клеток. Некоторые производные феназинов ингибируют действие топоизомераз I и II. Поскольку эти ферменты наиболее активны в клетке во время деления, подавление их активности особенно влияет на интенсивно делящиеся опухолевые клетки [7]. В связи с этим феназины являются перспективными для исследования их противоопухолевого потенциала.

Целью данного исследования являлась оценка и сравнение цитотоксического эффекта феназинов различных штаммов бактерий рода *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* в отношении малигнизированных клеточных линий и первичных культур нормальных клеток.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы клетки линии HeLa (перевиваемая линия карциномы шейки матки), первичная культура гепатоцитов мыши, культуры клеток различных штаммов бактерий *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca*. Культивирование бактериальных и эукариотических клеток проводилось согласно стандартным протоколам. Получение первичной культуры гепатоцитов осуществлялось методом эксплантов. Выделение и очистка феназиновых соединений проводилась по методике твердофазной экстракции. Оценка цитотоксического эффекта феназинов осуществлялась с использованием МТТ-теста.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В серии предыдущих экспериментов был проанализирован цитотоксический эффект разных концентраций феназинов *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* В-162/255/15 в отношении культуры HeLa. Было установлено, что выраженное цитотоксическое действие начиналось при концентрации 300 мкг/мл. Инкубацию культур клеток с феназинами проводили в течение 24, 48 и 72 ч. Соединения растворялись в 70% спирте. Было установлено, что используемые объемы 70% спирта (не более 20 мкл на лунку 200 мкл) не являлись токсичными. Поэтому зарегистрированная гибель клеток является следствием действия только феназиновых комплексов.

Установлено, что в концентрации 300 мкг/мл феназины вызывают 70–90% гибель культуры клеток HeLa в зависимости от состава феназинового комплекса, который различен у разных штаммов-продуцентов. Наибольший эффект достигается при инкубации в течение 72 ч. Микроскопический анализ подтверждает массовую гибель культуры после обработки феназинами (рис. 1 Б).

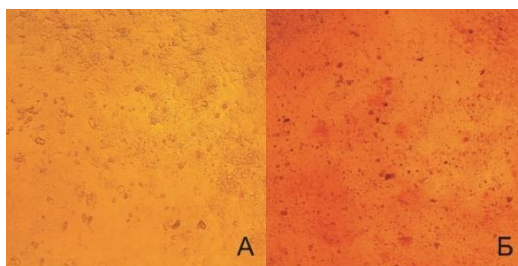


Рис. 1. Микроскопические фотографии клеток HeLa в контроле (А) и после обработки феназинами штамма В-162/255/15 в концентрации 300 мкг/мл (Б). Инвертированный микроскоп Axiostar plus (ZEISS, Германия). Объектив А-Plan 10x/0.25 Ph 1 Var (ZEISS, Германия)

Важной составляющей любого противоопухолевого препарата является его низкая токсичность в отношении нормальных клеток организма, для данной работы была получена первичная культура гепатоцитов мыши. Инкубацию культур клеток печени с феназинами в концентрации 300 мкг/мл проводили в течение 72 ч. Инкубация в течение 24 и 48 ч к гибели не приводила. Согласно данным МТТ-теста, процент гибели нормальных клеток составил в среднем около 12%. При этом феназины штаммов В-162, В-162-55 и В-162-18 фактически не приводили к гибели (3–4%), а феназины штамма В-162-17 индуцировали максимальную гибель культуры, которая составила 20–25%. Микроскопический анализ подтверждает сохранение жизнеспособности культуры без признаков индукции апоптоза (рис. 2).

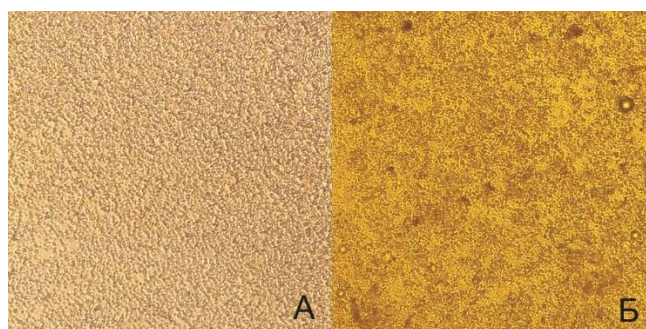


Рис. 2. Микроскопические фотографии гепатоцитов мыши в контроле (А) и после обработки феназинами штамма В-162 в концентрации 300 мкг/мл (Б). Инвертированный микроскоп AxioStar plus (ZEISS, Германия). Объектив А-Plan 10x/0.25 Ph 1 Var (ZEISS, Германия)

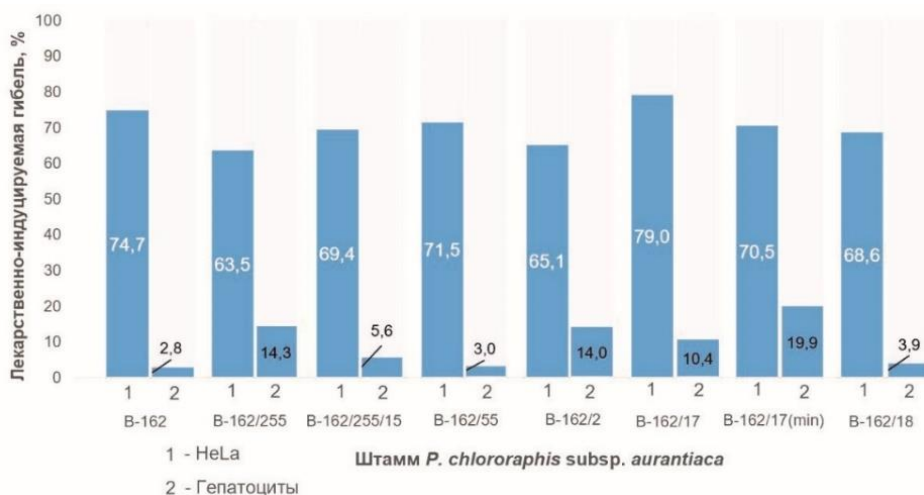


Рис. 3. Гибель культуры HeLa и гепатоцитов мыши при обработке феназинами в концентрации 300 мкг/мл и инкубации в течение 72 ч

Сравнение цитотоксического эффекта феназинов в отношении культур HeLa и гепатоцитов мыши (рис. 3) демонстрирует

перспективность их исследования в качестве противоопухолевых препаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что культура гепатоцитов мыши обладает высоким уровнем устойчивости к феназиновым соединениям исследуемых штаммов. Клетки малигнизированной линии HeLa в таких же условиях демонстрируют повышенную чувствительность к феназинам и высокий процент клеточной гибели. Наиболее перспективными для дальнейшего исследования штаммами являются В-162/55 и В-162/18, которые приводят к 70% гибели клеток HeLa и не вызывают гибели нормальных клеток печени.

Библиографические ссылки

1. Phenazines and cancer / A. Cimmino [et al.] // Nat. Prod. Rep. – 2012. – Vol. 29, № 4. – P. 487.
2. Mavrodi, D.V. Diversity and evolution of the phenazine biosynthesis pathway / D.V. Mavrodi [et al.] // Appl. Envir. Microbiology. 2010. V. 76, № 3. P. 866–879.
3. Pierson, L. S. Metabolism and function of phenazines in bacteria: impacts on the behavior of bacteria in the environment and biotechnological processes / L.S. Pierson, E.A. Pierson // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2010. Vol. 86, № 6. P. 1659–1670.
4. Guttenberger, N. Recent developments in the isolation, biological function, biosynthesis, and synthesis of phenazine natural products/ N. Guttenberger, W. Blankenfeldt, R. Breinbauer // Bioorg. Med. Chem. 2017. V. 25, № 22. P. 6149–6166.
5. Веремеенко, Е. Г. Анализ биологической активности феназинового комплекса бактерий *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* в отношении нормальных и малигнизированных клеточных линий / Е.Г. Веремеенко, Е.В. Леончик, Н.П. Максимова // Журн. БГУ Биология. 2017. № 3. С.14-20.
6. Pyrazine and phenazine heterocycles: platforms for total synthesis and drug discovery / R.W. Huigens [et al.] // Molecules. 2022. V. 27, № 3. P. 1112–1136.
7. Laursen, J.B. Phenazine natural products: biosynthesis, synthetic analogues, and biological activity / J.B. Laursen, J. Nielsen // Chem. Rev. 2004. V. 104. P. 1663–1685.

ВЛИЯНИЕ ОТВАРА СОЛЯНКИ ХОЛМОВОЙ (*SALSOLA COLLINA PALL.*) НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА У КРЫС С ХРОНИЧЕСКОЙ АЛКОГОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИЕЙ

В. С. Качан, В. И. Пашкевич, С. В. Рак

valeryia.kach@gmail.com;

Научный руководитель – О. И. Губич, кандидат биологических наук, доцент

Данная работа посвящена изучению возможности стабилизации сывороточных маркеров липидного обмена и классических показателей поражения печени у крыс в экспериментальной модели хронической алкогольной интоксикации препаратом солянки холмовой (*Salsola collina Pall.*). Установлено, что отвар солянки оказывает стабилизирующий эффект на общее состояние печени и липидный обмен в указанной экспериментальной модели. Наблюдаемый эффект может быть обусловлен наличием в составе данного растения флавоноидов, гликозидов, аскорбиновой и γ -линолевой кислот, проявляющих антиоксидантный эффект.

Ключевые слова: хроническая алкогольная интоксикация; поражение печени; солянка холмовая; липидный обмен; перекисное окисление липидов.

Алкоголизм, как известно, является фактором риска развития более чем 200 заболеваний. Злоупотребление алкоголем приводит к 3,3 миллионам преждевременных смертей в год во всем мире, что в процентном отношении составляет примерно 5,3% от их общего количества. Неудивительно, что алкогольная болезнь печени – наиболее распространенный тип хронического заболевания печени во всем мире. Согласно Международной классификации болезней, диагностируется несколько стадий данной патологии печени, варьирующих от относительно легкой и обратимой формы, алкогольного стеатоза, до тяжелой и необратимой – алкогольного цирроза печени [1].

Развитие хронической алкогольной интоксикации, как правило, сопровождается нарушениями всех видов метаболизма, в том числе и липидного обмена, многие аспекты изменений которого до сих пор изучены недостаточно. Между тем, хорошо известно, что хроническое воздействие этанола на печень является важной причиной нарушений синтеза в ней липидов, апобелков и липопротеинов. Эти метаболические сдвиги могут приводить к развитию дислипидемии, нарушению выведения липидов из печени и их аккумуляции, что лежит в основе жировой трансформации, инфильтрации и стеатоза печеночной ткани. Все это способствует прогрессированию алкоголь-индуцируемых нарушений и приводит к повышению уровня смертности пациентов [2].

Для лечения алкогольной болезни печени в настоящее время используются следующие подходы: абстиненция, поддерживающая терапия (особенно витаминами группы В), прием кортикостероидов (например, преднизолона) и антиоксидантов. В последние годы для профилактики и терапии заболеваний печени все чаще применяют фитопрепараты, преимущества использования которых определяется как низким уровнем их токсичности и доступностью, так и многовекторностью действия. Они способны нормализовать обмен веществ, повышать антиоксидантную защиту, оказывать иммуномодулирующее действие, стимулировать нервную и эндокринную системы, влиять на избирательную проницаемость клеточных мембран. К эффективным гепатопротекторным фитопрепаратам, чье фармакологическое действие экспериментально и клинически подтверждено, относятся расторопша пятнистая, пижма, зверобой [3].

Одним из перспективных растений, пригодных для использования в фитотерапии, является и солянка холмовая (*Salsola collina* Pall.), которая является богатым источником флавоноидов (трицин, изорамнетин, кверцетин, рутин), гликозидов, дубильных веществ; фенолокислот; γ -линоленовой и аскорбиновой кислот, проявляющих антиоксидантный эффект [4]. Данный факт позволяет рассматривать солянку холмовую как перспективный источник для получения гепатопротекторных средств, принимая во внимание тот факт, что реализация токсического действия этанола на гепатоциты обеспечивается в том числе и посредством индукции в них перекисного окисления липидов.

Таким образом, целью данной работы явилось изучение способности солянки холмовой (*Salsola collina*) стабилизировать липидный обмен лабораторных крыс в условиях их хронической алкоголизации.

Работа выполнена на самцах крыс породы Wistar массой 200 - 250 г, находящихся на стандартной диете вивария БГУ. Все эксперименты выполняли в соответствии с этическими нормами обращения с животными.

Модель хронического алкогольного поражения печени была разработана сотрудниками Института фармакологии имени А. В. Вальдмана (г. Санкт-Петербург). Отвар солянки холмовой готовили из расчета 5 г листьев на 1 л воды и предоставляли интактным животным и крысам с алкогольным поражением печени вместо питьевой воды в течение 7 дней.

По истечении времени эксперимента животных выводили из него путем декапитации и проводили измерение величин основных клинических маркеров поражения печени (активности щелочной фосфатазы, содержания общего билирубина и альбумина) и показателей

липидного обмена (концентрация триацилглицеринов, общего холестерина и ЛПВП) в сыворотке крови, показателей перекисных процессов и системы антиоксидантной защиты (концентрация восстановленных SH-групп и ТБК-активных продуктов, активность каталазы) – в гомогенате печени, как описано нами в [5, 6].

На первом этапе нашей работы мы оценили эффективность используемой экспериментальной модели. Установлено, что хроническое воздействие этанола на печень крыс приводит к нарушению целостности и функционирования гепатоцитов, что сопровождалось увеличением активности щелочной фосфатазы в сыворотке крови подопытных животных на 77,8%, содержания общего билирубина – на 34,2%, снижением содержания альбумина в сыворотке крови – на 33 %. Фиксировалось увеличение содержания ТБК-активных продуктов в печени крыс на 102%, активности каталазы - на 294,7%, снижение содержания восстановленных SH-групп на 39,7%, что хорошо согласуется как с первоначальной гипотезой, так и с данными литературы.

Кроме того, наблюдалось достоверное изменение величин всех определяемых параметров липидного обмена сыворотки крови: содержание общего холестерина повысилось на 24,9% по сравнению с соответствующим показателем интактных животных, содержание триацилглицеринов – на 22,5%, ЛПВП – на 18,5%. Полученный результат хорошо коррелирует с данными клинических исследований, в соответствии с которыми, например, уровень общего холестерина у пациентов с алкогольной зависимостью может быть несколько повышен в связи с тем, что при окислении этанола образуются ацетил-КоА и НАДН, что приводит к нарушению протекания реакций с участием окисленного НАД⁺. Это приводит к накоплению ацетил-КоА и синтезу из него холестерина [3].

Механизм повышения содержания ЛПВП в сыворотке крови при алкоголизме в настоящее время изучен недостаточно. Однако в доступной литературе есть информация о том, что этанол усиливает захват холестерина ЛПВП с мембран периферических клеток и последующий транспорт его с ЛПВП на липопротеины, содержащие белки апо-В [4]. Общеизвестно также, что содержание ЛПВП повышается в крови только в ранние сроки после приема этанола, поэтому считаем необходимым отметить, что в нашей работе животные имели неограниченный доступ к алкоголю, прекращенный только непосредственно перед выведением их из эксперимента. Известно также, что при тяжёлом течении алкогольного гепатита нарастают биохимические признаки печёночной недостаточности, среди которых может наблюдаться гипертриглицеринемия, которая имела место в нашей работе. Таким

образом, все полученные данные полностью подтверждают правильность постановки модели алкогольного поражения печени.

Вторая часть эксперимента была посвящена изучению возможности коррекции отваром солянки холмовой показателей липидного обмена у крыс-алкоголиков. Необходимо отметить, что ежедневное 7-дневное употребление экстракта солянки интактными крысами не сопровождалось достоверными изменениями регистрируемых показателей.

Иные результаты были получены после отмены приема этанола и введения данного фитопрепарата в рацион крыс с алкогольным поражением печени вместо питьевой воды. Уже после 7 дней приема отвара, наблюдалась достоверная стабилизация липидного обмена, о чем свидетельствуют значения измеряемых маркеров, оказавшихся статистически неотличимыми от значений контрольной группы. Заметим, что стабилизация липидного обмена коррелировала со снижением в сыворотке крови величин биохимических маркеров поражения печени.

Библиографические ссылки

1. *Lieber, C.S.* Hepatic and other medical disorders of alcoholism: from pathogenesis to treatment / C. S. Lieber // J. Studies on Alcohol. 1998. №1. p. 9-25.
2. *Соловьева, Н.В., Давидович, Н.В., Соловьева, В.А.* Особенности липидного обмена и цитокинового профиля у больных с синдромом зависимости от алкоголя и хроническим гепатитом С / Н.В. Соловьева, Н.В. Давидович, В.А. Соловьева, Е.Н. Башилова // Журн. мед.-би ол. исследований. 2019. т. 7, № 3. с. 327–337.
3. Алкогольная болезнь печени: учебное пособие / О. В. Рыжкова; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России. Иркутск: ИГМУ, 2021. 82 с.
4. *Саратиков, А.С.* Экстракт солянки холмовой (лохеин) – эффективная защита печени / А. С. Саратиков, А.И. Венгеровский, В.С. Чучалин. Томск: STT, 2000. 114 с.
5. *Губич, О.И., Огорокова, С.С., Копылева, Д.В.* Исследование адаптогенных и гепатопротекторных свойств падуба парагвайского (*Plex paraguariensis*) на экспериментальных моделях *in vivo* / О.И. Губич, С.С. Огорокова, Д.В. Копылева, Н.С. Джаафар, Д.В. Дуц, М.И. Коваль // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2021. №2. С. 43–51.
6. *Губич, О.И., Дашкова, Я.Ю., Кривленя, И.Н.* Сравнительная оценка гепатопротекторных свойств растительных адаптогенов на экспериментальной модели хронического алкогольного поражения печени *in vivo* / О. И. Губич, Я. Ю. Дашкова, И. Н. Кривленя // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2019. № 1. С. 54-62.

ПОЛУЧЕНИЕ РЕКОМБИНАНТНОГО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НЕКРОЗА ОПУХОЛИ-АЛЬФА В КЛЕТКАХ *ESCHERICHIA COLI*

Д. В. Копылева

kopyleva.d@gmail.com;

Научный руководитель – В. А. Прокулевич, доктор биологических наук, профессор

У жителей Беларуси ежегодно выявляют около 40 тыс. случаев злокачественных новообразований и регистрируется порядка 20 тыс. ассоциированных с ними смертей. Проблема онкологии является общемировой. Так, данные ВОЗ на 2020г. демонстрируют порядка 10 млн смертей, обусловленных разными видами рака.

Актуальным направлением медицины 21 века, в том числе и для Беларуси, является использование биомедицинских клеточных продуктов на основе дендритных клеток. Данная терапия достаточно хорошо себя зарекомендовала, однако такой способ лечения остается недоступным многим пациентам в виду высокой стоимости.

Известно, что такое ценообразование, в первую очередь, обусловлено стоимостью импортных культуральных сред и человеческих цитокинов, таких как гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор, интерлейкин-4, фактор некроза опухоли-альфа. Однако производства аналогов импортных компонентов на сегодняшний момент в Республике Беларусь нет.

Целью настоящей работы явилось получение очищенного препарата рекомбинантного человеческого фактора некроза опухоли-альфа (рчФНО- α). В результате выполнения работы получен эффективный штамм-продуцент рчФНО- α , для которого оптимизированы условия экспрессии, и разработан протокол очистки целевого белка.

Ключевые слова: ФНО- α ; рекомбинантные белки; *E.coli*; клонирование; индукция биосинтеза; ионно-обменная хроматография; гель-фильтрация.

Фактор некроза опухоли представляет собой низкомолекулярный белок, для которого характерен вид гомотримера в растворе. Структура мономера цитокина представлена антипараллельными β -листами и стабилизирована одной дисульфидной связью. Мономеры самоассоциируются в нековалентно связанные, симметричные гомотримеры. С-конец каждой отдельной субъединицы встраивается в основание тримера, а N-конец относительно свободен и не критичен для осуществления биологических активностей.

ФНО- α оказывает множество важных физиологических и патологических действий, таких как некроз опухолевых клеток, набухание и разрушение органелл, лизис клеток, апоптоз, является ключевым медиатором острого и хронического систематического воспаления, стимулирует выработку других воспалительных цитокинов и т.д.

Так, амплификация синтетического состава гена с оптимизированным составом кодонов проводилась путем ПЦР. Продукт амплификации анализировали с помощью электрофореза в 1%-ном агарозном геле, очищали от компонентов смеси ПЦР и обрабатывали рестриктазами *Nde* I и *Eco* RI. Параллельно, из клеток лабораторного штамма выделяли плазмидную ДНК рЕТ-24b(+), которую также подвергали обработке указанными выше рестриктазами. После электрофоретического анализа полученных рестриктов с липкими концами, фрагменты ДНК выделяли из геля и подвергали лигированию. Полученной лигазной смесью трансформировали клетки штамма *E.coli* XL-1 Blue, который в последующем использовали для хранения плазмиды. Наличие интересующей нас генной вставки рчФНО- α определяли с помощью ПЦР и обработки выделенных конструкций рестриктазами *Nde* I и *Eco* RI. Итог ПЦР продемонстрировал наличие генной вставки нужного размера во всех проверенных клонах.

Выделенный из клона *E.coli* XL-1 Blue вектор со вставкой гена рчФНО- α использовали для кальциевой трансформации штаммов *E.coli* BL21(DE3) CodonPlus-RIP, *E.coli* BL21(DE3) и *E.coli* BL21 Gold. Полученные клоны выборочно подвергали проверке методом ПЦР.

Подходящих тансформантов отбирали и культивировали в жидкой питательной среде (до ОП₆₀₀≈1,0) с последующей индукцией белкового синтеза с помощью изопропил- β -D-тиогалактопиранозид (ИПТГ) в конечной концентрации 0,5ммоль/л. После инкубации в оптимальных условиях в течение 4ч производили отбор проб и фиксировали наличие экспрессии целевого гена рчФНО- α с помощью электрофореза в 16%-ном полиакриламидном геле. Появление характерных полос на геле в 17,3 кДа свидетельствует о наличии целевого белка. Следовательно, все полученные трансформированные штаммы способны к биосинтезу рчФНО- α . Денситометрический анализ электрофореграммы проведенный с помощью программного обеспечения ImageJ (v. 1.49), также указывает на то, что наиболее эффективным продуцентом рчФНО- α является штамм *E.coli* BL21 Gold, для которого содержание целевого белка составило 33,8%, что, вероятно, связано с жестким контролем экспрессии потенциально токсического для клетки рекомбинантного белка.

Таким образом, результатом первого этапа работы явилось создание эффективного штамма-продуцента рчФНО- α .

После наработки культуры штамма-продуцента в объеме 1л клетки разрушали при помощи гомогенизатора высокого давления. Осадочную и надосадочную фракции разделяли центрифугированием и анализировали электрофоретически. Результаты эксперимента показали, что рчФНО- α не образует телец включения и накапливается в растворимой форме, что

существенно облегчает процедуру очистки в виду отсутствия необходимости этапов солюбилизации и рефолдинга. Формирование растворимого белка, по-видимому, объясняется малой молекулярной массой и всего одной дисульфидной связью в структуре мономера.

Для оптимизации процесса культивирования штамма-продуцента *E.coli* BL21 Gold с целью максимизации экспрессии целевого белка ставили экспериментальные серии с варьированием условий стандартной процедуры индукции. Изменению подвергали значения оптических плотностей культуры бактерий ($OP_{600} \approx 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2$), при которых вводился индуктор, а также конечную концентрацию индуктора (0,1; 0,3; 0,5; 0,7 и 1,0 ммоль/л).

Полученные результаты указывают на то, что наибольший уровень биосинтеза рчФНО- α наблюдался при оптической плотности культуры $OP_{600} \approx 1,0$ и концентрации ИПТГ, равной 0,7 ммоль/л. В указанных условиях выход продукта достигает 36,4% от общего белка.

Для подбора оптимальных условий очистки рчФНО- α проводили скрининг анионо- (DEAE Sepharose FF (Cytiva, США), Macro-Prep DEAE (Bio-Rad, США)) и катионообменных (SP Sepharose FF (Cytiva, США), Nuvia cPrime (Bio-Rad, США), Toyopearl SP-650C («TOSOH», Япония), Nuvia HR-S Resin (Bio-Rad, США)) сорбентов. При этом за оптимальный для поддержания растворимой формы белка принимали pH 8,0, так как это значение pH характеризует буфер для разрушения клеток, использованный нами ранее при получении растворимой фракции.

Белок разводили буфером до конечной концентрации 300 мкг/мл, этим же буфером (Буфер А: 50 мМ трис-НСl, 1 мМ ЭДТА, 10 мМ NaCl, pH 8,0) уравнивали скрининговые колонки. Для элюции использовали Буфер Б (Буфер А + 1 М NaCl).

Результаты скрининга показали, что тандемная хроматография на анионообменнике Macro-Prep DEAE и катионообменнике Nuvia cPrime наиболее эффективна для удаления примесных белков, что нашло подтверждение при масштабировании очистки с использованием хроматографической системы среднего давления NGC Scout Plus (Bio-Rad Laboratories Inc.) и отражено на рисунке 1.

С целью избавления от крупных примесных белков собранную после тандемной хроматографии фракцию (дорожки 8, 9 рис. 1) подвергали гель-фильтрации на Sephadex G-100 (Cytiva, США). Электрофореграмма завершающей стадии очистки приведена на рисунке 2.

Все представленные фракции были собраны, итоговая концентрация очищенного рчФНО- α равнялась 40 мкг/мл. Степень очистки по данным денситометрического анализа цифровой фотографии геля составила

95,7%, что полностью согласуется с целями его дальнейшего практического использования.

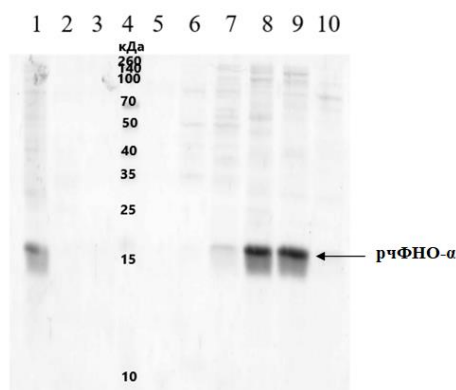


Рис. 1. Результаты электрофоретического анализа эффективности тандемной очистки на сорбентах Macro-Prep DEAE и Nuvia cPrime pH 8,0:

- 1 – контроль (образец рчФНО-α, наносившийся на колонку);
- 2-3 – не связавшаяся на Nuvia cPrime фракция;
- 4 – Spectra™ Multicolor Broad Range Protein Ladder («Thermo Scientific»);
- 5-10 – фракции элюции с Nuvia cPrime

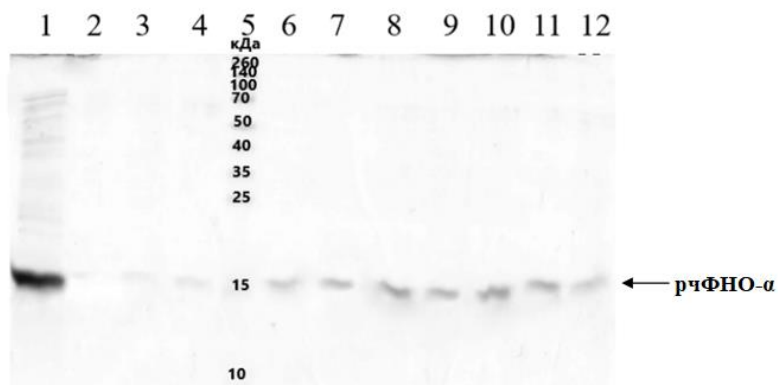


Рис. 2 Электрофореграмма фракций рчФНО-α после нанесения на колонку Sephadex G-100:

- 1 – контроль (образец рчФНО-α, наносившийся на колонку);
- 2-4, 6-12 – белковые фракции после Sephadex G-100;
- 5 – Spectra™ Multicolor Broad Range Protein Ladder («Thermo Scientific»)

Из вышесказанного следует, что оптимальные подходы к очистке рчФНО-α включают в себя тандемную хроматографию на Macro-Prep DEAE и Nuvia cPrime (pH 8,0) с последующим пропусканием фракций элюции через колонку с Sephadex G-100.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ КОНСОРЦИУМОВ ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ СРЕД, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

А. А. Кремза

alyona.kremza@mail.ru;

Научный руководитель – М. И. Мандрик, кандидат биологических наук., доцент

В результате исследования установлено, что внесение питательных веществ в виде среды Мюнца с мелассой способствует активации местной микробиоты, присутствующей в загрязненной нефтепродуктами (более 180 000 мг/кг) почве, а также способствует повышению эффективности биodeградации. Внесение бактериального консорциума деструкторов не привело к значимому повышению эффективности биodeградации нефтепродуктов, однако способствовало восстановлению микробиоценоза загрязненной почвы.

Ключевые слова: биоремедиация; бактериальный консорциум; загрязнение нефтепродуктами; биodeградация; бактерии-деструкторы.

Одной из глобальных проблем, вызванных деятельностью человека, является загрязнение экосистем нефтью и нефтепродуктами. Углеводороды нефти по-прежнему используются в качестве основного источника энергии и являются наиболее опасными загрязнителями окружающей среды [1].

Несмотря на то, что в почве содержатся микроорганизмы, способные утилизировать нефтепродукты, самостоятельное восстановление почвы с помощью присутствующей в ней микробиоты малоэффективно из-за отсутствия поступления питательных элементов для стимуляции роста микроорганизмов, отсутствия постоянной аэрации почвы, необходимой для деградации нефтепродуктов и некоторых других факторов [2].

На сегодняшний день разработано достаточно много способов ремедиации (физические, химические, биологические) территорий, загрязненных нефтью и продуктами ее переработки. Биоремедиация является наиболее безопасным способом очистки окружающей среды от нефтепродуктов. Однако ее использование имеет ряд трудностей при крупномасштабном применении, именно поэтому актуальной задачей все еще является разработка различных способов повышения эффективности биоремедиации загрязненных экосистем, в частности, создание консорциумов бактерий-деструкторов, удаляющих высокие концентрации загрязнителя.

Целью данной работы являлось изучение эффективности биоремедиации почвы, загрязненной нефтепродуктами в высокой концентрации, с использованием бактериального консорциума.

Объектами исследования были консорциум, включающий бактерий – деструкторов углеводов родов *Rhodococcus* и *Bacillus*, а также почва, загрязненная нефтепродуктами (около 180 000 мг/кг), отобранная в месте разлива.

Для микробиологического анализа использовали среды ПДА (для учета общего числа гетеротрофов) и М9 [3] с дизельным топливом (для учета деструкторов нефтепродуктов). ПЦР-анализ детерминант, определяющих способность бактерий утилизировать углеводов, проводили с использованием праймеров, специфических к генам биodeградации нафталина *nahAc* [4], *nahG* [5], *narB* [6], алканов – *alkB* [7], *rep*-областям плазмид групп IncP-9 [8] и IncP-7 [8], которые часто несут гены биodeградации углеводов.

Для создания модельных почвенных систем использовали почву, загрязненную нефтепродуктами, смешанную с опилками в соотношении 5:1. Анализ содержания нефтепродуктов проводили гравиметрическим методом [9]. Культивирование бактерий-деструкторов для внесения в почву осуществляли в среде Мюнца [10] с 2 % мелассой. В опытные образцы вносили биопрепарат в концентрации 5 % (объем/масса). В контрольные образцы вносили соответствующий объем среды Мюнца без бактерий. Обработку проводили дважды (в начале эксперимента и через 14 сут.). Почву регулярно поливали и перемешивали.

В результате эксперимента в модельных почвенных системах наблюдалось значительное снижение концентрации нефтепродуктов, как в контрольных, так и в экспериментальных образцах. В течение первых 14 сут. эффективность деградации составляла – $(42,6 \pm 17,3) \%$ в контрольных образцах и $(20,7 \pm 14,7) \%$ - в экспериментальных. К 80 сут. эффективность деградации в экспериментальных образцах увеличилась до $(35 \pm 6,6) \%$, а в контрольных образцах она почти не изменилась и составила $(42,8 \pm 2,5) \%$.

В первые 14 сут. отмечалось повышение общего содержания гетеротрофных микроорганизмов в 10 раз (с $(1,6 \pm 0,8) \times 10^5$ до $(6,9 \pm 2,2) \times 10^6$ КОЕ/г) в контрольных образцах, однако после прекращения внесения дополнительных питательных веществ в контрольные образцы общее количество гетеротрофов снизилось почти до исходных значений ($(5,4 \pm 4,0) \times 10^5$ КОЕ/г). В экспериментальных образцах на протяжении всего времени эксперимента количество культивируемых гетеротрофных микроорганизмов увеличивалось (с $(1,0 \pm 4,6) \times 10^6$ КОЕ/г до $4,8 \times 10^6$ КОЕ/г на 14 сут. и к 80 сут. возросло до $(7,2 \pm 0,6) \times 10^6$ КОЕ/г). Таким образом,

внесение биопрепарата способствует восстановлению микробиоценоза загрязненной почвы.

Причиной, по которой в контрольном образце в первые 14 сут. наблюдается более эффективная деградация, может быть явление кометаболизма, обеспечиваемое наличием в почве аборигенной углеводородоокисляющей микробиоты. В образцы с контролем вносили среду Мюнца с мелассой, содержащую биогенные элементы и легко усваиваемые субстраты, при наличии которых может происходить окисление трудно разлагаемых углеводов (например полициклических ароматических углеводов) в результате кометаболизма [11]. Наличие аборигенных бактерий-деструкторов в почве установлено как в результате микробиологического, так и молекулярно-генетического анализа. Для выявления в почве микроорганизмов – деструкторов углеводов с помощью молекулярно-генетических методов проведен ПЦР-анализ метагеномной ДНК, выделенной из образцов почвы. Он позволил выявить гены биodeградации нафталина *nahG* и плазмиды группы IncP-7, которые нередко несут детерминанты биodeградации углеводов.

В опытные образцы мы добавляли биопрепарат, в котором бактериальные культуры уже некоторое время росли в питательной среде и израсходовали часть субстратов. Они были добавлены в достаточно высоких концентрациях, что могло способствовать возникновению конкуренции с местной микробиотой. Кроме того, интродуцируемым микроорганизмам необходимо адаптироваться к условиям и субстратам, присутствующим в почве, тогда как аборигенная микробиота уже приспособлена к ним. В то же время, необходимо отметить, что к 80 сут. эффективность деградации в контрольных и экспериментальных образцах отличалась незначительно.

Библиографические ссылки

1. Шамраев А. В., Шорина Т. С. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // Вестник ОГУ. 2009. № 6 (100). С. 642-645.
2. Янин Е. П. Ремедиация территорий, загрязненных химическими элементами: общие подходы, правовые аспекты, основные способы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2014. Вып. 3. С. 3-105.
3. Миллер Дж. Эксперименты в молекулярной генетике / пер. с англ.: Ю.Н. Зографа [и др.]; под ред. и с предисл. С.И. Алиханяна. – М. : Мир, 1976.
4. Coexistence of two distinct copies of naphthalene degradation genes in *Pseudomonas* strains isolated from the western Mediterranean region / M. Ferrero [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. 2002 Vol. 68, № 2. P. 957-962.
5. Разнообразие генетических систем биodeградации нафталина у штаммов *Pseudomonas fluorescens* / Т.Ю. Измалкова [и др.] // Микробиология. 2005. Т. 74, № 1. С. 70–78.

6. Detection of genes for alkane and naphthalene catabolism in *Rhodococcus* sp. strain 1BN / V. Andreoni [et al.] // Environ. Microbiol. 2000. Vol. 2, iss. 5. P. 572-577.
7. Kloos K., Munch J. Ch., Schloter M. A new method for the detection of alkane-monoxygenase homologous genes (*alkB*) in soils based on PCR-gybridization // J. Microbiol. Methods. 2006. Vol. 66. P. 486-496.
8. PCR primers for detection and characterization of IncP-9 plasmids / R. Krasowiak [et al.] // FEMS Microbiology Ecology. 2002. Vol. 42, № 2. P. 217–225.
9. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство: 2-е изд., пе-рераб. и доп. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
10. Пирог Т.П., Шевчук Т.А., Клименко Ю.А. Интенсификация синтеза поверхностно-активных веществ при культивировании *Rhodococcus erythropolis* // Микробиология. 2010 Т. 46 С. 651–658.
11. Бабошин М. А., Финкельштейн З. И., Головлева Л. А. Кометаболизм флуорена культурами *Rhodococcus rhodochrous* и *Pseudomonas ftuorescens* // Микробиология, 2003. Т. 72, № 2. С. 194-198.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ НА РОСТ КОРНЕЙ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО И ГОРОХА ПОЛЕВОГО

Д. А. Кузьмицкий

samokhina@bsu.by;

Научный руководитель – В. В. Самохина, старший преподаватель

Бобовые культуры являются важными сельскохозяйственными объектами, обладают высокой пищевой и биологической ценностью, являются природным источником растительного белка, пищевых волокон, тиамин, никотиновой кислоты, кальция и железа. Актуальным является разработка технологий, позволяющих увеличить стрессоустойчивость и урожайность данных культур. В настоящей работе было показано влияние наночастиц оксида меди на ростовые параметры клевера лугового и гороха полевого, как представителей бобовых растений.

Ключевые слова: наночастицы; оксид меди; корень; клевер луговой; горох полевой.

ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнология – область фундаментальной и прикладной науки и техники, которая имеет дело с материалами, устройствами и структурами, размеры которых составляют от 1 до 100 нм [1]. В последние годы нанотехнологии находят все большее применение в сельском хозяйстве [2]. К основным направлениям нанобиотехнологии в области растениеводства относятся: (1) создание на основе нанопродуктов-агрохимикатов (пестицидов и удобрений) для эффективного ведения сельского хозяйства; (2) применение наносенсоров и других нанопродуктов в защите растений для идентификации болезней и остатков агрохимикатов; (3) разработка наноприборов для генной инженерии растений [1, 3]. Также широко используются наночастицы металлов и их оксиды за счет того, что они хорошо проникают через растительную мембрану или могут переходить в доступную для растений форму в почвенном растворе. Положительный эффект влияния наночастиц на растения выражается в удлинении корней и побегов растений, увеличении прироста биомассы проростков. Кроме того, в листьях наблюдается увеличение количества хлорофилла, а также изменяются некоторые биохимические процессы, ведущие, например, к накоплению антиоксидантных ферментов, что позволяет повысить стрессоустойчивость растений [4]. Однако имеются данные, что высокие концентрации наночастиц могут приводить к пагубному влиянию на растения, ингибируя их процессы жизнедеятельности [3]. Таким образом,

актуальным является анализ воздействия наночастиц металлов на различные сельскохозяйственные культуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись проростки клевера лугового (*Trifolium pratense*) и гороха полевого (*Pisum arvense*). В работе использовались растворы наночастиц оксида меди (сферической формы, 40-50 нм) в концентрации 0,1-1000 мг/л. Эксперимент длился на протяжении 10 дней и включал следующие этапы:

- стерилизацию семян и их посадку рулонным методом на 20% среду Кнопа следующего состава (г/л): 1,0 Ca(NO₃)₂; 0,25 KН₂PO₄; 0,125 KCl; 0,25 MgSO₄; 0,0125 FeCl₃.
- ежедневное накапывание 20 мкл растворов наночастиц различных концентраций на кончики корней клевера и гороха;
- фоторегистрацию прироста корней;
- обработку полученных изображений при помощи программы ImageJ;
- расчет достоверности различий при помощи ANOVA теста.

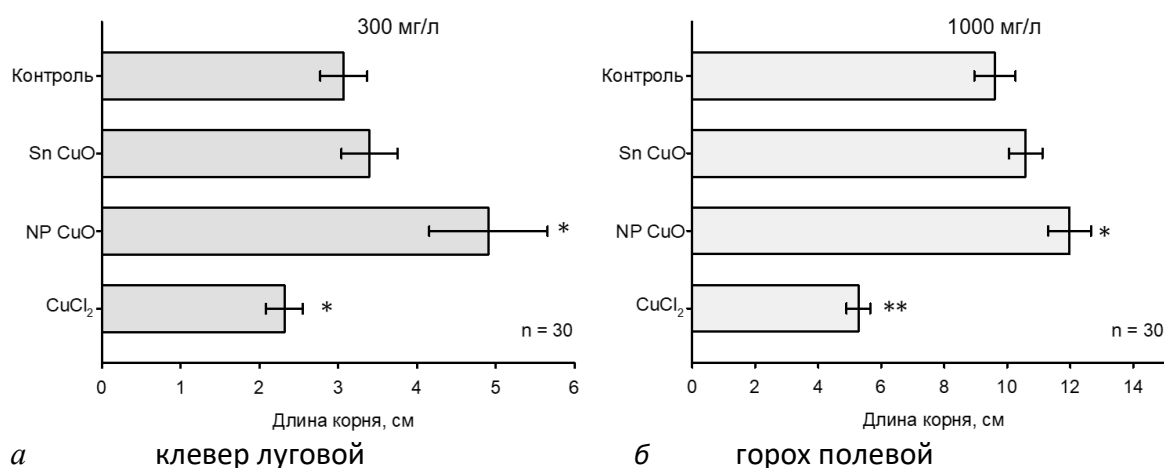
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Были проведены исследования воздействия наночастиц оксида меди, супернатанта (растворы соответствующих концентраций наночастиц были отцентрифугированы, после чего была отобрана надосадочная жидкость) и хлорида меди (ионная форма металла) на ростовые процессы у клевера лугового и гороха полевого. Было показано, что медь оказывает различное влияние на рост корней зависимости от формы и концентрации (рисунок).

Для клевера лугового максимальное стимулирующее действие обработок медью было отмечено для наночастиц в концентрации 300 мг/л (рисунок, панель А). Длина корней увеличивалась на 40% по сравнению с контролем. В то же время аналогичная концентрация ионов меди оказывала ингибирующее действие, длина корней уменьшалась на 20-25%. Рост корней после обработки супернатантом не отличался от контрольной группы растений. Таким образом, положительный эффект наночастиц оксида меди связан с их непосредственным взаимодействием с растительными клетками.

В случае гороха полевого показаны аналогичные эффекты. Однако действующая концентрация была выше и составила 1 г/л (рисунок, панель Б). Длина корня увеличивалась на 20% при воздействии 1 г/л наночастиц оксида меди, не изменялась при обработке супернатантом и уменьшалась в 2 раза при добавлении 1 г/л хлорида меди.

Таким образом, наблюдаемые эффекты воздействия наночастиц оксида меди зависят не только от концентрации наночастиц, но и от вида растения, на которое они воздействуют. Наночастицы меди (сферической формы, 40-50 нм) в протестированном диапазоне концентраций 0,1 – 1000 мг/л не оказывали ингибирующего эффекта на длину корней клевера лугового и гороха полевого. Более того добавление 300 и 1000 мг/л наночастиц оксида меди стимулировала рост корневой системы. Однако обработка растений хлоридом меди (300 и 1000 мг/л) приводила к уменьшению длины корней на 25-50%.



Изменение длины корней клевера лугового (а) и гороха полевого (б) на 10 сутки после обработки наночастицами оксида меди (NP CuO), супернатантом (Sn CuO) и хлоридом меди (CuCl₂), концентрации указаны на рисунке. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста по отношению к контролю: * и ** означают $p < 0,01$ и $p < 0,001$, соответственно

Библиографические ссылки

1. Augustine, R. Emerging applications of biocompatible phytosynthesized metal/metal oxide nanoparticles in healthcare / R. Augustine, A. Hasan // J. Drug Deliv. Sci. Technol. 2020. Vol. 56 P. 101516.
2. Diverse influence of nanoparticles on plant growth with a particular emphasis on crop plants / A. Milewska-Hendel [et al.] // Acta Agrobotanica. 2016. Vol. 69, № 4.
3. Green Nanotechnology: Biomimetic Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants and Their Application in Agriculture and Forestry / M. Gholami-Shabani [et al.] // Nanotechnology / eds. R. Prasad, M. Kumar, V. Kumar. – Singapore: Springer Singapore, 2017. Green Nanotechnology. P. 133-175.
4. Effects of Different Metal Oxide Nanoparticles on Plant Growth / H. Panakkal [et al.] // Nanotechnology in Plant Growth Promotion and Protection: Recent Advances and Impacts. 2021 P. 259-282.

ПОЛУЧЕНИЕ КУЛЬТУР ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ КЛЕТОК СО СТАБИЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ ГЕНА CAS9

И. Э. Куфко, Е. С. Покладок

icufko@gmail.com, katena.pokladok@mail.ru;

научный руководитель – Т. В. Романовская, кандидат биологических наук, доцент.

Методом котрансфекции с использованием клеток HEK293T, были получены лентивирусные частицы, несущие ген Cas9 и ген устойчивости к бластицидину. Их использовали для трансдукции клеточных культур HEK293T и Kasumi-1. В клеточных линиях, полученных после селекции, методом ПЦР была подтверждена экспрессия гена Cas9. Линии могут быть в дальнейшем использованы в экспериментах по нокауту различных целевых генов.

Ключевые слова: CRISPR/Cas9; котрансфекция; лентивирусная трансдукция; лентивирусный вектор; HEK293T; Kasumi-1.

ВВЕДЕНИЕ

Система CRISPR/Cas (CRISPR, от англ. Clustered Regular Interspaced Short Palindromic Repeats; Cas, от англ. CRISPR-associated) является удобным и надежным инструментом редактирования генома, позволяющим исследователям точно манипулировать конкретными геномными элементами и облегчающим выяснение функции целевого гена в биологии заболеваний. Для проведения нокаута целевого гена с помощью этой системы в клетках должны присутствовать неспецифическая нуклеаза Cas9 и программируемая последовательность небольшой РНК – обозначаемой как гидРНК, или gRNA, которая направляет Cas9 на расщепление ДНК. Таким образом генерируются двухцепочечные разрывы в целевых сайтах [3]. Последующий процесс репарации клеточной ДНК приводит к появлению изменений последовательности в виде вставок, делеций или замен в сайтах-мишенях. Мы поставили перед собой задачу получить культуры клеток человека, которые способны стабильно экспрессировать белок Cas9.

В нашем эксперименте использовались две клеточные линии. Одна из них – HEK293T – представляет собой иммортализованную линию эмбриональных клеток почки человека. Вторая линия – Kasumi-1, с 1991 года представляющая инструмент для изучения специфических молекулярных, морфологических, иммунофенотипических особенностей острого миелоидного лейкоза [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения цели работы был выбран метод трансдукции с применением лентивирусных векторов.

Для создания вирусных частиц была проведена котрансфекция клеток НЕК293Т с использованием трёх плазмид: lentiCas9-Blast (номер в банке плазмид Addgene – #52962) [4], несущей ген Cas9 и обеспечивающей устойчивость к антибиотику бластицидину, pCMV_dR8_91 и pMD2_G. Вспомогательным компонентом служил полиэтиленимин, добавленный к смеси плазмид в массовом отношении 2:1. Спустя 72 часа после трансфекции производился сбор среды, содержащей лентивирусные частицы. Концентрирование лентивирусных частиц производили посредством центрифугирования (16 ч, 16000g при температуре +4°C). Из 10 мл собранной среды получали 1 мл концентрированного раствора вирусов.

При проведении трансдукции в качестве вспомогательного реагента использовался Polybrene. Для Kasumi-1 была проведена дополнительно процедура спинокуляции (центрифугирование 90 мин, 800g при температуре 32°C) для повышения эффективности трансдукции.

Для отбора трансдуцированных клеток они были высеяны на селективную среду, содержащую бластицидин в концентрации 1 мкг/мл.

Верификация экспрессии гена Cas9 в полученных линиях проводилась с использованием стандартной ПЦР или ПЦР в реальном времени, а также электрофореза в агарозном геле. ПЦР проводили с использованием в качестве матрицы кДНК, полученной посредством реакции обратной транскрипции на выделенной из клеток РНК.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения культур клеток, экспрессирующих ген Cas9, проводили лентивирусную трансдукцию, согласно описанной выше методике. Клетки селектировали и подвергали дальнейшему анализу для подтверждения успешности эксперимента.

Клетки контрольной культуры линии НЕК293Т, не проходившие трансдукцию и, соответственно, не содержащие гена устойчивости к бластицидину, не адгезируются на пластике и не пролиферируют, что говорит об их гибели (рисунок 1).

Такая же разница в выживаемости клеток при обработке бластицидином наблюдается и для Kasumi-1: нетрансдуцированные клетки погибают, а клетки, полученные после трансдукции и прошедшие этап селекции, – устойчивы.

Выживаемость полученных клеточных линий стабильно сохранялась на протяжении более 2 месяцев, что соответствует более 20 раундам клеточных делений и говорит об интеграции гена устойчивости бластицидина в геном клеток. Подобные результаты позволяют говорить также о стабильной экспрессии и гена Cas9, расположенного

непосредственно рядом с геном устойчивости в переносимой конструкции.

Для подтверждения экспрессии в клетках культуры НЕК293Т гена Cas9 был поставлен ПЦР-тест. Для этого из клеток была выделена тотальная РНК, которая использовалась в качестве матрицы для синтеза кДНК. Далее была проведена амплификация кДНК со специфичными праймерами и электрофорез в агарозном геле, подтвердивший наличие гена Cas9 в РНК клеток и, следовательно, его экспрессию (рисунок 2). На 3 дорожке находится продукт ПЦР с праймерами к гену Cas9, здесь виден фрагмент, соответствующий ожидаемому размеру (113 п.н.); на 4 дорожке находится ДНК не модифицированных клеток НЕК293Т, выполнявшая функцию отрицательного контроля. ДНК в дорожках 1 и 2 служили положительным контролем: они содержат амплифицированный фрагмент (142 п.н.) клеточного гена «домашнего хозяйства» GAPDH.

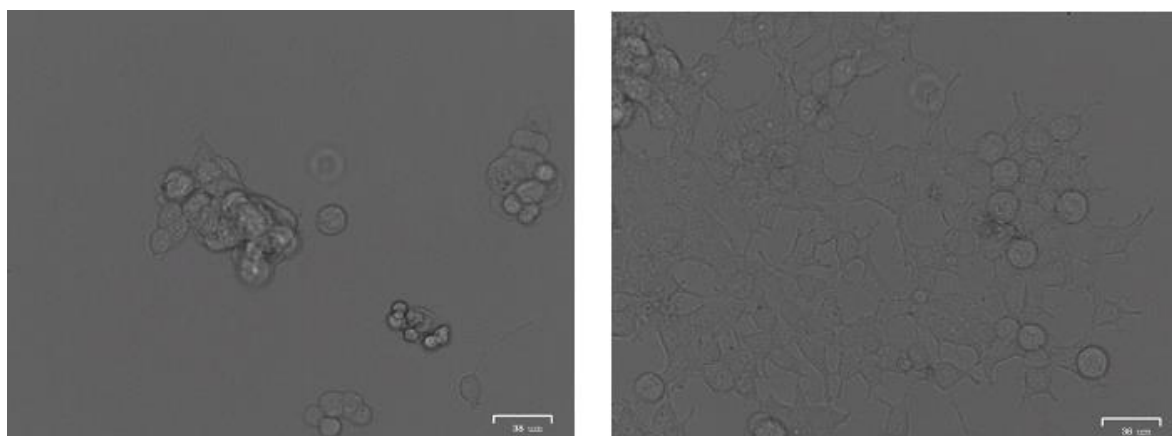


Рис. 1. Результаты микроскопического анализа культуры НЕК293Т/Cas9 на питательной среде, содержащей антибиотик бластицидин.

Слева – фотография клеток НЕК293Т не подвергавшихся трансдукции, справа – фотография клеток этой же линии, после трансдукции и селекции с бластицидином в течение 7 дней. Размер масштабной линейки – 38 мкм.

Для проверки экспрессии гена Cas9 в культуре Kasumi-1 была проведена ПЦР в реальном времени на полученной кДНК из стандартных клеток этой культуры и модифицированных – Kasumi-1/Cas9 (рисунок 3). В качестве положительного контроля были проведены реакции с праймерами для гена ТВР, конститутивно экспрессирующегося в клетках. Полученные данные ПЦР в реальном времени подтверждают экспрессию гена Cas9 в культуре Kasumi-1.

Таким образом, итогом работы стало получение двух клеточных линий, в геноме которых стабильно интегрирован ген Cas9. В дальнейшем эти линии могут быть использованы в разнонаправленных экспериментах

по нокауту генов. В частности, это позволит оценить роль некоторых генов в контроле выживаемости и пролиферации лейкозных клеток.

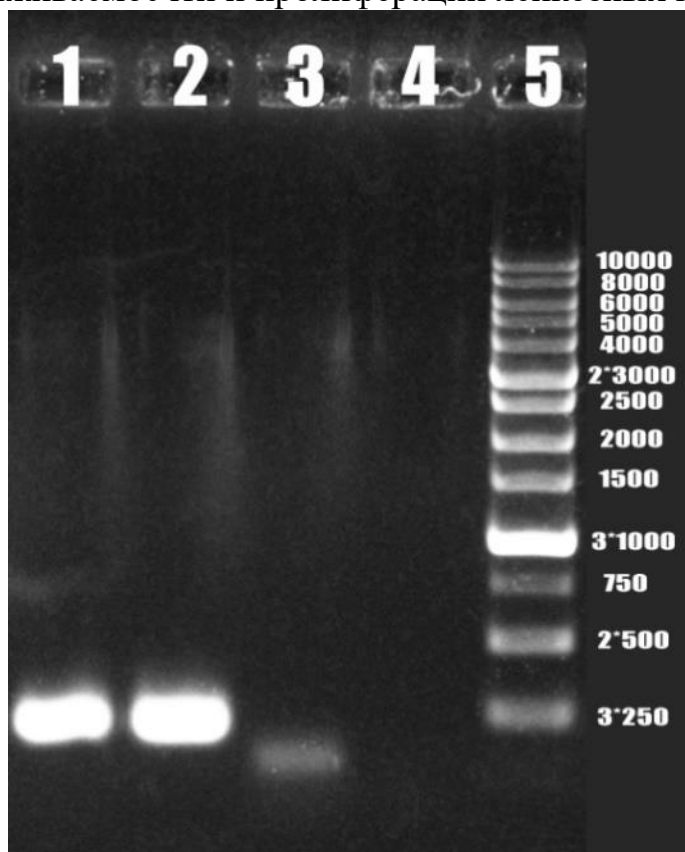


Рис. 2. Результаты электрофореза продуктов ПЦР кДНК HEK293T/Cas9

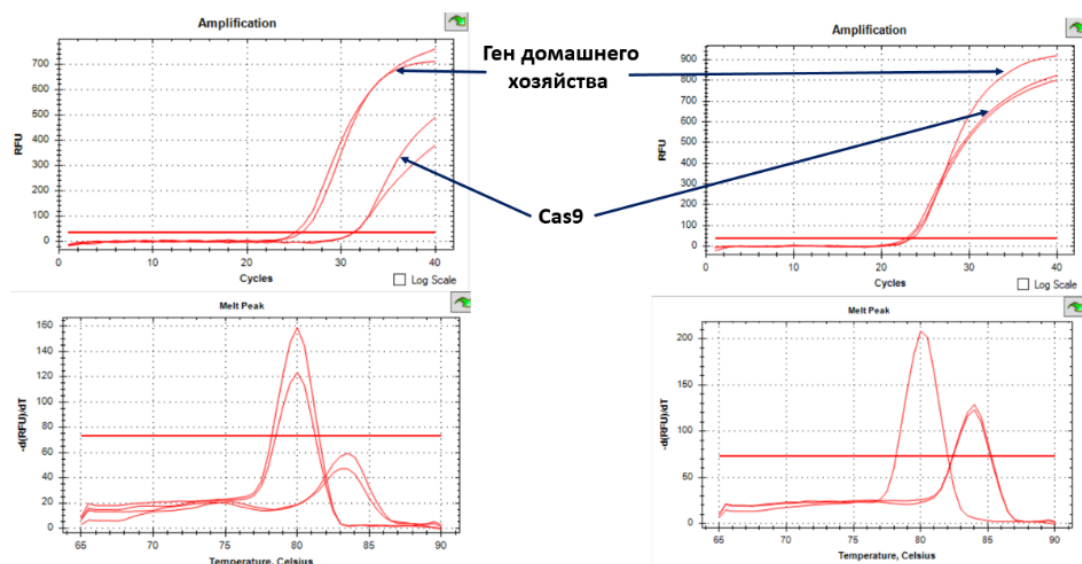


Рис. 3. Результаты ПЦР в реальном времени на кДНК Kasumi-1/Cas9. Слева – данные для культуры без модификации, справа – данные для модифицированной культуры. Вверху – кривые амплификации, внизу - кривые плавления

Библиографические ссылки

1. Grossman, Z. Recombination between simian virus 40 and adeno-associated virus: virion coinfection compared to DNA cotransfection / Z. Grossman, E. Winocour, K.I. Berns // *Virology*. 1984. Vol. 134, № 1. P. 125-137.
2. Larizza, L. The Kasumi-1 cell line: a t(8;21)-kit mutant model for acute myeloid leukemia / L. Larizza, I. Magnani, A. Beghini // *Leuk Lymphoma*. 2005. Vol. 46, № 2. P. 247-255.
3. Ma, Y. Genome modification by CRISPR/Cas9 / Y. Ma, L. Zhang, X. Huang // *FEBS J*. 2014. Vol. 281, № 23. P. 5186-5193.
4. Sanjana, N.E. Improved vectors and genome-wide libraries for CRISPR screening / N.E. Sanjana, O. Shalem, F. Zhang // *Nat Methods*. 2014. Vol. 11, № 8. P. 783-784.

РЕГУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССА БИОДЕГРАДАЦИИ НАФТАЛИНА В КЛЕТКАХ БАКТЕРИЙ *RHODOCOCCLUS PYRIDINIVORANS* 5AP

А. Ю. Ларченко

larch.alina@gmail.com;

Научный руководитель – М. И. Мандрик, кандидат биологических наук, доцент

В результате исследования в геноме бактерий *Rhodococcus pyridinivorans* 5Ap выявлено около 400 генов, кодирующих транскрипционные факторы различных семейств. Установлено, что гены биodeградации могут находиться под контролем транскрипционных факторов, относящихся к семействам GntR, XylR, LysR, IclR, TetR. Белок – регулятор кластера деградации нафталина NarR1 является типичным транскрипционным фактором семейства GntR, в то время как белок NarR2 не обладает структурой, характерной для транскрипционных регуляторов – отсутствует ДНК-связывающий домен. Результаты проведенного филогенетического анализа свидетельствуют о родо- и видоспецифичности детерминант транскрипционных факторов.

Ключевые слова: *Rhodococcus*; биodeградация нафталина; транскрипционная регуляция; регуляторные белки.

ВВЕДЕНИЕ

Бактерии *Rhodococcus pyridinivorans* 5Ap являются деструкторами широкого круга углеводов (фенола, о-ксилола, нафталина, гексадекана и др.). Способность расти на различных токсичных субстратах определяется наличием разнообразных систем биodeградации и устойчивости к стрессовым воздействиям, что предполагает присутствие в геноме многочисленных регуляторных детерминант.

Способность исследуемых бактерий к деструкции нафталина детерминирована *nar*-кластером, индуктором которого является нафталин. В состав кластера входят следующие гены: *narAa*, соответствующий большой субъединице, и *narAb* – малой субъединице диоксигеназы, гидроксимирующей ароматическое кольцо, *narB*, кодирующий цис-нафталиндигидродиолдегидрогеназу и *narC* – гидратазу-альдолазу. Помимо кодирующих ферменты, в кластер включены гены, кодирующие рубредоксины – *rub1*, *rub2* и *rub1bis*. Также присутствуют гены *narR1* – кодирует GntR-подобный белок-регулятор транскрипции, обладающий доменом спираль-поворот-спираль, и *narR2*, который, согласно литературным данным, кодирует XylR-подобный белок, активатор транскрипции, стартовый кодон которого перекрывается со стоп-кодом *narR1*. Между *narR2* и *rub1* у *Rhodococcus* sp. NCIMB12038 обнаружен ген, кодирующий фермент транспозазу – *tnR7*, ниже которого находятся 7 открытых рамок считывания [6].

Целью работы являлся поиск и анализ регуляторных генов в геноме бактерий *R. pyridinivorans* 5Ap.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили нуклеотидные последовательности хромосомы (номер в ГенБанке NCBI NZ_CP063450.1) и плазмид pNAPH (номер в ГенБанке NCBI NZ_CP063451.1), pSID (номер в ГенБанке NCBI NZ_CP063453.1), pRh5Ap-243 (номер в ГенБанке NCBI NZ_CP063452.1) бактерий *R. pyridinivorans* 5Ap.

Для анализа нуклеотидной последовательности хромосомы и плазмид бактерий *R. pyridinivorans* 5Ap использовали программу SnapGene Viewer 3.2.1 (http://www.snapgene.com/products/snapgene_viewer/) и интернет-ресурс BLAST 2.13.0 (сайт: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>). Для филогенетического анализа аминокислотных последовательностей использовали программу MEGA X [3]. При построении филогенетических деревьев использовали алгоритм связывания ближайших соседей (Neighbour-Joining) с бутстрепами (Bootstrap Test of Phylogeny). Достоверным считали значение бутстрепа более 50 %. Анализ доменов белков проводили с помощью биоинформационных программ и баз данных, PRABI-GERLAND RHONE-ALPES BIOINFORMATICS POLE GERLAND SITE, MEME [2], Smart-EMBL [5], InterPro [1], BLAST, Pfam. Для поиска генов транскрипционных факторов использовали программу SigoID [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геном бактерий *R. pyridinivorans* 5Ap включает:

- Хромосому размером 5 220 735 п.н.;
- плазмиду биодеградации нафталина pNAPH размером 207 816 п.н.;
- плазмиду биосинтеза сидерофоров pSID размером 250 412 п.н.;
- плазмиду устойчивости к различным неблагоприятным факторам внешней среды pRh5Ap-243 размером 243 239 п.н..

С помощью программы SigoID [4] в хромосоме выявлено 347 генов транскрипционных регуляторов, относящихся к семействам TetR/AcrR, TetR, MarR, MerR, Rrf2, ROK, LysR, GntR, WhiB, Crp/Fnr, LacI, IclR, AraC, LuxR, FmdB, PucR, FadR, Lrp/AsnC, YebC/PmpR, YafY, PadR, BlaI/MecI/CopY, PhoU.

На плазмиде pSID было выявлено 269 ОРС (открытых рамок считывания), среди которых только четыре кодируют транскрипционные регуляторы, относящиеся к семействам ArsR/SmtB, ArsR и WhiB.

На плазмиде pRh5Ap-243 из 232 ОРС 21 кодирует транскрипционные регуляторы: по три регулятора, относящихся к семействам - ArsR и BlaI; по два регулятора, относящихся к семействам - AcrR, CopY, MecI, TetR, и ДНК-связывающий регулятор ответа OmpR; по одному регулятору семейств MerR, StmB, XRE, DtxR.

На плазмиде pNAPH выявлено 212 ОРС, из которых 13 кодируют транскрипционные регуляторы, проявляющие сходство с гомологичными генами различных бактерий (*R. rhodochrous*; *R. jostii*; *R. opacus*; *R. aetherivorans*; *R. pyridinivorans*; *R. phenolicus*; *Microbacterium laevaniformans*). Плазида pNAPH несет большое количество генов биodeградации различных соединений, в т.ч. два локуса, кодирующих диоксигеназы, обеспечивающие первичное окисление полициклических ароматических углеводородов (нафталина и бифенила). В непосредственной близости от кластера биodeградации нафталина (*nar*) локализовано два гена, кодирующих регуляторы, относящиеся к семействам GntR (белок NarR1) и XylR (белок NarR2).

Филогенетический анализ позволил установить, что белки NarR1 и NarR2 образуют отдельные группы на филогенетическом древе и являются единственными их представителями. Остальные ветви древа представлены иными одиночными видами рода *Rhodococcus*, что говорит о родо- и видоспецифичности данной детерминанты. Наиболее близкие последовательности в основном выявляются в геномах родококков группы С, тогда как исследуемые нами бактерии *R. pyridinivorans* 5Ap принадлежат к группе В.

Что касается доменного строения регуляторных белков, NarR1 является типичным транскрипционным регулятором семейства GntR с N-концевым (12-70 а.к.) ДНК-связывающим НТН-доменом и С-концевым лиганд-связывающим доменом (80-208 а.к.). Иная картина сложилась вокруг регулятора NarR2. В литературных источниках, а также в базе данных ГенБанк NCBI этот регулятор относят к семейству транскрипционных регуляторов XylR, однако в результате анализа в составе белка NarR2 не было выявлено характерных для транскрипционных факторов ДНК-связывающих мотивов. На N-конце не выявлено известных мотивов. Единственный выявленный домен - винил-4-редуктазный - локализуется на С-конце. В базах данных v4p и xylR-N указывают, что данный домен характерен в том числе для белков-регуляторов генов биodeградации ароматических соединений. Вероятно, NarR2 может действовать опосредованно, через белок NarR1, или является дефектным, нефункциональным белком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в геноме бактерий *R. pyridinivorans* 5Ap выявлено около 400 генов, кодирующих транскрипционные факторы различных семейств. Гены биодegradации находятся под контролем транскрипционных факторов, относящихся к семействам GntR, XylR, LysR, IclR, TetR. Гены регуляторов относительно контролируемых оперонов локализуются в геноме бактерий *R. pyridinivorans* 5Ap как выше, так и ниже, и транскрибируются в том же или в противоположном направлении. Регулон биодegradации нафталина находится под контролем регуляторных белков NarR1 и NarR2, при этом белок NarR1 является типичным транскрипционным фактором семейства GntR, имеет в своем составе ДНК-связывающий домен на N-конце и эффектор-связывающий домен на C-конце. Белок NarR2 не обладает структурой, характерной для транскрипционных регуляторов, о чем свидетельствует отсутствие ДНК-связывающего домена.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Министерства образования Республики Беларусь (грант Б22МВ-029), а также в рамках задания 3.6.2 ГПНИ «Биотехнологии»

Библиографические ссылки

1. InterPro in 2022 / T. Paysan-Lafosse [et al.] // Nucleic Acids Research. 2023. Vol. 51, № 1. P. 418-427.
2. The MEME Suite / T.L. Bailey [et al.] // Nucleic Acids Research. 2015. Vol. 43, № 1. P. 39-49.
3. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms / S. Kumar [et al.] // Mol Biol Evol. 2018. Vol. 35, № 6. P. 1547-1549.
4. Nikolaichik, Y. Sigmoid: a user-friendly tool for improving bacterial genome annotation through analysis of transcription control signals / Y. Nikolaichik, A.U. Damienikan // PeerJ. 2016. Vol. 4 P. 2056.
5. SMART: identification and annotation of domains from signalling and extracellular protein sequences / C.P. Ponting [et al.] // Nucleic Acids Res. 1999. Vol. 27, № 1. P. 229-232.
6. Web-Type Evolution of Rhodococcus Gene Clusters Associated with Utilization of Naphthalene / L.A. Kulakov [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. – 2005. Vol. 71, № 4. P. 1754-1764.

СОЗДАНИЕ КОЛЛЕКЦИИ СВОБОДНОЖИВУЩИХ БАКТЕРИЙ-АЗОТФИКСАТОРОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ

В. В. Леонович

veronicaleonovich@gmail.com

Научный руководитель – Д. В. Маслак, заведующий сектором НИЛ Молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики

Целью работы было создание коллекции изолятов азотфиксаторов, фитостимулирующих биопрепаратах. Из природных источников выделено 38 изолятов несимбиотических бактерий-азотфиксаторов, изучены их фитопатогенные, фосфатмобилизующие свойства и способность стимулировать рост растений. Отобраны 14 изолятов, перспективных для использования при разработке биопрепаратов для растениеводства.

Ключевые слова: агробиотехнология, биопрепарат; бактерии-азотфиксаторы; фосфатмобилизация; стимуляция роста *Ch; vulgaris*.

Азот является одним из основных элементов, необходимых для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Чтобы восполнить недостаток азота в почве, проводятся различные агротехнические мероприятия, в основном добавление минеральных и органических удобрений. К сожалению, такая стратегия имеет негативные эффекты при неправильном или долгосрочном применении. Так, при внесении азотных удобрений снижается азотфиксирующая активность микробиома [1], а из-за способности азота накапливаться в растениях и грунтовых водах страдает экология.

Биологический азот, в отличие от минерального, в почву поступает постепенно, в течение всего периода вегетации, что исключает его избыточное накопление в растениеводческой продукции и окружающей среде. Это достигается благодаря тесной связи между растением и микроорганизмами-азотфиксаторами, в результате чего практически весь фиксированный азот сразу же поступает в метаболические пути и используется для биосинтеза азотсодержащих соединений [2].

Большинство существующих в настоящее время биопрепаратов на основе бактерий-азотфиксаторов созданы на основе симбиотических микроорганизмов. Такие препараты имеют высокую специфичность и не могут быть использованы для большого круга культур. В настоящее время возрос интерес к препаратам на основе ассоциативных и свободноживущих азотфиксаторов, которые будут иметь более широкий спектр применения.

МЕТОДЫ

Выделение азотфиксирующих бактерий и исследование у выделенных изолятов наличия агрономически значимых свойств проводили согласно общепринятым методикам [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выделение изолятов свободноживущих и ассоциативных бактерий-азотфиксаторов проводили из образцов почвы различных природных источников, отличающихся по антропогенному воздействию – парк Павлова г. Минска, фермерские хозяйства Республики Беларусь, природный заповедника Дубрава «Щемяслицкая», а также из корневой зоны растений голубики и винограда частного участка в садово-огородном товариществе. Критерием способности выделенных бактерий к азотфиксации являлась их способность к росту на безазотной среде Эшби. В ходе проведенной работы выделено 38 бактериальных изолятов.

Для исключения из дальнейшей работы фитопатогенных бактерий, выделенные бактериальные изоляты исследовали на наличие следующих признаков: наличие целлюлолитической и пектатлитической активности, способность мацерировать растительные ткани картофеля и моркови, проявлять фитотоксичные свойства по отношению к культуре *Chlorella vulgaris* и способность вызывать некроз листьев боба обыкновенного. Из 38 изолятов 18 имели не менее двух признаков фитопатогенности и были исключены из дальнейшей работы как потенциально опасные для растений. Особое внимание уделяли способности бактерий вызывать некроз растительной ткани. Так из дальнейших исследований удалили изоляты, бактериальная суспензия которых вызывала в течение 48 часов после инокуляции некроз большей части листа боба обыкновенного (даже при отсутствии у бактерий данного изолята других признаков фитопатогенности).

Необходимо отметить, что 20 изолятов бактерий, отобранных для дальнейших исследований, не проявляли антагонистическую активность по отношению к *Ch. vulgaris*, не вызывали некроз на листьях боба обыкновенного и не обладали пектатлитической активностью. Из них 9 изолятов обладали целлюлитической активностью, 4 – мацерировали ткань клубней картофеля и 1 мацерировал ткань корнеплода моркови.

У 20 изолятов нефитопатогенных бактерий-азотфиксаторов изучены такие агрономически полезные свойства, как способность к фосфатмобилизации (растворять малорастворимые неорганические соединения фосфора) и способность стимулировать рост микроводоросли *Ch. vulgaris* как модельного объекта растительной клетки. Результаты проведенных экспериментов представлены в таблице.

**Агрономически значимые свойства нефитопатогенных азотфиксирующих
изолятов, выделенных из почвенных образцов**

Изолят	Наличие факторов фитопатогенности	Стимуляция роста <i>Ch. vulgaris</i>	Фосфатмобилизующая активность
БП	Ц	++	-
Б2П	-	+	-
В3Б	М	++	-
Г1	Ц	-	-
Г2	-	++	-
Г3	Ц	++	-
Г111	М	++	-
Е3	Ц	+	+
Е11	Ц	++	-
К1	Ц	++	-
К2	-	+	-
К5	Ц	+	-
К11	Ц	-	-
К111	М	++	-
К210	-	++	-
К40	М	++	-
К6	-	+	-
И1	Ц	-	+
И111	М	-	-
И5	Ц	++	+

Примечание: Ц – наличие целлюлолитической активности;

М – способность к мацерации растительных тканей

«-» – отсутствие признака

«+» – наличие признака

«+++» – сильное проявление признака Как видно из представленных данных, из 20 исследованных изолятов несимбиотических бактерий-азотфиксаторов, 16 стимулировали рост *Ch. vulgaris*. Бактерии двух изолятов – Е3 и И5 – кроме способности стимулировать рост *Ch. Vulgari* так же продемонстрировали способность к фосфатмобилизации, бактерии изолята И1 обладали фосфатмобилизующими свойствами, но не стимулировали рост хлореллы.

Необходимо отметить, что способность бактерий разлагать целлюлозу, если это не сопровождается наличием иных факторов фитопатогенности, является преимуществом при рассмотрении вопроса о включении данного микроорганизма в состав микробиологических удобрений. Микроорганизмы с такими свойствами могут ускорять разложение растительных остатков в почве, переводя углерод, связанный в молекулах биополимеров, в доступную для растений форму.

На основании полученных данных для дальнейших исследований отобраны 14 изолятов ассоциативных и свободноживущих бактерий-азотфиксаторов – БП, ВЗБ, Г2, Г3, Г111, Е11, Е3, К1, К2, К210, К40, К111, И1, И5. Способность этих бактерий оказывать влияние на рост и развитие растений сельскохозяйственных культур будут исследованы в ходе дальнейшей работы.

Не фитопатогенные бактерии-азотфиксаторы, выделенные и изученные в ходе проведенной работы, помещены в коллекцию микроорганизмов НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии.

Библиографические ссылки

1. *Егоров В.С.* Последствие разных систем удобрения на процессы несимбиотической азотфиксации и денитрификации на дерново-подзолистой почве // Проблемы Агрохимии И Экологии. 2008. № 1. С. 13 – 16.
2. *Завалин, А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С.* Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия2019. № 8. С. 83 – 96.
3. *Желдакова Р.А., Мямин В.Е.* Фитопатогенные микроорганизмы: Учеб. – метод. комплекс для студентов биол. фак. спец. G – 31 01 01 «Биология». Минск: БГУ, 2005.

ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ КЛЕТОК ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ И МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНАЗИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А. А. Лукашевич, Е. С. Покрова, А. Г. Зинкевич, А. А. Жизневская

lukashevichalesya@gmail.com;

Научный руководитель – Е. Г. Веремеенко, кандидат биологических наук, доцент

Важным свойством любого противоопухолевого препарата является его безопасность для нормальных клеток. В отличие от малигнизированных, культуры нормальных клеток плохо поддаются субкультивированию, что приводит к необходимости использования первичных культур. В данной работе были получены первичные культуры клеток печени, кожи, спинного и костного мозга грызунов, а также доказана эффективность использования культуральной жидкости для стимуляции вхождения клеток в культуру.

Ключевые слова: первичные культуры; культивирование животных клеток; тестирование противораковых препаратов.

ВВЕДЕНИЕ

Первичная культура – это стадия культуры, полученная после выделения клеток из ткани до первого субкультивирования. Получение первичных культур осуществляется в 4 стадии: получение образца, выделение ткани, препарирование и(или) дезинтеграция, посев в культуральную посуду [1]. В данной работе были оптимизированы методики получения первичных культур клеток различных тканей грызунов. Полученные культуры клеток в дальнейшем будут использованы для тестирования биологической активности феназиновых соединений, как потенциальных противоопухолевых агентов [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

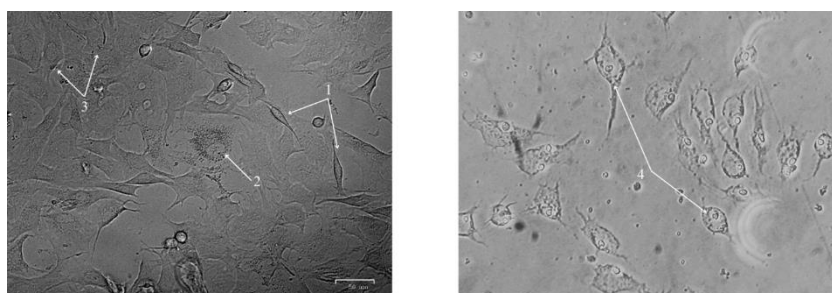
Для получения первичных культур клеток различных тканей использовалась методика первичных эксплантов с модификациями, а также метод ферментативной дезинтеграции [1]. Для стимуляции прикрепления клеток к поверхности культуральной посуды все флаконы предварительно обрабатывались 500 мкл телячьей эмбриональной сыворотки на протяжении ночи. Культивирование всех культур осуществлялось в стандартных условиях в CO₂-инкубаторе (Binder, Германия), при 5% CO₂ и 37°C, в среде DMEM (Lonza, США) с 10% телячьей эмбриональной сывороткой и смесью антибиотиков в концентрации 10 мкг/мл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Культура печени мыши была получена методом первичного экспланта. Для этого печень была освобождена от капсулы, а паренхима органа была фрагментирована. В первичной культуре печени мыши были идентифицированы гепатоциты.

Первичная культура эпителиальных клеток кожи была получена посредством ферментативной дезинтеграции с использованием смеси ферментов коллагеназы и эластазы. За основу был взят протокол [1]. Для получения культуры был использован фрагмент кожи с ушей. Фрагмент был очищен, фрагментирован, отмыт в 70% этиловом спирте и в PBS буфере. Отмытые фрагменты были помещены в пробирку с 1,5 мл среды, в которую была добавлена смесь ферментов (200 ед./мл). Фрагменты ткани инкубировали в течение 48 ч при 37°C. Далее в культуральный флакон переносили 500 мкл жидкости, а также несколько фрагментов ткани, оставшихся после дезинтеграции.

В первичной культуре клеток кожи крысы (рис. 1) были обнаружены фибробласты, макрофаги, кератиноциты и меланоциты.



a

б

1 – фибробласты; *2* – макрофаг; *3* – кератиноциты; *4* – меланоциты

a: Axiostar plus, A-Plan 32x/0.25 Ph 1 Var (ZEISS, Германия); *б*: ZOE Fluorescent Cell Imager (BIO-RAD, США)

Рис. 2. Первичная культура клеток кожи крысы

Получение первичной культуры спинного мозга крысы осуществлялось методом первичного экспланта. Для получения культуры был использован позвоночник. Из него с помощью пинцета извлекали спинной мозг и фрагментировали. Полученные участки отделялись от оболочек. Внутреннее содержимое переносилось в культуральный флакон, предварительно инкубированный с 500 мкл сыворотки.

В первичной культуре клеток спинного мозга (рис 2) были идентифицированы нейроны и глиальные клетки.

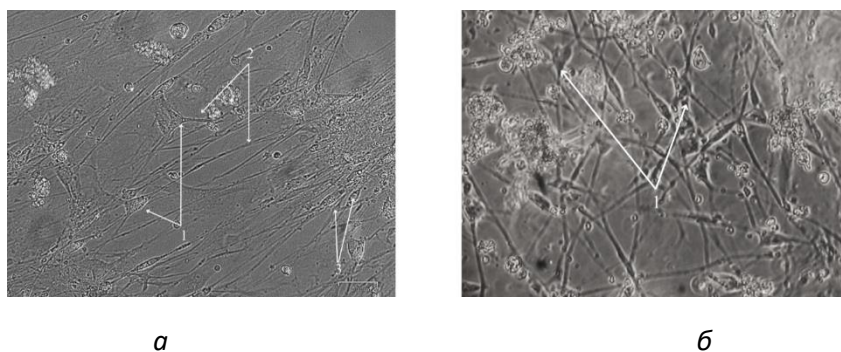


Рис. 2. Первичная культура клеток спинного мозга крысы:
а: ZOE Fluorescent Cell Imager (BIO-RAD, США); *б:* Axiostar plus, A-Plan 32x/0.25 Ph 1 Var (ZEISS, Германия)

1 – тела нейронов, 2 – отростки нейронов, 3 – глиальные клетки

Для получения первичной культуры клеток костного мозга были использованы бедренная и большеберцовая кости крысы. Эпифизы костей удаляли. Для удаления клеток крови полость каждой из костей промывали 1 мл среды RPMI с помощью стерильного шприца. Затем использовали 2 мл среды DMEM для извлечения клеток костного мозга. Культивирование осуществляли в стандартных условиях. Фрагменты костного мозга не удалялись с поверхности флакона на протяжении всего периода культивирования. В первичной культуре костного мозга были идентифицированы мезенхимальные клетки (рис. 3).

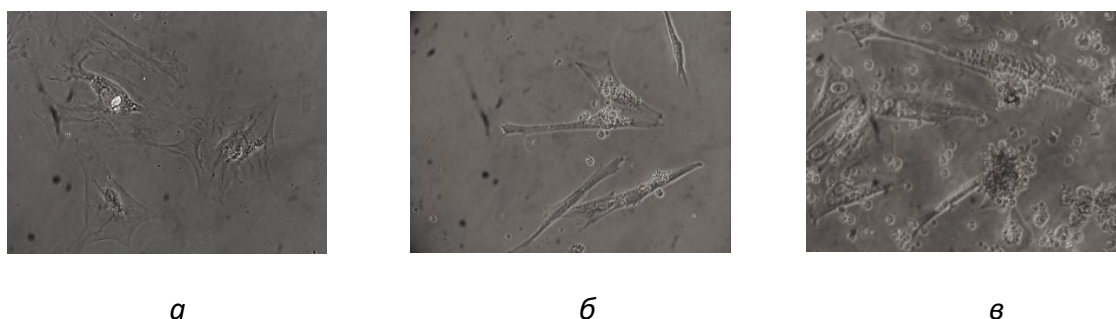


Рис. 3. Стимуляция вхождения в культуру клеток костного мозга крысы:
а – Первичная культура костного мозга на 3 месяце культивирования; *б* – Первичная культура костного мозга на 4 неделю культивирования без добавления культуральной жидкости; *в* – Первичная культура костного мозга на 4 неделю культивирования с добавлением культуральной жидкости Axiostar plus, A-Plan 32x/0.25 Ph 1 Var (ZEISS, Германия)

Также был проведен эксперимент по стимуляции вхождения в культуру клеток костного мозга. Для этого была использована 3-месячная первичная культура костного мозга крысы, а также получены 2 свежие первичные культуры. На 4 неделе культивирования в один из

культуральных флаконов было добавлено 20 мкл среды из флакона на 3 месяце культивирования. Второй флакон использовали в качестве контроля и введение в культуру проводили в стандартных условиях, описанных выше.

В сравнении с контрольной культурой, концентрация клеток в опытном флаконе была значительно выше (рис. 3). Существенная часть клеток в опытной культуре находилась в состоянии деления. Таким образом, можно сделать вывод об эффективности использования культуральной жидкости вошедших в культуру клеток для стимуляции вхождения в культуру свежеполученных первичных культур костного мозга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были получены и успешно перевивались первичные культуры клеток печени мыши, кожи, спинного мозга и костного мозга крысы.

Была успешно проведена стимуляция входа в культуру клеток костного мозга крысы путем добавления культуральной жидкости из культуры на более поздних стадиях культивирования.

Приведенные методики могут быть использованы для получения первичных культур для последующего тестирования биологической активности ряда природных и синтетических соединений.

Выражаем благодарность доценту кафедры биохимии биологического факультета БГУ, к.б.н. Шолуху М.В. за предоставленный препарат смеси ферментов коллагеназы и эластазы.

Библиографические ссылки

1. *Фрешни, Р. Я.* Культура животных клеток / *Р. Я. Фрешни* - Москва: Лаборатория знаний, 2018. - 791 с. - ISBN 978-5-00101-557-4.
2. Phenazines and cancer / A. Cimmino [et al.] // *Nat. Prod. Rep.* – 2012. – Vol. 29, № 4. – P. 487.

МИМИКРИЯ АНТИГЕНОВ *HELICOBACTER PYLORI* И H^+/K^+ -АТФАЗЫ ЖЕЛУДКА КАК ПРИЧИНА РАЗВИТИЯ АУТОИММУННОГО ГАСТРИТА

В. А. Максимук

blydislove@gmail.com;

Научный руководитель – М. А. Капустин, заведующий учебной лабораторией

Инфекции, вызываемые *H. pylori*, считаются серьезной проблемой, наносящей ущерб общественному здоровью как в развитых, так и в развивающихся странах. *Helicobacter pylori* колонизирует слизистую оболочку желудка примерно у 50% людей в мире, бактерия в слаборазвитых странах поражает более 70% населения [11]. Целью данного исследования является изучение роли *Helicobacter pylori* в развитии аутоиммунного гастрита, который приводит к атрофии слизистой оболочки желудка.

Ключевые слова: *Helicobacter pylori*; аутоиммунный гастрит; атрофия слизистой оболочки; париетальные клетки; молекулярная мимикрия; $CD4^+$ Т-клетки.

Аутоиммунный гастрит (АИГ) является хроническим воспалительным заболеванием желудка, которое в конечном итоге приводит к атрофии слизистой оболочки. Этот вид заболевания может иметь различную этиологию: собственно, АИГ, осложнения инфекции *Helicobacter pylori*, идиопатическую.

В случае АИГ поражаются в основном клетки дна и тела желудка, в отличие от хронического гастрита, который влияет на всю область желудка. Это исследование позволяет лучше понять механизмы развития АИГ и может привести к улучшению качества диагностики и лечения данного заболевания.

Характерная симптоматика АИГ связана с тем, что аутоиммунная реакция нацелена на париетальные клетки. Париетальные клетки – это эпителиальные клетки, расположенные в железах тела и дна желудка, но не в антральном отделе, и продуцирующие соляную кислоту и внутренний фактор Кастла. Подкислением желудка в первую очередь управляет желудочная H^+/K^+ АТФ-аза, протонный насос, который является возбудителем аутоантигена и который распознается $CD4^+$ Т-клетками [5]. Хроническое воспаление приводит к атрофии слизистой оболочки с уменьшением и окончательной полной потерей париетальных клеток во время прогрессирования заболевания. Это приводит к повышению рН желудка и потере внутреннего фактора, который вырабатывается париетальными клетками. Внутренний фактор необходим для усвоения витамина B_{12} , а его дефицит является известным следствием АИГ [1].

Важно отметить, что микробная инфекция, которая инициирует аутоиммунный феномен, может отсутствовать к моменту развития явного заболевания [3].

Мало что известно о роли агентов окружающей среды в развитии аутоиммунных заболеваний. Молекулярная мимикрия является одним из ведущих механизмов, с помощью которых инфекционные или химические агенты могут индуцировать аутоиммунитет. Это происходит, когда сходство между чужеродными и собственными пептидами способствует активации аутореактивных Т- или В-клеток чужеродным антигеном у восприимчивого индивидуума.

Генетика хозяина, воздействие микробиоты и химических веществ окружающей среды являются дополнительными звеньями к нашему пониманию молекулярной мимикрии. Наши текущие знания о подробных механизмах молекулярной мимикрии ограничены проблемами длительных периодов латентности до появления заболевания, отсутствием достаточной статистической мощности в эпидемиологических исследованиях, ограничениями потенциальной роли генетики в исследованиях на людях и особенно ограниченная технология систематического анализа репертуара Т-клеток человека и ответов В-клеток [4].

Аутоиммунный гастрит и атрофия желудка, ассоциированная с *Helicobacter*, развиваются по сходным механизмам, включающим протонную помпу H^+/K^+ -АТФ-азу в качестве аутоантигена. Благодаря клиническим исследованиям у инфицированных *Helicobacter pylori* пациентов с аутоиммунным заболеванием желудка имеются активированные *in vivo* $CD4^+$ Т-клетки желудка, которые распознают как H^+/K^+ -АТФазу, так и антигены *Helicobacter pylori* [2].

Для достижения поставленной цели нами была разработана программа в среде Python, позволяющая проводить сравнительный анализ первичной структуры белков по оригинальному алгоритму.

Для получения аминокислотных последовательностей белков *Helicobacter pylori* и H^+/K^+ -АТФазы желудка, мы использовали Protein Data Bank (PDB). Для получения справочной информации – Pubmed.

Принцип работы программы заключается в следующем: мы берем последовательность из 15 аминокислот из последовательности АТФазы и сравниваем ее с последовательностью из 15 аминокислот из последовательности белка *Helicobacter pylori*. Если имеется совпадение, мы добавляем +1 к счетчику. Мы отбрасываем последовательности, в которых нет совпадений. Затем переходим от первой последовательности белков (1-15) ко второй (2-16) и повторяем со всеми. Как только мы пройдем все комбинации для первой последовательности АТФазы, мы

перейдем ко второй и проделаем с ней то же самое. Все результаты сохраняются в отдельных файлах, что упрощает анализ информации.

Проведя анализ данных из таблицы, мы начали исследовать функции наиболее совпадающих из них. В белках VacA (11 совпадений по 7 аминокислот) и CagA (6 совпадений по 7 аминокислот).

Одним из наиболее широко изученных токсинов, продуцируемых *Helicobacter pylori*, является вакуолизирующий цитотоксин А (VacA). Инфицирование штаммами *H. pylori*, содержащими токсигенную аллельную форму s1 VacA, связано с повышенным риском пептической язвы и рака желудка [13,14,15,16,17]. Интересно, что недавние результаты показывают, что эффекты, вызываемые CagA на клетку-хозяина, могут противодействовать эффектам, вызываемым VacA, и наоборот, указывая на еще один уровень сложности в способе действия VacA.

Другим ключевым фактором вирулентности *H. pylori* является генный продукт CagA. CagA доставляется в клетку-хозяина *H. pylori* через систему секреции IV типа [7,8,9,10]. Оказавшись внутри клетки-хозяина, CagA фосфорилируется тирозинкиназой SRC хозяина [16]. Фосфорилированный CagA нарушает регуляцию актиновой перестройки цитоскелета в клетке-хозяине.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что присутствует n-ная степень гомологии. Согласно литературным данным, для аминокислотной гомологии, способной вызвать сходство антигенных детерминантов перекрестный аутоиммунный ответ – 5 аминокислот, последовательно расположенных в первичной структуре белка, при условии экспонирования наружной структуры.

Таким образом, можно заключить, что

1) Белки CagA и VacA подтверждают высокую степень гомологии с α - и β - субъединицами АТФ-азы секреторных клеток. У CagA отмечается 6 сайтов с 7-аминокислотным совпадением с α -субъединицей и 2 сайта с 7-аминокислотным совпадением с β -субъединицей. VacA обнаруживает выраженные структурные различия от CagA, имеет степень гомологии с α -субъединицей на 90% больше, чем CagA – 11 аминокислот.

2) Среди проанализированных белков обнаружены и другие структуры, обладающие гомологией с субъединицами АТФ-азы, однако они не являются специфичными для *Helicobacter pylori* и обнаруживаются у широкого спектра микробиоты, что исключает возможность их использования в качестве специфических индукторов иммунного ответа на *Helicobacter pylori*.

3) Обнаруженные зависимости позволяют с высокой вероятностью утверждать о возможности индукции аутоиммунного гастрита в результате инфицирования *Helicobacter pylori*. Полученный массив

данных требует дальнейшего глубокого анализа для подтверждения выдвинутой гипотезы.

Библиографические ссылки

1. *Kulnigg-Dabsch, S.* Autoimmune gastritis / S. Kulnigg-Dabsch // Wien Med. Wochenschr. 2016. Vol. 166, № 13-14. P. 424 – 430.
2. *Amedei, A., Bergman, M.P., Appelmelk, B.J.* Molecular mimicry between *Helicobacter pylori* antigens and H⁺, K⁺-adenosine triphosphatase in human gastric autoimmunity/ A. Amedei, M.P. Bergman, B.J. Appelmelk // J. Exp. Med. 2003. Vol. 198. P. 1147-56.
3. *Oldstone, M.B.* Molecular mimicry and immune-mediated diseases / M.B. Oldstone // FASEB J. 1998. № 12. P. 1255-1265.
4. *Rojas, M., Restrepo-Jiménez, P., Monsalve, D. M.* Molecular mimicry and autoimmunity / Rojas, M., Restrepo-Jiménez, P., Monsalve, D. M. // J. Autoimmunity. 2018. Vol. 95. P. 100-123.
5. *Shayeghi, M.* Identification of an intestinal heme transporter / M. Shayeghi // Cell. 2005. Vol. 122. P. 789–801.
6. *Palframan, S.L., Kwok, T., Gabriel, K.* Vacuolating cytotoxin A (VacA), a key toxin for *Helicobacter pylori* pathogenesis / S.L. Palframan, T. Kwok, K. Gabriel // Front Cell Infect Microbiol. 2012. Vol. 12. P. 2-92.
7. *Segal, E. D., Cha, J., Lo, J.* Altered states: involvement of phosphorylated CagA in the induction of host cellular growth changes by *Helicobacter pylori* / E. D. Segal, J. Cha, J. Lo // Proc. Natl. Acad. Sci. 1999. Vol. 96. P. 14559–14564.
8. *Backert, S., Ziska, E., Brinkmann, V.* Translocation of the *Helicobacter pylori* CagA protein in gastric epithelial cells by a type IV secretion apparatus / S. Backert, E. Ziska, V. Brinkmann // Cell. Microbiol. 2000. № 2. P. 155-164.
9. *Odenbreit, S., Puls, J., Sedlmaier, B.* Translocation of *Helicobacter pylori* CagA into gastric epithelial cells by type IV secretion / S. Odenbreit, J. Puls, B. Sedlmaier // Science. 2000. Vol. 287. P. 1497–1500.
10. *Stein, M., Rappuoli, R., Covacci, A.* Tyrosine phosphorylation of the *Helicobacter pylori* CagA antigen after *cag*-driven host cell translocation/ M. Stein, R. Rappuoli, A. Covacci // Proc. Natl. Acad. Sci. 2000. Vol. 97. P. 1263–1268.
11. *Bravo, D., Hoare, A., Soto, C.* *Helicobacter pylori* in human health and disease: Mechanisms for local gastric and systemic effects / D. Bravo, A. Hoare, C. Soto // World J. Gastroenterol. 2018. Vol. 24. P. 3071-3089.
12. *Selbach, M., Moese, S., Hauck, C.R.* Src is the kinase of the *Helicobacter pylori* CagA protein *in vitro* and *in vivo* / M. Selbach, S. Moese, C.R. Hauck. // J. Biol. Chem. 2002. Vol. 277. P. 6775-6778.
13. *Atherton, J. C., Cao, P., Peek, R. M. Jr.* Mosaicism in vacuolating cytotoxin alleles of *Helicobacter pylori*. Association of specific *vacA* types with cytotoxin production and peptic ulceration / J. C. Atherton, P. Cao, R. M. Jr. Peek // J. Biol. Chem. 1995. Vol. 270. P. 17771–17777.
14. *Gerhard, M., Lehn, N., Neumayer, N.* Clinical relevance of the *Helicobacter pylori* gene for blood-group antigen-binding adhesion / M. Gerhard, N. Lehn, N. Neumayer // Proc. Natl. Acad. Sci. 1999. Vol. 96. P. 12778–12783.

15. Miehke, S., Kirsch, C., Agha-Amiri, K. The *Helicobacter pylori* vacA s1, m1 genotype and cagA is associated with gastric carcinoma in Germany / S. Miehke, C. Kirsch, K. Agha-Amiri // Int. J. Cancer. 2000. Vol. 87. P. 322–327.
16. Miehke, S., Yu, J., Schuppler, M. *Helicobacter pylori* vacA, iceA, and cagA status and pattern of gastritis in patients with malignant and benign gastroduodenal disease/ S. Miehke, J. Yu, M. Schuppler // Am. J. Gastroenterol. 2001. Vol. 96. P. 1008–1013.
17. Louw, J. A., Kidd, M. S., Kummer, A. F. The relationship between *Helicobacter pylori* infection, the virulence genotypes of the infecting strain and gastric cancer in the African setting / J. A. Louw, M. S. Kidd, A. F. Kummer // Helicobacter. 2001. Vol. 6. P. 268–273.

ИЗУЧЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ПОПУЛЯРНЫХ КОФЕИН-СОДЕРЖАЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НАПИТКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИЗБЫТОЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

И. Г. Моковский

tokovskiji@gmail.com;

Научный руководитель – О. И. Губич, кандидат биологических наук, доцент

Данная работа посвящена сравнительному анализу адаптогенной и антиоксидантной активности популярных кофеин-содержащих напитков «Blue bear» («Blue Bear», Польша) и «Black monster» («Coca-cola НВС», Беларусь) в экспериментальной модели избыточной физической нагрузки. Установлена способность указанных энергетиков частично и равноактивно стабилизировать уровень глюкозы в крови лабораторных мышей при интенсивной нагрузке, а также снижать интенсивность перекисных процессов, индуцированных стрессом.

Ключевые слова: углеводный обмен; физическая нагрузка; перекисное окисление липидов; энергетический напиток.

Значение проблемы адаптации человека к интенсивной мышечной работе, особенно в спорте, связано с тем, что организм должен приспособливаться к значительным физическим нагрузкам в относительно короткое время. Именно скорость наступления адаптации и ее длительность определяют состояние здоровья индивидуума и его тренированность. В то же время, морфофункциональные особенности организма человека, сформировавшиеся в течение длительного периода эволюции, не могут изменяться с такой же быстротой, с какой изменяются структура и характер тренировочных и соревновательных нагрузок в спорте. Несоответствие во времени между этими процессами может приводить к возникновению дизадаптационных расстройств, которые проявляются различными патологическими нарушениями [1]. Подобные проблемы могут наблюдаться и у людей, занимающихся тяжелым или средне-тяжелым физическим трудом, а также у специалистов, чья профессиональная деятельность предполагает высокую активность и лабильность и у обычных граждан, ведущих чрезвычайно активный образ жизни.

Для поддержания высокой активности представителей указанных категорий используются различные приемы, одним из которых является использование тонизирующих (на основе кофеина) и адаптогенных препаратов (природные и синтетические адаптогены) [2]. Чрезвычайно широкую популярность, особенно среди молодежи, приобрели в настоящее время так называемые энергетические напитки (энергетики), представленные в масс-маркетах большим ассортиментом. Состав

энергетиков сравнительно схож, однако предполагает различия в комбинации тонизирующих экстрактов и веществ (кофеин, гуарана, экстракты растительных адаптогенов), а следовательно, следует ожидать некоторых различий в характере и эффективности их влияния на организм.

Целью данной работы явился сравнительный анализ адаптогенной и антиоксидантной активности популярных кофеин-содержащих энергетических напитков в экспериментальной модели избыточной физической нагрузки.

Работа выполнена на беспородных мышах самцах массой 40-50 г, которые находились на стандартной диете вивария БГУ. Все эксперименты проводились в соответствии с правилами гуманного обращения с животными. Используемая экспериментальная модель представляла собой 15-минутное плавание животных в воде комнатной температуры, что исключало энергетические затраты на поддержание температуры тела и не позволяло животным снять нагрузку досрочно. Используемая в работе экспериментальная модель была разработана сотрудниками Института фармации (г. Санкт-Петербург) и уже была успешно использована на кафедре биохимии БГУ для анализа эффективности природных адаптогенов растительного и животного происхождения [3].

В работе использовано 2 энергетических напитка «Blue bear» (компания «Blue Bear», Польша) и «Black monster» (компания «Coca-cola HBC», Беларусь), состав и характеристика которых представлена на данном слайде. Подопытные животные получали соответствующие энергетики в дозе 20 мл/кг однократно перорально с помощью пипетки за 10 минут до начала физической нагрузки, что исключало развитие перекисных процессов вследствие стрессового воздействия при введении препарата.

Оцениванию подлежало влияние энергетических напитков на параметры углеводного обмена (концентрация пирувата и глюкозы в крови), в наибольшей степени изменяющиеся на начальных этапах интенсивной физической нагрузки, и уровень ПОЛ, всегда возрастающий в состоянии физического стресса и измеряемый нами по содержанию ТБК-активных соединений в гомогенате печени. Измерения проводились и у интактных лабораторных мышей через 10 минут после перорального введения тестируемых препаратов, как описано нами в [3].

Первый этап нашей работы был посвящён оценке влияния интенсивной физической нагрузки на анализируемые факторы у интактных мышей. Используемая нагрузка приводила к наступлению у подопытных животных состояния утомления, выразившегося в неспособности мышей совершать дальнейшие активные плавательные действия, что было проявлением почти полного исчерпания концентрации глюкозы в крови за счёт повышения её потребления клетками мышц (-

73,9% от начального уровня). Наблюдалось увеличение уровня ТБК-активных продуктов (+ 79% к контролю), что отражает изменения, характерные для состояния стресса.

Повышенный распад глюкозы в процессе гликолиза, происходящего в скелетной мускулатуре при кратковременной мышечной работе, закономерно приводит к усиленному образованию пирувата. В нашем эксперименте снижение содержания ПВК могло быть вызвано как ее трансформацией в молочную кислоту, так и окислительным декарбоксилированием пирувата с последующим включением образующегося ацетил-КоА в аэробные пути получения энергии.

На следующем этапе мы оценили влияние энергетика «Blue Bear» и «Black monster» на анализируемые показатели у интактных мышей. Введение лабораторным животным энергетика «Black Monster» оказывало стимулирующий эффект, не вызывало перевозбуждения, судорог, но вызывало появление агрессивности у животных. В процессе наблюдения за животными отмечены характерная горизонтальная и вертикальная двигательные активности, выраженный груминг, обнюхивание отверстий, присутствовал характерный роющий рефлекс. Повышение активности приводило к закономерному снижению концентрации глюкозы в крови (- 40,3 % к контролю), накоплению ПВК в результате гликолитического распада глюкозы (+ 37,1 % к контролю). Достоверного повышения содержания ТБК – активных продуктов в гомогенате печени обнаружено не было.

После однократного перорального введения интактным лабораторным животными энергетического напитка «Blue bear» в аналогичном эксперименте определили равновыраженное снижение концентрации глюкозы за счёт повышения двигательной активности мышей (- 39,4 % к контролю) и предсказуемое, но менее значительное, чем в предыдущем варианте повышение содержания ПВК (+ 18,9 % к контролю). Повышение уровня ТБК-активных продуктов в печени не установлено. Таким образом, принципиальной разницы в действии изучаемых энергетиков на параметры углеводного обмена и интенсивность ПОЛ у интактных мышей обнаружено не было.

Наконец, на третьем этапе работы оценивалось влияние энергетиков «Blue Bear» и «Black Monster» на исследуемые показатели в условиях интенсивной физической нагрузки. Установлено, что пероральное введение обоих энергетиков за 10 минут до начала физической нагрузки приводит к частичной нормализации концентрации глюкозы (+ 39,4 % и + 41,3 % к соответствующему контролю), при этом, несмотря на наличие сахара в обоих исследуемых препаратах, начального уровня глюкозы достигнуто не было. Уровень ТБК-активных продуктов по сравнению с мышами, не получавшими препараты, был достоверно снижен также при использовании обоих энергетиков, однако в случае энергетического напитка «Blue Bear» отмечался более выраженный эффект, несмотря на

отсутствие в нем экстракта женьшеня, содержание которого декларируется производителем. Как известно, женьшень богат соединениями, обладающими антиоксидантными свойствами (витамины групп (А, С и Е), сапонины и основной компонент – гинсенозиды [4]. Этот компонент, как было показано, снижает психологический стресс и стабилизирует кровяное давление. Это и послужило основанием на начальном этапе выбора данного энергетика для сравнения с эффектом несодержащего адаптогены аналога.

Вероятно, наблюдаемый эффект связан с высоким содержанием в «Blue Bear» аскорбиновой кислоты, относящейся к антиоксидантам немедленного действия. Что касается содержания ПВК, то данный метаболит углеводного обмена быстрее расходуется при использовании энергетического напитка «Blue Bear» (- 35,5% к соответствующему контролю), в то время как в случае напитка «Black Monster» фиксируется его увеличение до уровня, статистически неотличимого от показателей интактных мышей.

Таким образом, в ходе проведенной работы продемонстрирована способность энергетических напитков «Blue Bear» и «Black Monster» частично и равноактивно стабилизировать уровень глюкозы в крови лабораторных мышей при интенсивной нагрузке, достоверно, но в разной степени снижать интенсивность перекисных процессов в печени, индуцированных стрессом, и оказывать разнонаправленное действие на концентрацию пирувата в цельной крови. Указанные различия обусловлены, по-видимому, различиями в составе и соотношении компонентов изученных энергетических напитков.

Библиографические ссылки

1. Михайлов, С.С. Спортивная биохимия / С.С. Михайлов. – М.: Советский спорт, 2004. 220 с.
2. Яременко, К.В. Учение Н.В. Лазарева о СНПС и адаптогенах как базовая теория профилактической медицины / К.В. Яременко // Психофармакология и биологическая наркология. 2005. Т. 5. № 4. С. 1086-1092.
3. Губич, О.И., Огорокова, С.С., Копылева, Д.В. Исследование адаптогенных и гепатопротекторных свойств падуба парагвайского (*Plex paraguariensis*) на экспериментальных моделях *in vivo* / О.И. Губич, С.С. Огорокова, Д.В. Копылева, Н.С. Джаафар, Д.В. Дуц, М.И. Коваль // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2021. №2. С. 43–51.
4. Губич, О.И., Дашкова, Я.Ю., Кривленя, И.Н. Сравнительная оценка гепатопротекторных свойств растительных адаптогенов на экспериментальной модели хронического алкогольного поражения печени *in vivo* / О. И. Губич, Я. Ю. Дашкова, И. Н. Кривленя // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2019. № 1. С. 54-62.

ДЕЙСТВИЕ СЕЛЕНИТА НАТРИЯ НА РОСТ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЫ РОЗМАРИНА ЛЕКАРСТВЕННОГО (*ROSMARINUS OFFICINALIS* L.)

А. А. Мухина

muxina0606@gmail.com;

Научный руководитель – А. О. Логвина, кандидат биологических наук, доцент

Целью работы было оценить влияние селенита натрия на рост, содержание фенольных соединений, антирадикальную и хелатирующую активности каллусной культуры розмарина лекарственного (*Rosmarinus officinalis* L.). В питательную среду вводили источник неорганического селена в форме селенита натрия (Na_2SeO_3), в концентрациях 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} и 10^{-3} М. Установлено, что Na_2SeO_3 в концентрации 10^{-6} М оказывал стимулирующее действие на рост каллуса, а в концентрациях 10^{-6} и 10^{-5} М – на уровень накопления фенольных соединений.

Ключевые слова: розмарин лекарственный; *Rosmarinus officinalis*; каллус; культура *in vitro*; селенит натрия; содержание фенольных соединений; хелатирующая активность; антиоксидантная активность.

Розмарин лекарственный – вечнозеленый ветвистый полукустарник или кустарник, в диком виде растёт в Турции, Северной Африке и в странах Средиземноморья и находит широкое применение. В качестве пряности употребляются молодые побеги, листья и цветки в свежем или засушенном виде. Получаемое из розмарина эфирное масло используются в пищевой, косметической и парфюмерной промышленности, а вместе с другими компонентами он применяется для профилактики и лечения диабета, сердечно-сосудистых заболеваний и рака [1]. Употребление розмарина в пищу способствует улучшению пищеварения благодаря стимуляции выделения желудочного сока. Исследования как нативного растения, так и культур *in vitro* очень разносторонние и ведутся во многих странах мира [2].

Целью данной работы было оценить влияние селенита натрия на рост, содержание фенольных соединений и антиоксидантную активность каллусной культуры розмарина лекарственного (*Rosmarinus officinalis* L.). Селен как дополнительный компонент повышает устойчивость растений к действию неблагоприятных факторов среды за счет активизации работы ферментативной антиоксидантной системы и накопления низкомолекулярных антиоксидантов. Также данный элемент выступает в качестве элиситора, стимулируя рост и увеличивая продуктивность растений, а также может регулировать их вторичный синтез [3].

Объектом изучения служила каллусная культура розмарина лекарственного ранее полученная из стерильных проростков каллусная культура. Каллус выращивался в присутствии 30,0 г/л сахарозы на агаризованной питательной среде (8,0 г/л агара), минеральной основой которой служила половинная среда Мурасиге и Скуга. Среду дополняли регуляторами роста 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой и 6-бензиламинопурином в концентрации 0,3 мг/л. В ходе эксперимента в питательную среду вводили источник неорганического селена в форме селенита натрия (Na_2SeO_3) в концентрациях 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} и 10^{-3} М. Контролем служила питательная среда без добавления данного вещества. Культура поддерживалась в условиях микробиологического термостата при температуре 25°C в темноте.

Была проведена оценка удельной скорости роста каллуса [4], и таких биохимических показателей, как суммарное содержание фенольных соединений, железо-хелатирующая и антирадикальная активности в соответствии с методами, описанными в [5]. Стимулирующее влияние селенита натрия на рост каллуса наблюдалось только при добавлении данной соли в среду в концентрации 10^{-6} М. При этом каллус становился более рыхлым (рис. 1).

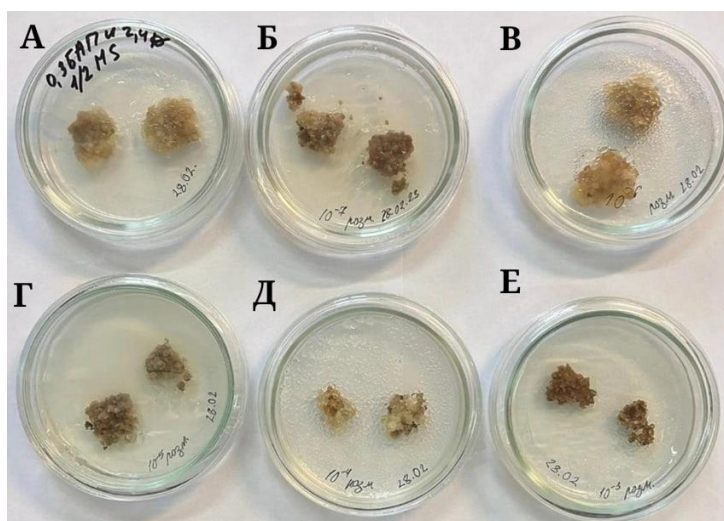


Рис. 1. Внешний вид каллусов розмарина на экспериментальных средах: А – контрольная среда; Б – среда с концентрацией 10^{-7} М; В – среда с концентрацией 10^{-6} М; Г – среда с концентрацией 10^{-5} М; Д – среда с концентрацией 10^{-4} М; Е – среда с концентрацией 10^{-3} М

Заметно потемнение каллуса в некоторых вариантах опыта, особенно выраженное при наибольшей концентрации 10^{-3} М, что может говорить о токсичном влиянии. Потемнение каллуса во всех случаях сопровождалось снижением его ростовой активности.

Был проведён анализ биохимических показателей водно-спиртовых экстрактов каллуса. Суммарное содержание фенольных соединений

(рис.2) под воздействием селенита натрия либо в целом сопоставимо с контрольным уровнем, либо значительно его превышает (10^{-6} и 10^{-5} М). Селенит натрия в концентрации 10^{-6} М стимулировал и рост каллуса.

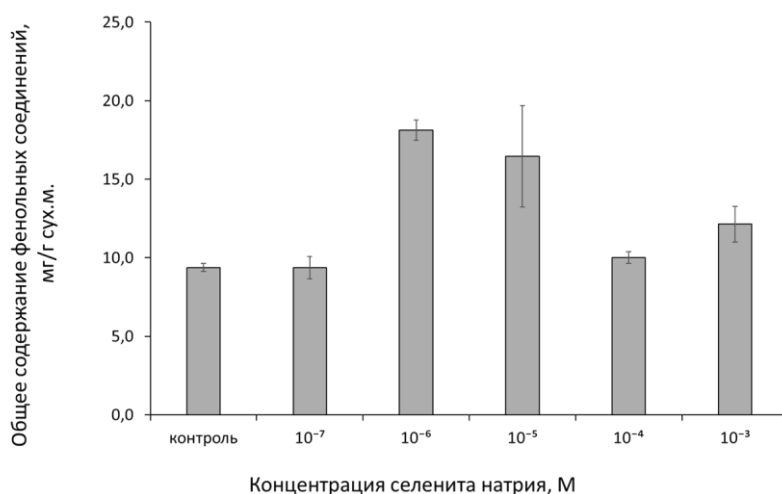


Рис. 2. Суммарное содержание фенольных соединений, мг / г сух. м. при варьировании содержания селенита натрия в питательной среде

Железо-хелатирующая активность экстрактов (рис.3) каллуса уменьшалась с повышением концентрации селенита в среде. Селенит натрия не оказывал положительного влияния на данный показатель.

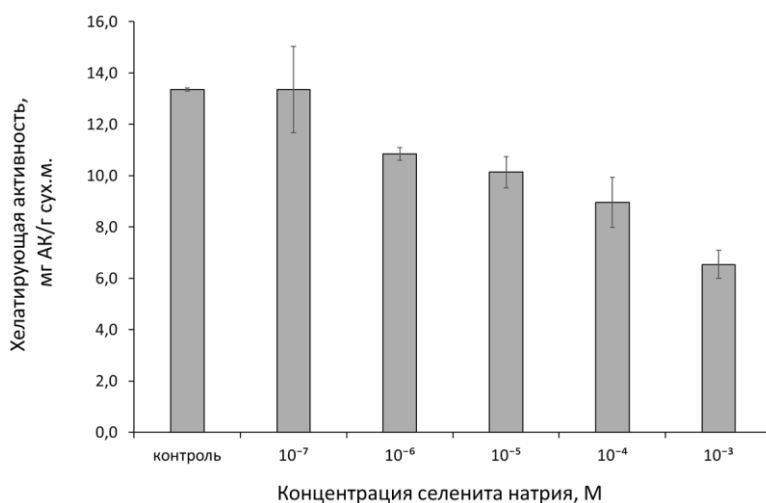


Рис. 3. Хелатирующая активность, мг АК/г сух. М. при варьировании содержания селенита натрия в питательной среде

Обнаруживался слабый стимулирующий эффект на антирадикальную активность (рис. 4) экстрактов только в случае каллуса, выращенного на среде с 10^{-3} М селенита.

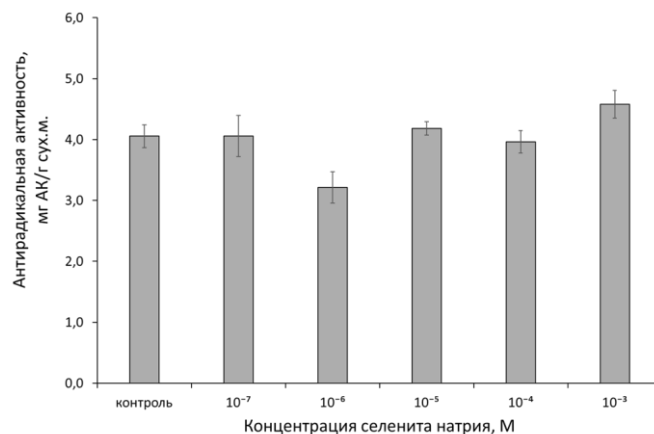


Рис. 4. Антирадикальная активность, мг АК/г сух. м. при варьировании содержания селенита натрия в питательной среде

Корреляционный анализ показал, что содержание фенольных соединений не взаимосвязано с хелатирующей и антирадикальной активностью.

В целом можно отметить, что хорошо прослеживающаяся концентрационная зависимость действия селенита натрия наблюдалась только в случае хелатирующей активности. Одновременный стимулирующий эффект на рост каллуса и уровень накопления в нем фенольных соединений обнаруживался при внесении в среду 10^{-6} М селенита натрия.

Библиографические ссылки

1. Никитина, А.С. Элементный состав побегов розмарина лекарственного (*Rosmarinus officinalis* L.), интродуцированного в ботаническом саду Пятигорского медико-фармацевтического института / А.С. Никитина, З.М. Тохсырова, О.И. Попова // Фармация и фармакология. 2017. Т. 5. № 6. С. 581–588.
2. Зорин, Е. Б. Изучение эфирного масла розмарина лекарственного / Е. Б. Зорин, А. А. Сорокина // Фармация. 2007. № 6. С. 14–16.
3. Логвина, А. О. Физиологические показатели и антиоксидантная активность клеток фотомиксотрофной каллусной культуры *Trigonella foenum-graecum* L. При действии селена / А. О. Логвина // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 9-1(111). С. 163–169.
4. Ханды, М. Т., Кочкин, Д. В., Томилова, С. В., Ключин, А. Г., Галишев, Б. А., & Носов, А. М. Ростовые и биосинтетические характеристики суспензионных культур клеток *Phlojodicarpus sibiricus* // Физиология растений. 2021. № 68(3). С. 326–336.
5. Lohvina, H.; Sándor, M.; Wink, M. Effect of Ethanol Solvents on Total Phenolic Content and Antioxidant Properties of Seed Extracts of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) // Varieties and Determination of Phenolic Composition by HPLC-ESI-MS. Diversity 2022. № 14. С. 7.

АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАГРУЗКИ У СТУДЕНТОВ

Т. С. Олесик

bio.olesik@bsu.by;

Научный руководитель – Т. В. Каравай, кандидат биологических наук, доцент

Целью работы являлось определение компенсаторно-адаптационных реакций кардиореспираторной системы при функциональных температурных нагрузках у студентов, имеющих разную температуру тела. Результаты настоящего исследования выявили отличительные особенности вегетативной регуляции кардиоваскулярных функций в норме и при температурной нагрузке в зависимости от исходной температуры тела. Частью этих изменений является продолжительность кардиоинтервалов, изменение волновой структуры ритма и ритмограммы.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма; холоддовая проба; температура; автономная нервная система.

Ещё в середине 19 века Карл Вундерлих пришел к выводу, что в норме у человека температура в подмышечной впадине 36,6 градусов. До недавнего времени эта информация была стандартом. Однако, дальнейшие исследования в этой области выявили тренд на снижение. Было установлено, что каждые 10 лет температуры в норме понижается на 0,03 градуса [1,2]. Результаты исследований последнего времени в области кардиоваскулярной физиологии свидетельствуют о сложных динамических взаимоотношениях симпатической и парасимпатической регуляции при различных функциональных состояниях человека [3].

Обследования проводились на студентах биологического факультета БГУ в возрасте 20-25 лет (n= 40) в 2 этапа: 1 - проводилось анкетирование студентов и измерение температуры тела с помощью электронного термометра *Microlife* МТ 1622, 2 - был проведен анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) на аппаратно-программном комплексе «Варикард» до и после проведения нагрузочной пробы (холодовая проба). Регистрировались данные методом кардиоинтервалографии по Р.М. Баевскому.

В результате измерения температуры тела у студентов (n=40) в подмышечной впадине было выявлено 2 группы: «горячих» с минимальной температурой 36,2 градуса (70%) и «холодных» с максимальной температурой 36,1 градус (30%).

Анализ ВСР у группы «горячих» и «холодных» испытуемых выявил достоверные различия по изученным показателям. При изучении

ритмограммы выявлено достоверные отличия между группами по параметру RMSSD, SDNN, pNN50, что указывает на преобладание парасимпатического звена вегетативной регуляции у группы «горячие» (рис.1).

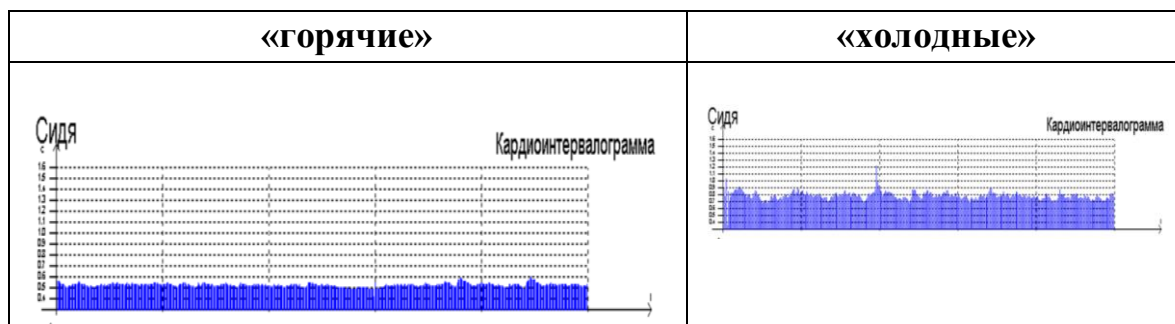


Рис.1. Кардиоинтервалограммы 2-х групп испытуемых в фоне

Анализ распределения продолжительности кардиоинтервалов отображенных на гистограмме, который включал оценку параметров мода, амплитуда моды и вариационного размаха (рис.2) выявил у группы «горячих» усиление тонуса симпатической нервной системы.

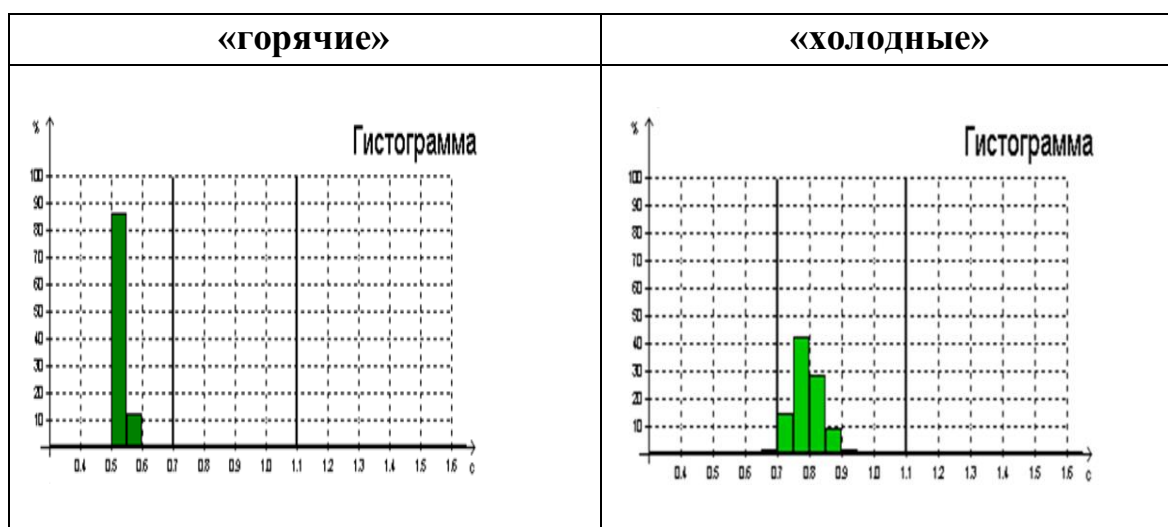


Рис.2. Гистограммы 2-х групп испытуемых в фоне

Анализ спектрограмм у двух групп испытуемых показал изменение волновой структуры ритма (рис.3). У группы «холодных» испытуемых все компоненты повышены: HF - высокочастотный компонент (связан с дыхательными движениями и отражает влияние на работу сердца блуждающего нерва), LF – низкочастотный компонент характеризует влияние на сердечный ритм как симпатического отдела, так и парасимпатического, VLF компонент отражают действие различных факторов, к которым относят, например, сосудистый тонус, систему

терморегуляции и др. LF/ HF свидетельствует о преобладании парасимпатического тонуса у «горячей» группы.

При проведении нагрузочной пробы (холодовая проба) сравнение показателей ВСР у групп «горячих» и «холодных» испытуемых выявил достоверные различия.

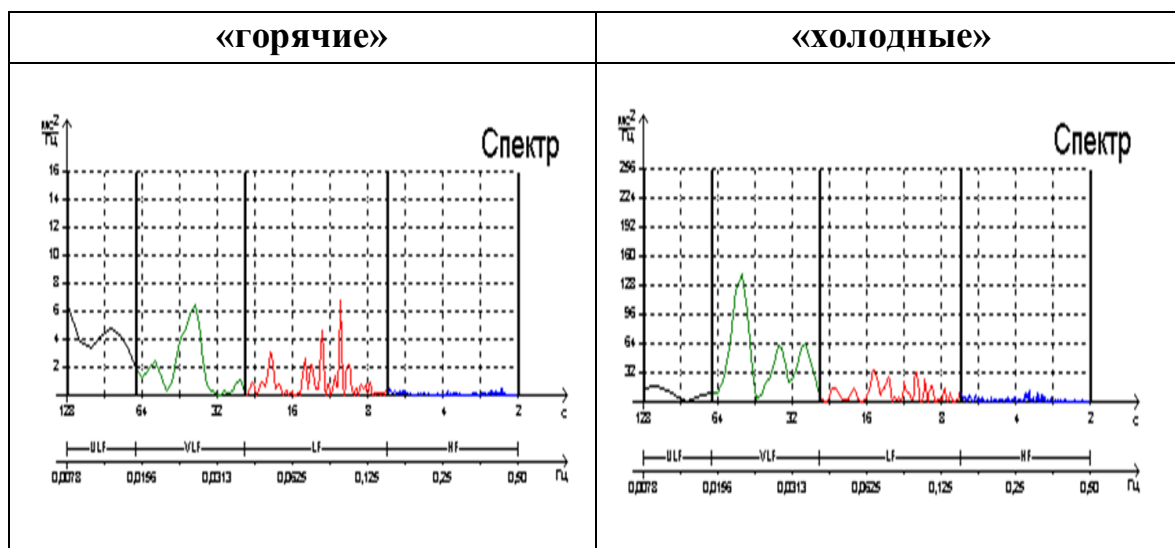


Рис. 3. Волновая структура ритма у 2-х групп испытуемых в фоне

При изучении ритмограммы выявлено достоверные отличия между группами по параметрам RMSSD и SDNN, что указывает на преобладание парасимпатического звена вегетативной регуляции у группы «горячие» (рис.4).

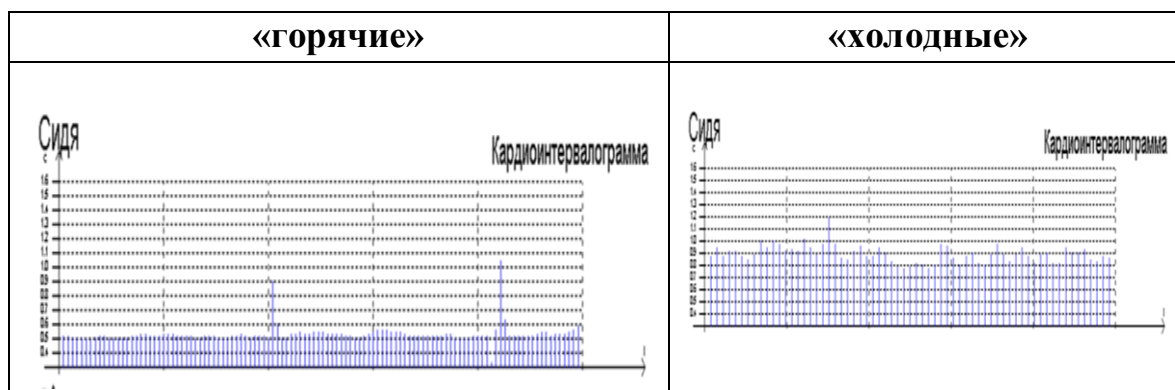


Рис. 4. Кардиоинтервалограммы 2-х групп испытуемых после проведения функциональной пробы

После проведения холодной пробы изменился процент кардиоинтервалов, которые отличаются по уменьшению

продолжительности, что свидетельствует об усилении влияния парасимпатической нервной системы (рис.5).

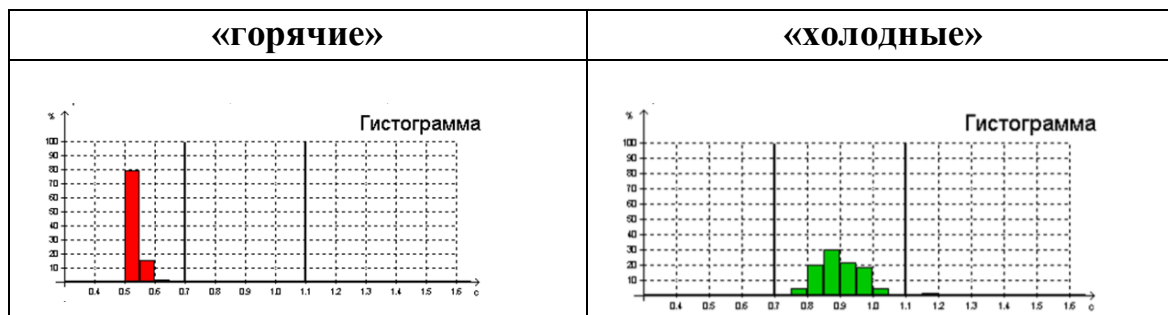


Рис.5. Гистограммы 2-х групп испытуемых после проведения функциональной пробы

По частотному спектру наблюдается увеличение HF, LF и VLF как у группы «горячих», так и у «холодных», однако у группы «горячих» усиление произошло в 4,5 раза больше, чем у холодных. Что свидетельствует о большем усилении парасимпатического тонуса (рис.6).

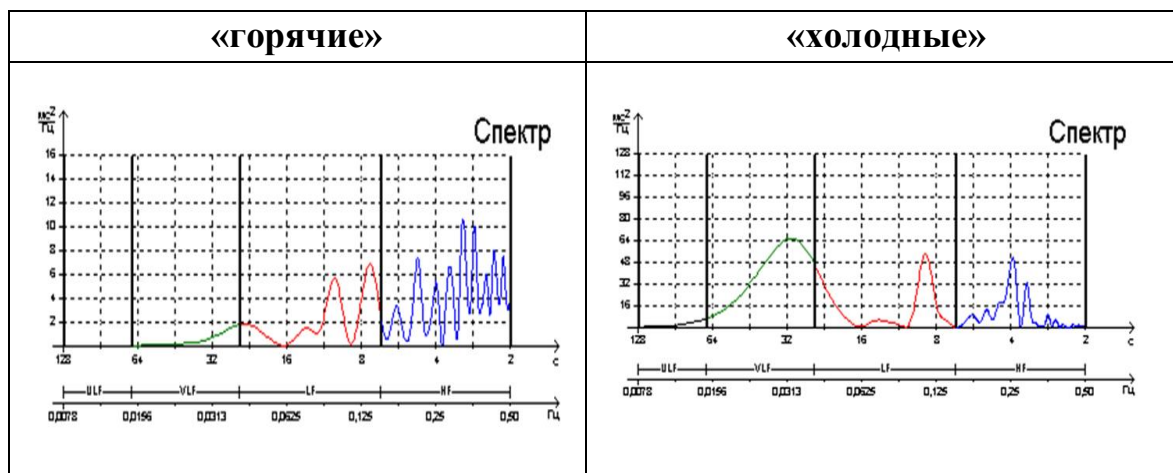


Рис. 6. Волновая структура ритма у 2 групп испытуемых после проведения функциональной пробы

Таким образом, среди обследуемых были выявлены две группы лиц, имеющих более низкую и более высокую температуру тела, которые отличались спектральными и временными характеристиками ВСР. Выявлены изменения контроля ЦНС над вегетативной нервной системой при раздражении экстерорецепторов. Две группы по-разному реагируют на температурную нагрузку, что проявляется в большем количестве коротких кардиоциклов, увеличении HF частотного спектра ВСР, что свидетельствует об усилении парасимпатической нервной системы в группе «горячих» обследуемых. Новым и наиболее важным результатом

данной работы является установление некоторых особенностей динамических отношений частоты сердечных сокращений и ВСР у людей, имеющих более низкую температуру тела, по сравнению с теми, кто имел более высокую температуру тела, при проведении температурной нагрузочной пробы.

Библиографические ссылки

1. Myroslava Protsiv, Catherine Ley, Joanna Lankester, Trevor Hastie , Julie Parsonnet. Decreasing human body temperature in the United States since the Industrial // Protsiv et al. eLife 2020;9:e49555.
2. Ziad Obermeyer, Jasmeet K Samra, Sendhil Mullainathan. Individual differences in normal body temperature: longitudinal big data analysis of patient records // BMJ -2017; 359.
3. Raven P., Fadel P., Ogho Sh. Arterial baroreflex resetting during exercise: a current perspective // Exp. Physiol. 2006.

ОСОБЕННОСТИ ГНЕЗДОВОЙ БИОЛОГИИ ПЕВЧЕГО ДРОЗДА (*TURDUS PHILOMELOS*) НА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗНАЧЕНИЯ «ДУБРАВА ЩОМЫСЛИЦКАЯ» (МИНСК)

У. Ю. Павленко

u.pavlenko@yahoo.com;

Научный руководитель – В. В. Сахвон, кандидат биологических наук, доцент

В статье анализируются некоторые параметры гнездования певчего дрозда (*Turdus philomelos*) на территории ППРЗ «Дубрава Щомыслицкая» в Минске. Исследования проводились в 2019–2022 гг. с привлечением для анализа данных, полученных ранее на этой территории, начиная с 2015 года. Всего проанализированы данные по 58 случаям гнездования певчего дрозда. Установлено, что у гнездовой группировки певчего дрозда на модельной городской территории появились первые изменения, обусловленные синурбизацией. Эти изменения касаются выбора мест для расположения гнезда, фенологии размножения, а также количества яиц в кладке.

Ключевые слова: певчий дрозд; *Turdus philomelos*; плотность гнездования; выбор мест для гнездования; фенология прилета; биология гнездования; синурбизация.

Певчий дрозд является тем видом, который только в последние десятилетия стал активно осваивать городскую среду, а до этого являлся типичным обитателем лесов разного типа. В настоящее время численность его в городских парках, скверах и других зеленых зонах стала значительной и часто выше, чем во многих типах лесов. Цель данного исследования – установить некоторые особенности биологии гнездования певчего дрозда на территории городских древесных насаждений на примере ППРЗ «Дубрава Щомыслицкая» в Минске. Исследования межгодовой динамики плотности гнездования, а также основных черт размножения певчего дрозда проводились в 2019–2022 гг. с привлечением для анализа данных, полученных ранее в 2015–2018 гг.

Результаты количественных учетов показали, что численность певчего дрозда в ППРЗ незначительно варьирует между годами и заметно выше, чем во многих типах естественных лесов (рис.1). Минимальная плотность гнездования певчего дрозда наблюдалась в 2021 году (0,75 пар/га), тогда как максимальная – 1,09 пар/га в 2017 г. Средняя плотность гнездования за период с 2015 по 2022 гг. составила $0,82 \pm 0,29$ пар/га, что является сравнительно высоким значением.

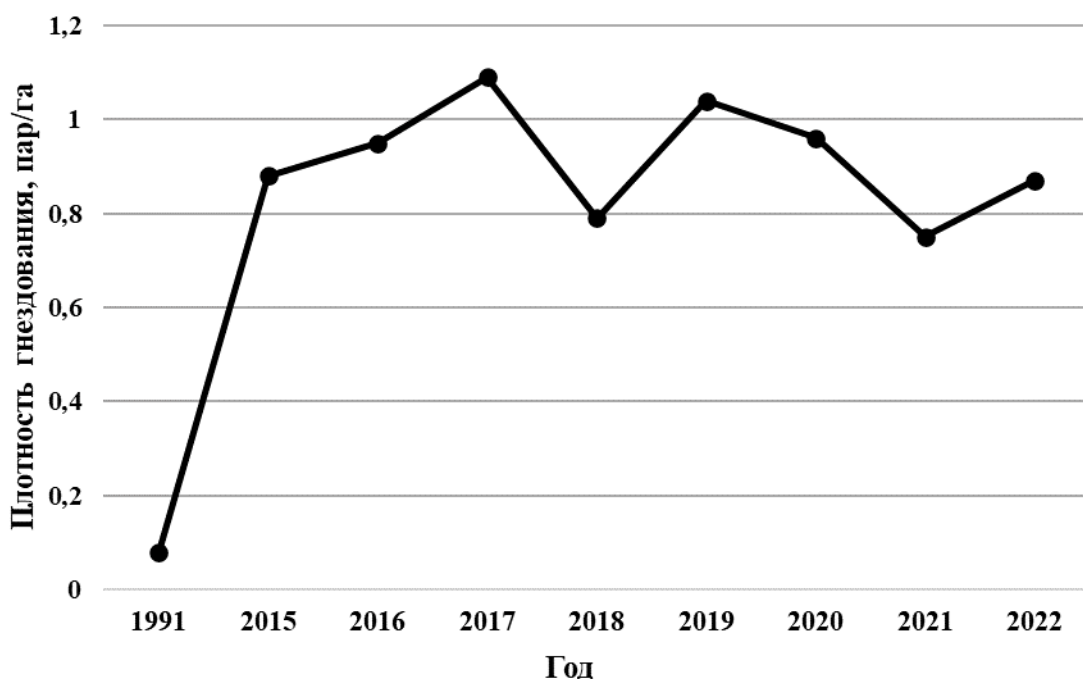


Рис. 1. Плотность гнездования певчего дрозда (*Turdus philomelos*) на территории ППРЗ «Дубрава Щомыслицкая» (Минск)

Анализ полученных данных по характеру распределения гнезд певчего дрозда по территории ППРЗ показал, что они распределены неравномерно. Наблюдается скопление гнезд в своего рода кластеры на определенных участках памятника природы, что может свидетельствовать с одной стороны о том, что в таких местах биотопические условия для размещения гнезд достаточно благоприятны для вида, с другой – показывает, что, возможно, отдельные пары отличаются консервативностью и каждый год занимают для гнездования одно и то же дерево или деревья на небольшом участке. В тоже время можно наблюдать, что отсутствуют гнезда на участках территории, занятых древостоем ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica*), который из-за своей архитектурной характеристики не выбирается для устройства гнезд певчим дроздом.

Установлено, что прилет первых птиц за все годы наблюдений приходится в большинстве своем на 3 декаду марта (всего 85,71 % всех случаев). Самая ранняя встреча певчего дрозда – 19 марта (в 2020 г.), а самая поздняя – 28 марта (в 2016 г.). И лишь к третьей декаде апреля у певчего дрозда появляются первые яйца в кладках. Так, было установлено, что абсолютное большинство пар певчего дрозда приступает к откладке яиц в начале 3-й декады апреля (n=14). Самая ранняя дата откладки первого яйца приходится на 20.04, самая поздняя – 28.04. Известные случаи откладки первого яйца в мае, по всей видимости, принадлежат к

повторным кладкам взамен утраченных ранее. В целом же, за исключением 2 случаев гнездования в первой декаде мая, 100 % всех случаев (n=12) начала откладки первого яйца приходится на 3 декаду апреля (рис. 2).

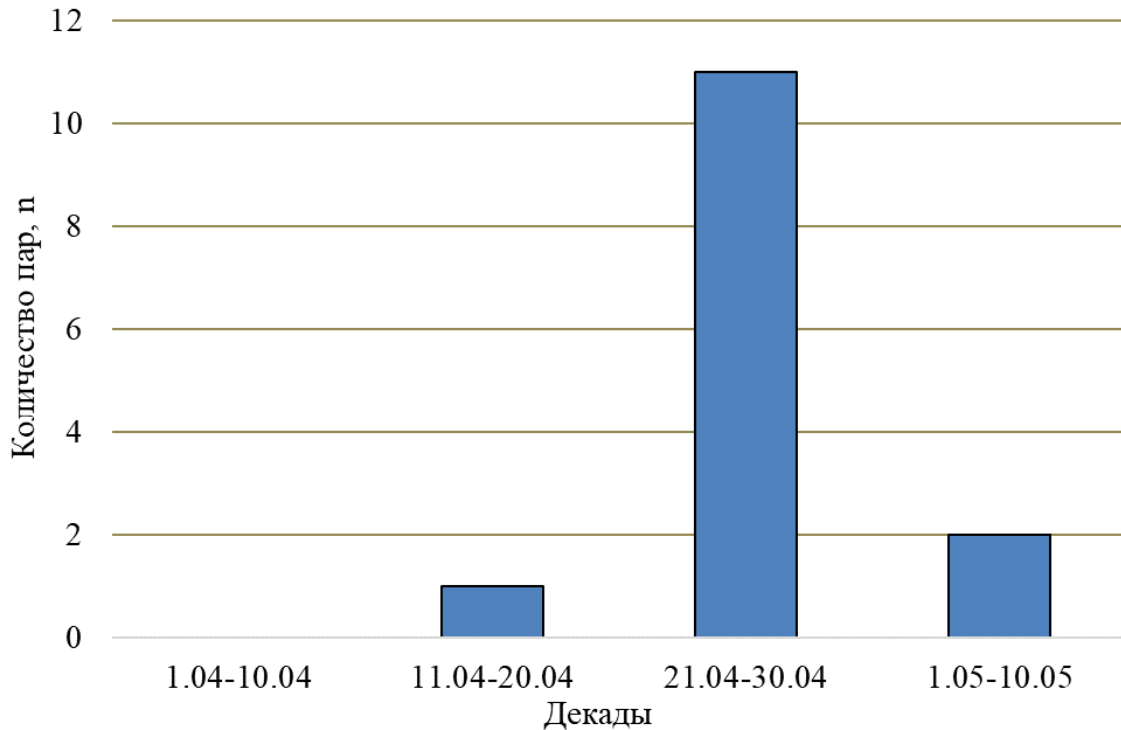


Рис. 2. Фенология откладки первого яйца у певчего дрозда (*Turdus philomelos*)

Что касается второго цикла размножения, то из 40 прослеженных случаев гнездования певчего дрозда, 12 (30 %) приходится на 3-ю декаду мая, т.е. треть всех пар певчего дрозда в условиях урболандшафта приступало ко второму циклу гнездования. Полученные данные по фенологии гнездования певчего дрозда в городских древесных насаждениях отличаются от таковых для лесных формаций. Так, в лесных формациях Беларуси певчий дрозд имеет два цикла размножения, причем второй цикл приходится на период со второй декады июня и длится до начала июля [1, 2].

Абсолютное большинство гнезд у певчего дрозда было размещено в ярусе подроста и подлеска (70,69 %, n=58), что в целом характерно для данного вида при гнездовании в лесах Беларуси [3]. Для размещения гнезд певчий дрозд выбирал 3 вида растений: ель обыкновенную (*Picea abies*), рябину обыкновенную (*Sorbus aucuparia*) и сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris*), отдавая явное предпочтение гнездованию на ели обыкновенной (96,55 % всех гнезд). Такой гнездовой стереотип свойственен данному

виду в лесных формациях, когда при наличии в подросте и древостое ели певчий дрозд предпочитает гнездиться на этом виде дерева [3].

Высота расположения гнезд певчего дрозда варьировала значительно – от 1,1 м и до 6,5 м. В среднем она составляла $2,22 \pm 0,89$ м ($n=58$), при этом в диапазоне от 1,1 до 2 м располагалось 30 гнезд (51,72 %), от 2,1 до 4 м – 26 гнезд (44,83 %), а свыше 4 м – 2 гнезда (3,45 %).

Согласно классификации расположения гнезд [3], для певчего дрозда в условиях ППРЗ «Дубрава Щомыслицкая» отмечено всего 3 из 9 типов: в подросте, на боковой ветви на некотором удалении от ствола, а также у ствола дерева. При этом большинство гнезд (70,69%) располагалось в подросте ели (6 тип). Полученные данные указывают на то, что в условиях города предпочтение в выборе мест для гнездования у певчего дрозда на данном этапе освоения урбосреды осталось схожим с дикими лесными птицами.

Количество яиц в полной кладке у певчего дрозда в условиях городских древесных насаждений варьирует от 3 до 5, в среднем $4,4 \pm 0,55$ ($n=32$). Полученные данные несколько меньше, чем аналогичные из лесных формаций [4], согласно которым количество яиц в полной кладке варьировало от 3 до 7, в среднем $4,98 \pm 0,69$, хотя данные различия и недостоверны (тест Манна-Уитни, $p > 0,05$).

Таким образом, полученные данные по биологии гнездования певчего дрозда на урбанизированной территории в условиях ППРЗ «Дубрава Щомыслицкая» указывают на то, что у данного вида появились первые изменения, связанные с синурбизацией, т.е. с адаптацией к обитанию в городах. Эти изменения касаются выбора мест для расположения гнезд, цикла размножения (более сжатые сроки размножения по сравнению с лесами), а также, возможно, плодовитости (меньшее количество яиц в кладке в сравнении с лесными птицами).

Библиографические ссылки

1. Федюшин, А. В. Птицы Белоруссии / А. В. Федюшин, М. С. Долбик. – Минск: Наука и техника, 1967. 520 с.
2. Никифоров, М. Е. Птицы Беларуси на рубеже XXI века: статус, численность, распространение / М. Е. Никифоров [и др.]. – Минск: Королев Н.А., 1997. 188 с.
3. Сахвон, В. В. Особенности выбора мест для гнездования певчим (*Turdus philomelos*) и черным дроздами (*T. merula*) в лесах различного типа в условиях биотопической симпатрии / В. В. Сахвон, В. В. Гричик // Бранта: сб. научн. тр. Азово-черноморской орнитол. станции. 2018. Вып. 21. С. 40–52.
4. Никифоров, М. Е. Птицы Белоруссии: справочник-определитель гнезд и яиц / М. Е. Никифоров, Б. В. Яминский, Л. П. Шклярков. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. 479 с.

ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ХОРТОБИОНТОВ И ГЕРПЕТОБИОНТОВ НА РАЗНЫХ ТИПАХ ГОРОДСКИХ ГАЗОНОВ

А. А. Соболева, К. С. Шаховская

soboleva_anna04@mail.ru, shahovskayamiau@gmail.com;

Научный руководитель – О. Л. Нестерова, кандидат биологических наук, доцент

В настоящее время урбанизация является одной из важнейших глобальных проблем, приводящих к появлению новой экологической среды. Газоны являются неотъемлемой частью урбанизированных территорий. Целью данной работы стало изучение фауны хортобионтов и герпетобионтов на городских газонах разного типа, насколько фауна исследована на сегодня, особенности ее распределения и формирования.

Ключевые слова: насекомые-хортобионты; насекомые-герпетобионты; таксономический состав; городской газон; урбанизация.

Крупный город – это совокупность экосистем, которые составляют мозаику различных биотопов с разной антропогенной нагрузкой. Для изучения энтомологического разнообразия городской среды необходимо учитывать мозаичное распределение, которое характеризуется увеличением численности насекомых на окраине города с постепенным уменьшением их количества к центру. Происходит образование экологических ниш, которые не могут оставаться пустыми, из-за чего идёт интенсивный процесс освоения этих ниш животными, в частности членистоногими, являющимися наиболее многочисленной и неотъемлемой частью большинства экосистем. В первую очередь, насекомые разрыхляют почву, играют санитарную роль, служат регуляторами численности организмов и являются основой рациона многих животных.

Помощь насекомым, которые чрезвычайно важны в городе, направлена прежде всего на охрану биотопов и уход за ними. Увеличение числа зеленых массивов в городе создает благоприятные условия для проживания насекомых и поддерживает разнообразие фауны. Насекомые в таких условиях повышают стабильность городских экосистем [1].

Газон – травяной покров, создаваемый посевом семян специально подобранных трав, являющийся фоном для посадок и парковых сооружений. В настоящее время изучению газонов уделяется недостаточное внимание, вследствие чего должным образом не изучается проживающее там население насекомых.

Газоны используются не только в декоративных и спортивных, но и в санитарно-гигиенических целях, то есть для обогащения воздуха

кислородом, поддержания влажности, удержания на своей поверхности городской пыли и в какой-то степени выполняют звукопоглощающую функцию.

Газоны по А. А. Лаптеву классифицируются на декоративные газоны и газоны специального назначения [2]. К газонам специального назначения относятся: спортивные газоны, расположенные на ипподромах, стадионах, аэродромах и др.

Декоративные газоны делятся на:

1. Партерные, которые располагаются у общественных зданий, памятников, на партерных участках парка и в других подобных местах.
2. Обыкновенные садовые газоны, составляющие значительную часть территорий парков, бульваров, скверов и лесопарков.
3. Луговые газоны, расположены в лугопарках и лесопарках.
4. Мавританские, размещены отдельными пятнами из цветов.
5. Комбинированные, состоят из разных типов газонов.

Данная классификация была взята за основу, так как она является классической. Существуют более современные классификации газонов, например, И. А. Еремы [3]. Но данная классификация не использовалась, т.к. рациональнее придерживаться более классического варианта.

В Республике Беларусь есть определённые стандарты по созданию газонов в городских условиях, установленные Законом «О техническом нормировании и стандартизации», описанные в 8 главе [4].

Существуют такие экологические группы насекомых, которые чутко реагируют на изменения состояния окружающей среды в городе. К ним относятся хортобионты и герпетобионты. Герпетобионты – обитатели напочвенной подстилки. В свою очередь хортобионты – обитатели травяного покрова [5].

Мы проанализировали научные труды энтомологов: Л. П. Молодовой, Н. Г. Галиновского, А. В. Рыжей, а также их студентов [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12], обобщив все данные по хортобионтам и герпетобионтам в сводной таблице ниже.

**Насекомые-хортобионты и насекомые-герпетобионты
на разных типах городских газонов**

Тип газона					
Разнообразие хортобионтов			Разнообразие герпетобионтов		
Отряд	Семейство	Количество видов	Отряд	Семейство	Количество видов
Партерный газон					
<i>Hemiptera</i>	<i>Membracidae</i>	1	<i>Coleoptera</i>	<i>Carabidae</i>	4
				<i>Dermestidae</i>	1
				<i>Tenebrionidae</i>	3

Тип газона					
Разнообразие хортобионтов			Разнообразие хортобионтов		
Отряд	Отряд	Отряд	Отряд	Отряд	Отряд
Обыкновенный садовый газон					
<i>Hymenoptera</i>	<i>Andrenidae</i>	1	<i>Coleoptera</i>	<i>Carabidae</i>	9
	<i>Megachilidae</i>	2			
	<i>Apidae</i>	4			
	<i>Melittidae</i>	1		<i>Staphylinidae</i>	4
	<i>Halictidae</i>	1			
	<i>Vespidae</i>	1			
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	2	<i>Tenebrionidae</i>	1	
<i>Coleoptera</i>	<i>Scarabaeidae</i>	1			
Луговой газон					
<i>Coleoptera</i>	<i>Cantharidae</i>	1	<i>Coleoptera</i>	<i>Carabidae</i>	9
	<i>Carabidae</i>	6		<i>Elateridae</i>	2
	<i>Chrysomelidae</i>	7		<i>Dermestidae</i>	1
	<i>Cleridae</i>	1		<i>Lucanidae</i>	1
	<i>Coccinellidae</i>	5		<i>Staphylinidae</i>	1
	<i>Curculionidae</i>	5		<i>Tenebrionidae</i>	3
	<i>Melyridae</i>	1	<i>Hymenoptera</i>	<i>Formicidae</i>	1
	<i>Oedemeridae</i>	1			
	<i>Scarabaeidae</i>	4			
	<i>Tenebrionidae</i>	2			
Мавританский газон					
–	–	0	<i>Coleoptera</i>	<i>Carabidae</i>	5
				<i>Curculionidae</i>	1
Комбинированный газон					
<i>Coleoptera</i>	<i>Anthicidae</i>	1	<i>Coleoptera</i>	<i>Carabidae</i>	9
	<i>Apinidae</i>	2			
	<i>Cantharidae</i>	1			
	<i>Chrysomelidae</i>	12		<i>Curculionidae</i>	2
	<i>Coccinellidae</i>	4			
	<i>Curculionidae</i>	13		<i>Elateridae</i>	2
	<i>Elateridae</i>	5			
	<i>Malachiidae</i>	1			
	<i>Nitidulidae</i>	1			
	<i>Oedemeridae</i>	1			
<i>Staphylinidae</i>	2	<i>Tenebrionidae</i>	1		
Газон специального назначения					
<i>Coleoptera</i>	<i>Apinidae</i>	2	<i>Coleoptera</i>	<i>Carabidae</i>	7
	<i>Bruchidae</i>	1			
	<i>Cantharidae</i>	3			
	<i>Carabidae</i>	2			
	<i>Chrysomelidae</i>	4			

Тип газона					
Разнообразие хортобионтов			Разнообразие герпетобионтов		
Отряд	Семейство	Количество видов	Отряд	Семейство	Количество видов
	<i>Curculionidae</i>	5			
	<i>Elateridae</i>	4			
	<i>Malachiidae</i>	1			
	<i>Nitidulidae</i>	1			
	<i>Oedemeridae</i>	1			
	<i>Scarabaeidae</i>	1			

В результате было выявлено, что большая часть исследований была проведена на садовых, луговых и комбинированных газонах. Видовое разнообразие герпетобионтов на специальных газонах было малоизучено, но есть множество исследований хортобионтов на данном типе газона. На партерных и мавританских газонах в Беларуси обе экологические группы насекомых не изучались должным образом, что подчеркивает актуальность исследования. Небольшое количество видов насекомых на партерном типе газона объясняется тем, что он подвергается антропогенной нагрузке в виде постоянного выкашивания травяного покрова. Если говорить о мавританском типе газона, то на нем зачастую выращиваются нехарактерные для нашей географической зоны виды растений. Из-за этой целенаправленной интродукции растений происходит сокращение видового разнообразия насекомых, так как они не приспособлены к питанию новыми группами растений.

Библиографические ссылки

1. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. Пер. с нем. – М. : Мир, 1990. 246 с.
2. Лаптев А. А. Газоны. Киев : Издательство академии архитектуры УССР, 1955. 75 с.
3. Ерема И. А., Созинов О. В. Газоноведение. – Гродно. ЮрСаПринт, 2015. 28 с.
4. Благоустройство территорий. Озеленение. Правила проектирования и устройства: ГОСТ 12420-1981. – Введ. 01.07.2008. – Минск : Научно-техническое управление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008.
5. Чернышев В. Б. Экология насекомых. – М : Изд-во МГУ, 1996. 304 с.
6. Гляковская Е. И., Рыжая А.В. Экологическая культура и охрана окружающей среды // Первая регистрация инвазионного вида бодушки бизоньей на территории Гродненского понеманья. Витебск. 2020. С. 87-89.
7. Кислая А. В., Янчуревич О. В., Рыжая А. В. Зоологические чтения: сб. науч. ст. // Видовое разнообразие насекомых-опылителей Гродненского района (Беларусь). Гродно. 2021. С. 93–95.
8. Почобут М. В. Экологические комплексы жесткокрылых насекомых города Гродно и его окрестностей. – Гродно: ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. 30 с.

9. Галіноўскі М. Г. Весці БДУ імя Максіма Танка // Уплыў гарадской забудовы на склад і насельніцтва згуртаванняў цвердакрылых-хортабіентаў урбанізаваных тэрыторый. 2005. №1. С. 41–43.
10. Галиновский Н. Г., Шауро Т. В. Труды Белорусского государственного технологического университета // Видовой состав и структура герпетобионтных жесткокрылых зеленых насаждений г. Минска. 2007. Вып. XV. С. 333–337.
11. Молодова Л. П. Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География // Структура фауны жесткокрылых герпетобионтов в биотопах Гомеля. 1990. № 3. С. 39–42.
12. Галиновский Н.Г. Современные проблемы естествознания: сб. науч. ст. // К изучению видового состава жужелиц г. Минска. Минск. 2001. С. 18–22.

ВЛИЯНИЕ ОТВАРА ПАДУБА ШИРОКОЛИСТНОГО (*ILEX LATIFILIA*) НА ПОКАЗАТЕЛИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Е. А. Титенкова, И. С. Янкун

elizaveta_titenkova@mail.ru;

Научный руководитель – О. И. Губич, кандидат биологических наук, доцент

Данная работа посвящена изучению возможности стабилизации показателей углеводного обмена у лабораторных крыс с экспериментальным сахарным диабетом отваром падуба широколистного (*Ilex latifolia*). Установлено, что падуб широколистный обладает выраженным сахароснижающим и стабилизирующим углеводный обмен действием, лишь незначительно уступая в эффективности аптечному препарату стевии медовой, использованной в работе в качестве препарата сравнения.

Ключевые слова: углеводный обмен; сахарный диабет; падуб широколистный; сахароснижающий эффект; сыворотка крови.

Сахарный диабет сегодня является одним из наиболее распространенных хронических заболеваний и рассматривается как исключительно важная медико-социальная проблема, приобретающая все большую актуальность. Это обусловлено постоянно увеличивающимся количеством пациентов с сахарным диабетом, хроническим характером течения болезни, частым развитием сосудистых осложнений, приводящих к инвалидности, существенному сокращению продолжительности жизни и ухудшению ее качества [1].

Согласно официальной статистике, в Республике Беларусь в настоящее время получают лечение 483 тысячи человек с данной патологией, при этом истинное число диабетиков может в 2-3 раза превышать зарегистрированные случаи [2].

В настоящее время известно три способа лечения сахарного диабета: заместительная терапия инсулином, заместительная терапия оральными антидиабетическими препаратами, и препаратами, уменьшающими активность противоинсulinарных внепанкреатических факторов [3].

Помимо стандартных препаратов, в настоящее время в медицинской практике применяется и около 150 лекарственных растений, оказывающих сахароснижающий и антиоксидантный эффект. Антиоксидантную терапию сегодня по праву можно отнести к патогенетической, так как роль участия свободных радикалов кислорода в патогенезе сахарного диабета и его осложнений в настоящее время не

вызывает сомнений. В соответствии с этим, актуальным является изучение влияния фитопрепаратов, богатых антиоксидантами (например, флавоноидами), на показатели различных видов обмена веществ и общее состояние пациентов, страдающих диабетом [4].

Одним из перспективных для применения в фитотерапии сахарного диабета растительных препаратов является падуб широколистный (*Ilex latifolia*). Данное растение, широко используемое в китайской народной медицине и активно набирающее позиции на европейском рынке, характеризуется перспективным химическим составом, включающим тритерпеноиды (β -кудинлактон) и их гликозиды, фенольные кислоты, флавоноиды (рутин, кверцетин, кемпферол, эпикатехин, эпикатехин галлат, эпигаллокатехин галлат) и эфирные масла [5].

Экспериментальные и клинические исследования подтверждают эффективность использования отвара данного растения для профилактики и лечения сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний, фарингита, атеросклероза, гипертонии и некоторых форм злокачественных новообразований. Интересно, что данное растение лишено кофеина, что делает его пригодным для использования пациентами крайних возрастных групп [5]. Между тем, противодиабетическое действие падуба в доступной нам литературе не описано.

Таким образом, целью данной работы явилось изучение влияния отвара падуба широколистного на биохимические показатели углеводного обмена у лабораторных крыс с экспериментальным сахарным диабетом.

Работа выполнена на беспородных белых крысах-самцах массой 180-200 г, находящихся на стандартном рационе вивария БГУ. Все эксперименты выполняли в соответствии с этическими нормами обращения с животными. В работе использовали коммерческий препарат листьев падуба широколистного, отвар которого готовили из расчета 50 мг листьев/200 мл воды и предоставляли для питья соответствующим группам экспериментальных животных вместо воды в течение 7 суток. Постановка экспериментальной модели сахарного диабета осуществлялась путем однократного внутривентрального введения животным 5% аллоксана в дозе 100 мг/кг.

В качестве препарата сравнения в данной работе использовали аптечный противодиабетический фитопрепарат – листья стевии медовой, отвар которой готовили в соответствии с прилагающейся инструкцией и предоставляли лабораторным крысам для питья вместо воды в течение 7 суток. Заметим, что применение стевии в фитотерапии обусловлено

наличием у нее экспериментально доказанных антиоксидантных свойств, гипогликемической и гипотензивной активности [6].

По истечении указанного времени животных выводили из эксперимента путем декапитации и проводили измерение величин основных биохимических маркеров изучаемой патологии, как описано нами в [7].

На первом этапе нашей работы мы проводили измерение величин основных биохимических маркеров изучаемой патологии на используемой экспериментальной модели. Как известно, аллоксан вызывает разрушение β -клеток поджелудочной железы, что и является причиной развивающейся у лабораторных животных инсулиновой недостаточности [8]. Согласно полученным данным, показатели лабораторных животных с данной патологией прогнозируемо изменились. Наблюдалось повышение концентрации глюкозы в сыворотке крови на 73,8%, содержания пирувата – на 47,3%, а также снижение активности α -амилазы – на 29,6%, что характерно при тяжелых панкреатических поражениях.

На следующем этапе мы анализировали влияние анализируемых отваров на вышеприведенные биохимические маркеры интактных животных. Исходя из полученных данных, потребление интактными крысами отвара стевии не сопровождается достоверными изменениями анализируемых маркеров, за исключением уже описанного в литературе снижения активности α -амилазы (-35,8% к контролю). Недельное употребление интактными крысами отвара падуба также приводило к снижению активности данного фермента, однако данный эффект был выражен значительно слабее (-23,8% к значению интактной серии); кроме того, наблюдалась тенденция к снижению концентрации глюкозы в крови (-27,4% к контролю).

Наконец, на решающем этапе работы крысам с сахарным диабетом вместо питьевой воды вводили в рацион исследуемые отвары. В соответствии с полученными данными, отвар падуба способствует снижению величин исследуемых показателей. Так, концентрация глюкозы у крыс, страдающих сахарным диабетом, снизилась на 98,2%, концентрация пирувата – на 21,7%, активность α -амилазы – на 45,5%.

Можно предположить, что наблюдаемый гипогликемический эффект может быть обусловлен описанной в литературе умеренной ингибирующей активностью падуба на α -глюкозидазу в тонком кишечнике. Этот фермент гидролизует дисахариды на моносахариды, делая их более доступными для кишечного всасывания. Позволим себе заметить, что известные ингибиторы α -глюкозидазы (акарбоза, миглитол

и воглибоза) уже используются в качестве препаратов для стабилизации состояния пациентов с сахарным диабетом 2 типа [3, 5].

Что касается экстракта стевии, то она продемонстрировала предсказуемый стабилизирующий эффект на все измеряемые параметры, приводя их к значениям, статистически неотличимым от параметров интактной группы, несколько превосходя эффект отвара падубы широколистного.

Таким образом, падубы широколистный в нашей работе оказал достоверное стабилизирующее действие на углеводный обмен в условиях экспериментального сахарного диабета, однако несколько уступал эффективности стевии медовой.

Библиографические ссылки

1. Олейников, В.Э. Сахарный диабет / В.Э. Олейников, М.Ю. Сергеева - Кондраченко // Учебно-методические рекомендации для студентов 4 – 6 курсов медицинских вузов, терапевтов, эндокринологов и врачей общей практики. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2012. 108 с.
2. Шепелькевич, А.П. Особенности оказания диабетологической помощи в Республике Беларусь на современной этапе/ А.П. Шепелькевич, А.В. Солнцева, О.Б. Салко, З.В. Забаровская, С.С. Корытько // Научно-практический журнал для врачей и провизоров: Ars Medica. 2012. №15. С. 6-11.
3. Аметов, А. С. Ожирение и сахарный диабет типа 2: современные аспекты фармакотерапии / А. С. Аметов, М. А. Прудникова // Эндокринология. Новости. Мнения. Обучение. 2016. № 4. С. 15-21.
4. Корсун, В. Ф. Фитотерапия против диабета. Травы жизни / В. Ф. Корсун. – Москва: Центрполиграф, 2016. 189 с.
5. The large-leaved Kudingcha (*Ilex latifolia* Thunb. and *Ilex kudingcha* C.J. Tseng): a traditional Chinese tea with plentiful secondary metabolites and potential biological activities / L. Li [et al.] // Journal of Natural Medicines. 2013. № 67. С. 425–437.
6. Кочетов, А. А. Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni): биохимический состав, терапевтические свойства и использование в пищевой промышленности (обзор) / А. А. Кочетов, Н. Г. Синявина // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 5-27.
7. Губич, О.И., Бандык, Я.А., Залеская, Н.А. Исследование адаптогенных, сахароснижающих и гепатопротекторных свойств клитории тройчатой (*Clitoria ternatea* L.) на экспериментальных моделях *in vivo* / О.И. Губич, Я.А. Бандык, Н.А. Залеская, С.С. Окорокова, А.И. Капаник, А.Э. Герасимова // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2020. - № 1. с. 27-38.
8. Губич, О.И. Медицинская биохимия: практикум / сост. О.И. Губич. – Минск: БГУ, 2015. 84 с.

БИОИНФОРМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИММУНОГЕННОСТИ ГЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ БЕЛКОВ ДЛЯ АКТИВНОЙ ИММУНОТЕРАПИИ

И. С. Трусов

ivan.trusau@yandex.by;

Научный руководитель – В. В. Гринев, кандидат биологических наук, доцент

Одним из перспективных методов иммунотерапии рака является вакцинация с использованием дендритных клеток. Проблемой метода является правильный подбор антигенов, способных связываться с белками МНС (Major Histocompatibility Complex). В ходе нашей работы проводилось сравнение программ, способных предсказывать аффинность связывания пептидов генно-инженерных белков, предназначенных для вакцинации, с белками МНС.

Ключевые слова: Python; генно-инженерные белки; прогнозирование иммуногенности; дендритные клетки; иммунотерапия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе работы были отобраны программы для тестирования, предсказывающие аффинность для МНС класса I: NetMHCpan-4.1, PickPocket-1.1, NetMHCcons-1.1, NetMHC-4.0, – а также МНС класса II: NetMHCIIpan-4.1, NetMHCII-2.3. Программы были выбраны по следующим критериям: автономность, точность предсказаний, скорость работы, количество доступных аллелей МНС для анализа, возможность использования собственной пептидной последовательности МНС белка.

В качестве эталонных данных для тестирования были выбраны две библиотеки данных для МНС класса I и МНС класса II, взятых из The Immune Epitope Database (База данных иммунных эпитопов) [1]. При работе в Python использовались пакеты *os*, *numpy* и *pandas*. Для оценки быстродействия программ через Python использовалась библиотека *time*. Расчёты проводились на компьютере с 8-ядерным процессором с тактовой частотой 3,2 ГГц и 16 Гб оперативной памяти, а также SSD-диск.

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММ, ПРЕДСКАЗЫВАЮЩИХ АФФИННОСТЬ, В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ PYTHON

Одним из основных критериев нашего отбора является число аллелей МНС, представленных в программе и позволяющих на их основе рассчитать аффинность белка МНС с антигеном. Так число человеческих аллелей для NetMHC-4.0 равняется 81, для NetMHCpan-4.1 – 11858, для PickPocket-1.1 – 2931, для NetMHCcons-1.1 – 2924, для NetMHCII-2.3 – 54 и для NetMHCIIpan-4.1 – 5620 [2]. Кроме этого, NetMHCIIpan-4.1, NetMHCcons-1.1 и NetMHCpan-4.1 позволяют использовать собственную

пептидную последовательность молекулы МНС, что может быть особенно полезно при работе с редкими аллелями.

Для сравнения точности и скорости работы все программы были установлены на один персональный компьютер с целью создания единых условий для тестирования. Вызов соответствующих программ осуществлялся при помощи пакета *os* с функцией *os.system*. Точность предсказаний оценивалась по значению IC_{50} (нМ), которые были преобразованы следующим образом: $IC_{50} < 50$ считается высокой аффинностью, $50 < IC_{50} < 500$ – промежуточной и $IC_{50} > 500$ – низкой аффинностью [3].

Для экспериментов из двух библиотек было случайным образом отобрано 10000 эпитопов с данными связывания с 87 белками МНС класса I и 23 белками класса II. Среди программ, работающих с МНС класса I, самой точной программой оказался NetMHCcons-1.1 (рис. 1 А), а самой быстрой PickPocket-1.1 (рис. 1 Б). NetMHCII-2.3 оказался самой точной и быстрой программой, работающей с МНС класса II (рис. 2 А, Б).

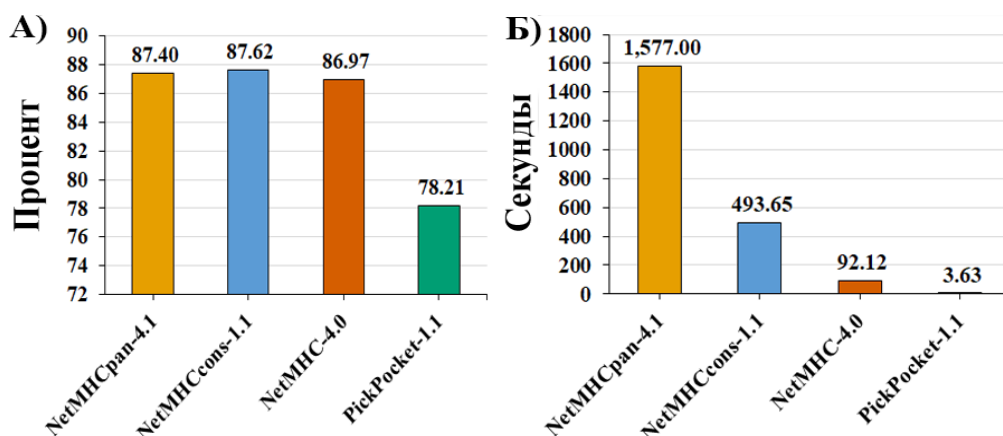


Рис. 1. Сравнение точности (А) и скорости (Б) расчётов аффинности для класса

Полученные результаты позволили нам выделить NetMHCcons-1.1 как лучшую программу для анализа связывания эпитопов с молекулами МНС класса I. Однако PickPocket-1.1 также может быть полезен при работе с большими объёмами данных. Лучшей программой для работы с МНС класса II оказалась NetMHCII-2.3, однако использование NetMHCpan-4.1 остаётся необходимым для большинства работ, в связи с очень скудным набором аллелей у NetMHCII-2.3.

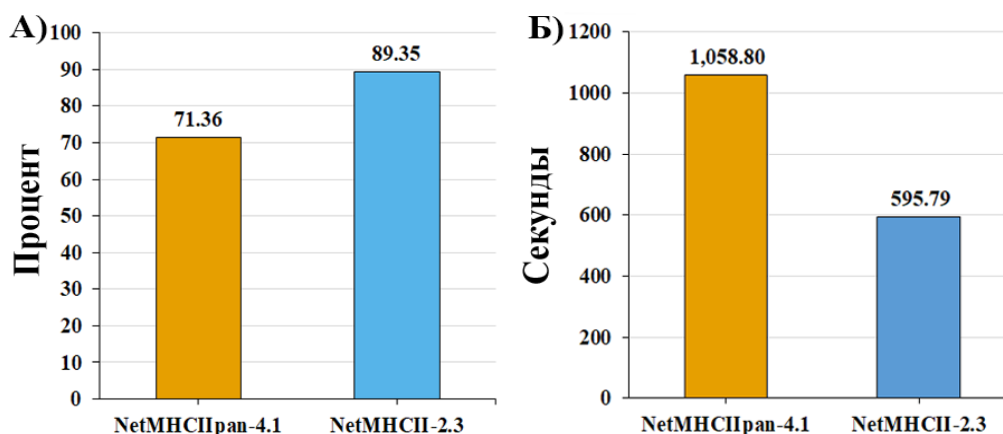


Рис. 2 Сравнение точности (А) и скорости (Б) расчётов аффинности для класса II

ПРОГНОЗ ИММУНОГЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ БЕЛКА MLANA

В ходе нашей работы было проведено прогнозирование связывания фрагментов белка MLANA с МНС белками человека, известных как HLA (Human Leukocyte Antigens). Белок MLANA является антигеном меланомы, поэтому его использование может потенциально помочь при разработке вакцин против данного вида рака.

Для прогнозирования использовались программы NetMHCcons-1.1 и NetMHCII-2.3. Аффинность MLANA к HLA класса I оценивалась по связыванию 8-аминокислотных пептидов с 20-ю аллелями HLA-A*01 (рис. 3 А). Для HLA класса II использовались 15-аминокислотные пептиды, которые связывались с 20-ю аллелями HLA-DR (рис. 3 Б). Линии на графиках (рис. 3) показывают пороговое значение аффинности для связывания, принятое за значение IC50 равное 500 нМ [3].

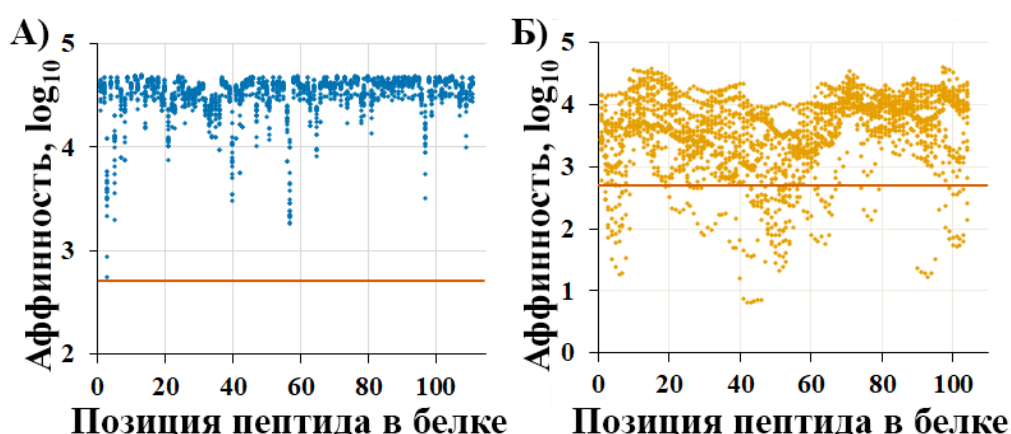


Рис. 3. Связывание пептидов молекулами HLA класса I (А) и класса II (Б)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что фрагменты белка MLANA не связываются с HLA класса I, но имеют множество

сайтов связывания с HLA класса II. Это означает, что для использования MLANA как рекомбинантного белка дендритных клеток, необходима его дополнительная модификация. Примером такой модификации служит гибридный белок MLANA-FLAG®-LAMP1. Предполагается, что сигнальный домен LAMP-1 будет перенаправлять белок в лизосому, где и будет происходить его фрагментация и связывание с молекулами HLA класса II [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вакцинация на основе дендритных клеток является перспективным, но в тоже время проблемным направлением в иммунотерапии. Она имеет ряд достоинств, которые выгодно выделяют её на фоне других направлений. Поэтому крайне важно создать благоприятную почву для её дальнейшего развития.

По итогам нашей работы были отобраны наиболее эффективные программы для работы с MHC класса I и II. Также было продемонстрировано их использование для прогнозирования иммуногенности опухолевого белка на примере MLANA. Получаемые данные прогнозирования могут использоваться как основа для разработки генно-инженерных белков, которые будут использоваться в производстве готовой вакцины.

Таким образом отобранные программы могут служить краеугольным камнем пайплайнов, направленных на обнаружение потенциальных неоантигенов опухоли и прогнозирование их иммуногенности, а также сборку гибридных белков для создания более эффективной вакцины.

Библиографические ссылки

1. Datasets [Electronic resources] // IEDB Analysis Resource : [site]. [2005].
2. Immunological features [Electronic resources] // DTU Health Tech : [site]. [2020].
3. Interpreting predicted affinities and percentile ranks [Electronic resources] // IEDB Analysis Resource : [site]. [2005].
4. LAMP1_HUMAN [Electronic resources] // UniProt : [site]. [2003].

ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЗАПАХОВЫХ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ

Д. С. Труш

bio.trush@bsu.by;

Научный руководитель – А. Г. Чумак, доктор биологических наук, профессор

Целью работы являлось оценить по объективным показателям реакции автономной нервной системы студентов на запаховые раздражители. Выяснилось, что характер реакции отделов автономной нервной системы на приятные и неприятные ароматы может резко отличаться, что позволяет применять метод компьютерного анализа для определения предпочтений человека в области запахов.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма; обонятельная сенсорная система; запах; автономная нервная система.

Обонятельный анализатор у человека несмотря на то, что люди относятся к микросматам и не различают значительную долю того, что могут детектировать макросматы, имеет весьма заметную роль в аппетитивном и оборонительном поведении [1,5]. Оценка организмом съедобности питательных веществ, определение запаха играет важнейшую роль в аппетитивном поведении. Продолжает сохранять актуальность анализ вклада обонятельной сенсорной системы в вегетативное обеспечение процессов в организме. Это относится и к реакциям симпатической и парасимпатической нервной системы в условиях действия пищевых и раздражающих запахов на рецепторы в периферическом отделе обонятельного анализатора [5,6].

Регуляция показателей работы сердца находится под контролем автономной нервной системы (АНС), поэтому по их анализу можно оценивать активность ее симпатического и парасимпатического отделов. Вариабельность сердечного ритма (ВСР) – изменчивость определённых параметров и ритма сердца при воздействии факторов внутренней или внешней среды на организм оценивается с помощью современных компьютеризированных электрокардиографов, таких как примененный в настоящей работе аппаратно-программный комплекс «Варикард». С помощью кардиоинтервалографии по Р.М. Баевскому [2,3,4] исследование проводилось в несколько этапов (регистрация фоновой записи, запись при предъявлении запахового раздражителя, анализ данных). В исследовании предъявлялись запахи пряностей и цветков: ванилин, корица, липа, шиповник, а также вызывающие отторжение запахи: органического растворителя (краски) и раствора аммиака. После вдыхания каждого из запахов, испытуемому предлагалось некоторое время для отдыха. Перед регистрацией уточнялось наличие аллергий у

испытуемого. После проведения опыта испытуемый озвучивал своё отношение к запахам предоставленных продуктов.

В исследовании были проанализированы результаты ЭКГ 22 испытуемых. Наглядное изменение реакции их организма на приведённые запахи можно проследить в таблицах 1, 2. Результаты обрабатывались статистически с использованием t-критерия Стьюдента. В таблицах результаты представлены в виде «среднее значение \pm средняя ошибка». Курсивом выделены результаты, где отмечаются достоверные различия ($p \leq 0,05$).

Таблица 1

Результаты исследования ВСП у студентов с равновесием симпатического и парасимпатического отделов АНС

	Фон	Корица	Ванилин
SDNN (мс)	43,83 \pm 4,76	43,33 \pm 6,06	46,67 \pm 6,36
RMSSD (мс)	28,67 \pm 4,74	27,83 \pm 4,61	36,17 \pm 5,23
pNN50 (%)	10,10 \pm 4,08	10,62 \pm 3,55	12,68 \pm 4,71
CV (%)	6,33 \pm 0,52	6,16 \pm 0,68	6,61 \pm 0,78
AMo (%)	37,83 \pm 2,04	37,83 \pm 2,75	37,58 \pm 2,64
SI	232,26 \pm 90,51	291,58 \pm 129,55	235,58 \pm 70,92
CC1	0,66 \pm 0,04	0,59 \pm 0,05	0,64 \pm 0,04
CC0 (с)	7,84 \pm 2,36	2,55 \pm 0,33	4,29 \pm 1,69
TP (мс²)	2091,90 \pm 478,17	1938,73 \pm 529,03	2644,11 \pm 768,45
HF (мс²)	710,13 \pm 181,62	815,97 \pm 238,12	1348,68 \pm 564,50
LF (мс²)	959,31 \pm 289,26	832,88 \pm 262,85	924,60 \pm 198,09
VLF (мс²)	356,19 \pm 85,57	234,61 \pm 108,44	311,67 \pm 55,01
LF/HF	1,77 \pm 0,49	1,16 \pm 0,23	1,45 \pm 0,43

Таблица 2

Результаты исследования ВСП у студентов с преобладанием парасимпатического отдела АНС

	Фон	Липа	Краска
MxDMn	364,25 \pm 59,43	444,50 \pm 21,58	371,67 \pm 30,60
RMSSD	83,25 \pm 7,05	87,50 \pm 12,09	78,00 \pm 10,02
pNN50	36,98 \pm 8,48	49,58 \pm 7,75	43,67 \pm 3,89
CC1	12,53 \pm 0,60	6,56 \pm 0,50	9,17 \pm 0,59
HF	2937,16 \pm 2,83	3931,08 \pm 2,85	3275,85 \pm 4,54
SDNN	87,50 \pm 0,15	93,50 \pm 0,14	86,00 \pm 0,01
AMo	43,98 \pm 0,56	40,68 \pm 2,84	46,17 \pm 3,04
CC0	27,14 \pm 2,88	5,91 \pm 4,97	5,13 \pm 3,00
SI	1229,53 \pm 65,00	993,30 \pm 34,75	1316,76 \pm 45,00
TP	6350,31 \pm 544,93	7103,71 \pm 1161,01	6030,76 \pm 1010,33
LF	1935,42 \pm 441,99	2078,49 \pm 305,36	1936,87 \pm 558,33
VLF	715,97 \pm 217,42	766,28 \pm 193,61	661,54 \pm 214,10
LF/HF	0,87 \pm 0,41	0,73 \pm 0,23	0,62 \pm 0,09

Исходя из того, какой отдел АНС преобладал в регуляции ритма сердца у испытуемых, они были разделены на три группы. В первую группу отнесли тех студентов, у которых зарегистрировали равновесие симпатического и парасимпатического отделов АН, во вторую – с преобладанием симпатического отдела АНС, а в третью – с преобладанием парасимпатического отдела ВНС.

В методических руководствах [2,3,6] указывается, что понижение таких стандартных показателей ВСР как $MxDMn$, $RMSSD$, $pNN50$, $SDNN$ и повышение HR , SI , Amo , LF , VLF , TLF , LF/HF свидетельствуют об усилении активности симпатического отдела АНС. Повышение таких показателей как $MxDMn$, $RMSSD$, $pNN50$, $SDNN$, HF и понижение HR , SI , Amo , LF , VLF , TLF , LF/HF свидетельствуют об усилении парасимпатического звена регуляции АНС.

В наших исследованиях обнаружено, что у студентов в группе с преобладанием симпатических влияний реализуется усиление симпатической активности при предъявлении запаха краски, поскольку наблюдалось повышение HR , SI , Amo и понижение $SDNN$. У них также была выражена симпатическая активность при вдыхании запаха цветков шиповника и липы (повышение HR , SI , Amo ; понижение $MxDMn$, $MxRMn$, $RMSSD$, $SDNN$). С помощью спектрального анализа удалось отчётливо зарегистрировать усиление активности парасимпатического отдела АНС при предъявлении запахов цветков липы и шиповника, а также пряностей корицы и ванилина. Стоит отметить, что у некоторых испытуемых наблюдалось усиление парасимпатических влияний на сердце при запахе краски. При этом реакция на липу и шиповник, корицу и ванилин отличались, что можно объяснить субъективным восприятием ароматов.

На рисунке 1 и 2 представлены спектрограммы ВСР при предъявлении испытуемым запаховых раздражителей.

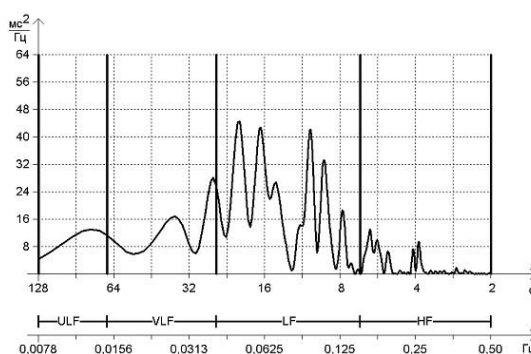


Рис.1. Спектрограмма частот ЭКГ у испытуемого N. Реакция на запах цветков липы

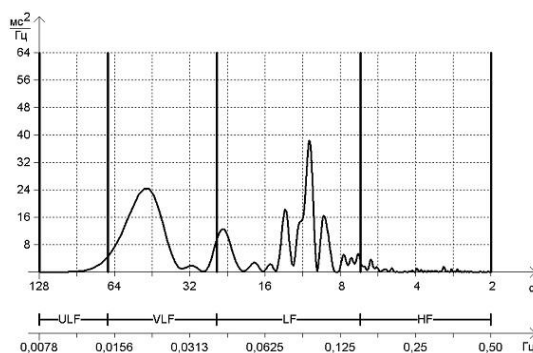


Рис. 2. Спектрограмма частот ЭКГ у испытуемого N. Реакция на запах краски

Удалось выявить достоверные различия у лиц с преобладанием влияний симпатического или парасимпатического отделов АНС при предъявлении запаха цветков липы, или пряностей. Можно сделать вывод о том, что реакции, связанные с восприятием цветочных ароматов или пряностей, и воздействия, вызывающие отторжение, могут быть отражением активации разных рецепторов и проводящих путей в периферическом и проводниковом отделе обонятельного анализатора. Ожидаемо, результаты указывают на то, что пряные (пищевые) запахи преимущественно активируют показатели, связанные с активностью парасимпатического отдела АНС, а раздражающие запахи – активируют показатели ее симпатического звена, что не противоречит выводам литературы [1,5].

Выяснилось, что характер реакции отделов АНС на неприятные или приятные ароматы может резко отличаться, что позволяет применять метод компьютерного анализа ВСР для определения предпочтений человека в области запахов.

Библиографические ссылки

1. *Бабияк, В. И.* Исследование обоняния. / *В. И. Бабияк, В. Н. Тулкин* // Российская оториноларингология. 2008. №4.
2. *Бабунц, И. В.* Азбука анализа вариабельности сердечного ритма / *И. В. Бабунц, Э. М. Мириджанян, Ю. А. Машаех* – Ставрополь: Принт-м, 2002.
3. *Баевский, Р. М.* Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / *Р. М. Баевский* и соавт. // Вестник аритмологии. 2001. №24. С.65-87.
4. *Бокерия, Л. А.* Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование / *Л. А. Бокерия, О. Л. Бокерия, И. В. Волковская* // Анналы аритмологии. – 2006. – Т.6, №4 – С. 21-32.
5. *Albrecht, J.* Das olfaktorische System des Menschen: Anatomie und Physiologie / *J. Albrecht, M. Wiesmann* // Nervenarzt. 2006. Vol. 77, № 8. P. 931-939.

ПОЛУЧЕНИЕ РЕКОМБИНАНТНОГО ЭНДОЛИЗИНА PLYG В БАКТЕРИЯХ *ESCHERICHIA COLI* И ВЫЯВЛЕНИЕ ЕГО АНТИБАЦИЛЛЯРНОЙ АКТИВНОСТИ

К. Г. Тухто

mr.tukhto@yandex.ru;

Научный руководитель – Н. В. Сауткина, старший преподаватель

Энзибиотики – многообещающая группа противомикробных препаратов, основу которых составляют эндолизины, ферменты, кодируемые бактериофагами. Белок PlyG, эндолизин γ -фага бактерий *Bacillus anthracis*, специфически инфицирует бактерии группы *Bacillus cereus* и лизирует их клеточную стенку. Цель данной работы – получение на основе бактерий штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3) продуцента рекомбинантного белка PlyG, а также выявление активности растворимой формы белка PlyG в составе лизата продуцента в отношении вегетативных клеток бактерий *B. cereus*.

В результате работы получен штамм *E. coli* Gold-pPlyG, в клетках которого накапливается белок PlyG массой около 27 кДа. Для этого в клетках штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3) в составе вектора pET-24b(+) клонировали оптимизированный для экспрессии ген *plyG*, кодирующий эндолизин PlyG. Установлено, что целевой белок в клетках штамма, обозначенного как *E. coli* Gold-pPlyG, накапливается преимущественно в нерастворимой форме, но литическая активность его растворимой формы в отношении вегетативных клеток бактерий *B. cereus* не выявлена.

Ключевые слова: PlyG; эндолизин; γ -фаг; энзибиотики; сибирская язва; рекомбинантные белки.

Bacillus anthracis является возбудителем потенциально смертельного и очень заразного зоонозного заболевания – сибирской язвы. Прежде всего это болезнь домашнего скота, заражение которого происходит при попадании спор в организм животного [1]. Существенную обеспокоенность мирового научного и медицинского сообщества вызывает появление у *B. anthracis* резистентности к применяемым в настоящее время антибиотикам, а также длительность лечения заболевания (до 60–100 дней) [5]. Сокращающееся количество доступных в клинике антибиотиков вызывает острую потребность в поиске новых классов веществ, способных разрушать бактериальные клетки, какими могут выступить энзибиотики – противомикробные препараты, основу которых составляют эндолизины, ферменты бактериофагов, разрушающие клеточную стенку бактерий. Энзибиотики отличаются быстрым и уникальным механизмом действия, высокой специфичностью к определенному патогену и низкой вероятностью развития бактериальной резистентности [2, 4].

Белок PlyG – лизин γ -фага, который специфически инфицирует бактерии *B. anthracis* и лизирует их клеточную стенку. PlyG является N-ацетилмурамоил-L-аланинамидазой, состоящей из N-концевого каталитического домена и C-концевого домена, связывающегося с бактериальной клеткой. PlyG проявляет высокую субстратную специфичность к штаммам *B. anthracis* и бактериям группы *B. cereus* [3, 6].

Вирусный ген, кодирующий эндолизин PlyG – *plyG* (номер последовательности в базе данных GenBank – ABC40469.1.), был оптимизирован для экспрессии в клетках бактерий *E. coli* и заказан в виде готового двухцепочечного фрагмента («Invitrogen»). Далее проводили амплификацию гена *plyG* с использованием праймеров PlyG-R и PlyG-F. Очищенный продукт ПЦР клонировали в составе вектора pET-24b(+) по сайтам рестрикции NdeI и EcoRI и трансформировали получившейся рекомбинантной плазмидой pPlyG клетки штамма *E. coli* XL1-Blue. Наличие целевого гена в составе плазмид трансформантов подтверждали рестрикционным анализом и ПЦР-анализом.

Следующий этап работы заключался в трансформации рекомбинантной плазмидой pPlyG клеток штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3) и последующей индукции экспрессии гена *plyG* ИПТГ (изопропил- β -D-тиогалактопиранозид) в конечной концентрации 0,5 ммоль/л при 37 °C в течение 4 ч. Согласно электрофоретическому анализу окрашенных полиакриламидных гелей в клетках штамма, обозначенного как *E. coli* Gold-pPlyG, накапливается белковый продукт массой около 27 кДа, соответствующий белку PlyG (дорожка 2 на рис. 1).

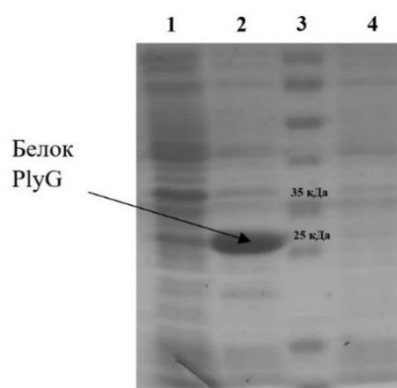


Рис. 1. Электрофоретический анализ белков клеточных лизатов рекомбинантного штамма *E. coli* Gold-pPlyG через 4 ч после индукции:

1 – суммарные клеточные белки штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3), несущего нативную плазмиду pET24b(+) (отрицательный контроль); 2 – суммарные клеточные белки штамма *E. coli* Gold-pPlyG с добавлением ИПТГ; 3 – маркер PageRuler™ Pres-tained Protein Ladder («Thermo Fisher Scientific Inc.»); 4 – суммарные клеточные белки штамма *E. coli* Gold-pPlyG без добавления ИПТГ (отрицательный контроль).

Для определения преимущественной внутриклеточной конформации белка PlyG проводили индукцию экспрессии гена *plyG* в клетках штамма *E. coli* Gold-pPlyG при 20 °С (в течение суток) и 37 °С (в течение 4 ч). По результатам ДСН-ПААГ электрофореза выявили, что белок PlyG накапливается как в осадке, так и в надосадке клеточного лизата продуцента, однако в обоих случаях преобладает нерастворимая форма целевого белка в связи с наличием двух дисульфидных связей в его молекуле (дорожки 2 и 7 на рис. 2).

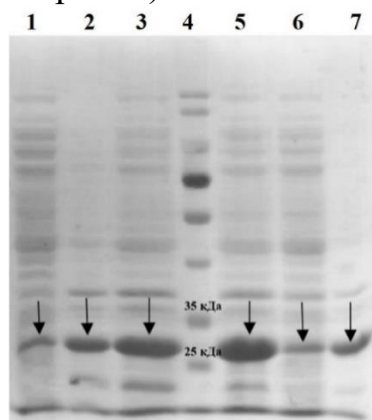


Рис. 2. Электрофоретический анализ белков клеточных лизатов рекомбинантного штамма *E. coli* Gold-pPlyG после индукции при 20 °С и 37 °С: 1 – белки надосадка (индукция при 20 °С); 2 – белки осадка (индукция при 20 °С); 3 – суммарные клеточные белки *E. coli* (индукция при 20 °С); 4 – маркер PageRuler™ Prestained Protein Ladder («Thermo Fisher Scientific Inc.»); 5 – суммарные клеточные белки *E. coli* (индукция при 37 °С); 6 – белки надосадка (индукция при 37 °С); 7 – белки осадка (индукция при 37 °С), Стрелками указаны экспрессирующиеся белки.

Для выявления антибактериальной активности белка PlyG снова индуцировали экспрессию гена *plyG* ИПТГ (0,5 ммоль/л) при 20 °С (в течение суток) и 37 °С (в течение 4 ч). После чего клетки лизировали с помощью реактива B-PER® Bacterial Protein Extraction Reagent («Thermo Fisher Scientific Inc.») с добавлением ДНКазы (10 мг/мл) и ингибитора протеаз PMSF (0,1 моль/л). После центрифугирования надосадок лизата использовали для проверки активности эндолизина PlyG. Анализ активности проводили турбидиметрическим методом и путем инкубирования надосадка лизата с клетками *B. cereus* с последующим высевом на чашки Петри с LB-агаром. Для каждого метода использовали суспензию вегетативных клеток бактерий *B. cereus* в трисовом буфере (Трис-НСl 50 ммоль/л, рН=7,5) с оптической плотностью 0,8–1,0 (ОП₆₀₀).

Турбидиметрический анализ проводили в 96-луночной планшете на спектрофотометре SpectraMax («Molecular Devices») при 37 °С в течение 1 ч. В двукратной повторности в первом ряду лунок смешивали в соотношении 1:1 суспензию клеток *B. cereus* и надосадок лизата

продуцентов эндолизина PlyG, полученный в результате индукции при 37 °С и 20 °С, а также в качестве контроля в двукратной повторности смешивали в соотношении 1:1 суспензию клеток *B. cereus* и трисовый буфер. Далее проводили разведение полученной смеси с шагом 2 в оставшихся 11 рядах лунок. По результатам анализа ни в одной из опытных лунок не выявлено падение оптической плотности суспензии клеток *B. cereus* (ОП₆₀₀).

Для проверки активности лизата инкубированием с клетками *B. cereus* и последующим высевом на чашки Петри использовали разведение исходной суспензии бактерий *B. cereus* в 10000 раз, а также исходный лизат продуцента и его разведения в трисовом буфере в 10 и 100 раз. Суспензию клеток *B. cereus* и надсадок лизата смешивали в соотношении 1:1, как и контроль (суспензия клеток *B. cereus* и трисовый буфер). Инкубацию проводили в эппендорфах при 37 °С в течение 1 ч на водяной бане. В результате посева на LB-агар не выявили статистически достоверного уменьшения титра клеток по сравнению с контролем.

Таким образом, в клетках штамма *E. coli* BL21-Gold(DE3) в составе вектора pET-24b(+) клонирована оптимизированная для экспрессии в бактериях *E. coli* вирусная последовательность, кодирующая эндолизин PlyG. Установлено, что белок массой около 27 кДа в клетках продуцента, обозначенного как *E. coli* Gold-pPlyG, накапливается преимущественно в нерастворимой форме. При этом литическая активность растворимой формы эндолизина PlyG в составе клеточного лизата штамма продуцента в отношении вегетативных клеток *B. cereus* не выявлена.

Библиографические ссылки

1. Лобзин, Ю.В. Сибирская язва / Ю.В. Лобзин, В.М. Волжанин, С.М. Захаренко // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2002. № 2. С. 104–127.
2. *Bacillus anthracis* infections – new possibilities of treatment / D. Źakowska [et al.] // Annals of Agricultural and Environmental Medicine. 2015. Vol. 22, no 2. P. 202–207.
3. Characterization of the catalytic activity of the γ -phage lysin, PlyG, specific for *Bacillus anthracis* / H.S. Kikkawa [et al.] // FEMS Microbiology Letters. 2008. Vol. 286, no 2. P. 236–240.
4. Ehling-Schulz, M. The *Bacillus cereus* Group: *Bacillus* Species with Pathogenic Potential / M. Ehling-Schulz, D. Lereclus, T.M. Koehler // Microbiology Spectrum. 2019. Vol. 7, no 3. P. 1–60.
5. Possible Use of Bacteriophages Active against *Bacillus anthracis* and Other *B. cereus* Group Members in the Face of a Bioterrorism Threat / E. Jończyk-Matysiak [et al.] // BioMed Research International. 2014. Vol. 2014 P. 1–14.
6. Schuch, R. A bacteriolytic agent that detects and kills *Bacillus anthracis* / R. Schuch, D. Nelson, V.A. Fischetti // Nature. 2002. Vol. 418, no 6900. P. 884–889.

НОВЫЕ МЕТОДЫ БИОДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР

Ю. Н. Хотянович

yulexotuan@gmail.com;

Научный руководитель – Б. В. Адамович, кандидат биологических наук

Мы оценили адаптационные способности моллюсков по изменению частоты сердечных сокращений в ходе реакции на воздействие осмотического стресса. Выявлена разница в адаптационных способностях и фильтрационной активности моллюсков *Unio pictorum* в экосистемах с разным трофическим уровнем – оз. Нарочь и Баторино. Показано, что данные показатели выше в популяции моллюсков олиготрофного оз. Нарочь.

Ключевые слова: биомаркирование; кардиоактивность; фильтрационная активность.

Здоровая экосистема – экосистема, в которой характерные для нее виды существуют без функциональных нарушений, вызванных внешними факторами [1]. Для оценки качества среды используются широко биологические и химические методы. Биологические методы имеют преимущество над химическими, так как дают комплексную оценку состоянию экосистемы в целом, а не только по отдельным качественным и количественным показателям [2]. Конкретно Биомаркирование позволяет отследить негативные изменения в экосистеме еще до того, как они примут необратимый/трудноустраняемый характер. В качестве модельных объектов в оценке окружающей среды широко используются двустворчатые моллюски, так как они в первую очередь ощущают на себе длительные неблагоприятные воздействия, которые на ранних этапах не вызывают явных экологических нарушений в системе [3].

Измерение сердечной активности моллюсков, а также время восстановления их сердечного ритма после стрессовых нагрузок показывает степень их фильтрационной активности и адаптационной способности, что и является биомаркером – показателем благополучия в экосистеме. Мы оценили адаптационные способности моллюсков *Unionidae* с помощью наблюдения за динамикой изменения частоты сердечных сокращений (ЧСС) в ходе реакции на кратковременное воздействие осмотического стресса (повышение солености воды до критического уровня).

Моллюски *Unio pictorum* были выловлены на литорали озер Баторино и Нарочь. В качестве тест-воздействия было использовано повышение солености озерной воды до 10 г/л на 60–70 минут. В качестве величин,

отражающих разные стороны реакции кардиосистемы моллюска на различные воздействия были выбраны: T1 – время задержки от момента первоначального погружения моллюсков в воду до момента времени, когда ЧСС от уровня стабильно низких значений (5–10 уд/мин) повышается сразу на 10-20 уд/мин; M1 – усредненное за 5 минут значение ЧСС вокруг максимального значения, достигаемого в течение от 3–4 до 10–215 минут после быстрого увеличения ЧСС; M1(60м) – то же, но через 60 минут после M1; T2 – аналогично T1, но после смены солоноватой воды на исходную; M2 – аналогично M1, но для интервалов времени после смены воды; M2(60мин) – аналогично M1(60мин), но для интервалов времени после смены воды.

Сравнение проводили для средних значений групп моллюсков, отловленных из озер. Численные значения представлены в таблице. При этом значения величин T1 и T2 представлены в минутах, а значения ЧСС (M1, M1(60мин), M2 и M2(60мин)) – в единицах уд/мин. Следует подчеркнуть, что особенностью этих озер является отсутствие источников техногенного загрязнения, но различный трофический статус: оз. Нарочь – олиго-мезотрофное, оз. Баторино – эвтрофное.

Показатели функционального состояния моллюсков вида *Unio pictorum* из озер Нарочь и Баторино

	T1	M1	M1(60мин)	T2	M2	M2(60мин)
Среднее (E1) для оз. Нарочь (n=15)	8,4	25,5	27	99	27	24
СКО E1	4,2	1	1,4	16	0,9	1,3
Среднее (E2) для оз. Баторино (n=9)	26	20,8	38,2	135	18,6	16,6
СКО E2	13	1,2	2,4	22	1,7	2,4

Наблюдается тенденция к увеличению T1 в случае увеличения трофности. Для величины E2 у моллюсков среднее значение для эвтрофного озера Баторино выше, чем в случае озера Нарочь.

При аналогичном сравнении значений M1 и M2 наблюдаются противоположные изменения. Моллюски *Unio pictorum* при потенциально меньшем количестве пищи в озере Нарочь, чем в озере Баторино, осуществляют фильтрацию более интенсивно.

Таким образом, предложенный методический подход к экспресс-оценке текущего функционального состояния на примере моллюсков из озер Нарочь и Баторино показал, что для обитающих рядом популяций пресноводных двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* наблюдаются не только различия между озерами, но и проявления различных

поведенческих стратегий их адаптации к воде с меньшим количеством сестона.

Библиографические ссылки

1. *Deplege M. H., Galloway T. S.* Healthy animals, healthy ecosystems // *Frontiers in ecology and the environment*. 2005. Vol. 3, Issue 5. P. 251–258.
2. *Жукова А. А., Маслицкий С. Э.* Биоиндикация качества природной среды. Минск: БГУ, 2014.
3. *Depledge M. H., Fossi M. C.* The role of biomarkers in environmental assessment (2). *Invertebrates // Ecotoxicology*. 1994. Vol. 3. P. 161–172.

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ВЕГЕТАЦИОННЫЕ
ИНДЕКСЫ**

М. В. Воробей

lexafalei@mail.ru;

Научный руководитель — А. С. Семенюк, кандидат географических наук, доцент

Рассмотрено влияние показателей плодородия сельскохозяйственных земель на максимальные показатели вегетационного индекса NDVI. Проведенный анализ позволил установить, что неблагоприятная кислотность, дефицит калия или фосфора, низкое содержание гумуса в почве может сильно повлиять на растительность и показатель вегетационного индекса.

Ключевые слова: плодородие почв; вегетационный индекс; NDVI; кукуруза; pH.

ВВЕДЕНИЕ

Плодородие почв – это важный признак природы, который имеет огромное значение для развития человеческой цивилизации [1]. Оценка эффективности землепользования применительно к сельскому хозяйству позволяет своевременно выявлять проблемные области использования имеющихся ресурсов и предложить пути оптимизации способов ведения биосферно-совместимого природопользования. Использование вегетационных индексов в целях оценки эффективности землепользования дает возможность получать результаты, характеризующиеся объективностью, пространственной привязкой и периодичностью [2].

Цель данного исследования – оценить влияние показателей плодородия сельскохозяйственных земель на показатель NDVI.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При анализе видов культур, возделываемых на изучаемой территории, была выбрана кукуруза (*Zea mays* L., 1753) сортов «Полтава» и «Полесский 212 СВ», которую возделывают на силос. Для оценки показателей плодородия сельскохозяйственных земель использовали вегетационный индекс NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) [3].

Рассматривались максимальные значения NDVI, наблюдаемые на исследуемом участке за весь период вегетации (пик расчетного вегетационного индекса приходился на 4 августа).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования, было выявлено, что с повышением кислотности растет и показатель NDVI. Происходит данный рост до значений ≤ 7 pH, поскольку после, почва становится щелочной, что сказывается на показателе NDVI, так как отхождение от нейтрально среды (pH = 7) уменьшает усвояемость растениями важных элементов, таких как азот, фосфор и калий. Максимальное значение NDVI составило 0,91 для кислотности

6,51–7, а минимальное значение – 0,8 для кислотности $\leq 4,5$.

С увеличением содержания калия в почве возрастает и показатель NDVI, но только до определенного значения – после 301–400 мг/кг начинается спад показателя. Минимальное значение NDVI характерно для 81–140 мг/кг и равно 0,846, однако ≤ 80 мг/кг должна иметь меньший показатель, тем не менее у нее показатель выше – 0,85.

В результате исследований была выделена зона дефицита фосфора в почве (≤ 60 мг/кг почвы) и зона оптимума (61–100, 101–150, 151–250, 251–400 мг/кг почвы, для которых характерны близкие значения NDVI).

Увеличение гумуса в почве повышает и значение NDVI, соответственно, уменьшение содержание гумуса, понижает данный показатель.

В результате проведенного исследования было выявлено, что показатели плодородия сельскохозяйственных земель, такие как содержание гумуса, фосфора и калия, а также кислотность почвы, оказывают существенное влияние на значение вегетационного индекса NDVI. Было показано, что высокие значения показателей плодородия сопровождаются более высокими значениями NDVI, что свидетельствует о лучшем состоянии растительности на таких участках и, следовательно, более высоком урожае. Также было выявлено, что наиболее сильное влияние на вегетационные индексы оказывает кислотность почвы.

В качестве проверки выводов, была проведена корреляция, которая и выявила самые сильные связи между кислотностью почв и показателем NDVI, а остальные показатели имеют слабые корреляционные связи. Однако, стоит отметить, что при увеличении размера выборки можно заметить более сильные связи показателя NDVI от содержания калия, фосфора и гумуса в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено, что даже один лимитирующий фактор, такой как неблагоприятная кислотность, дефицит калия или фосфора, низкое

содержание гумуса в почве может сильно повлиять на растительность, а соответственно и на показатель NDVI.

Библиографические ссылки

1. *Зеленский Н.А.* [и др]. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // *Земледелие*. 2018. № 5. С. 4–7.
2. *Морозов В.А.* Оценка эффективности землепользования на основе анализа вегетационных индексов (на примере модельных полигонов Брестского полесья) // *Природные ресурсы*. 2018. № 2. С. 5–13.
3. *Якушев В.П.* [и др]. Корреляционные зависимости между вегетационными характеристиками, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // *Сельскохозяйственная библиотека* 2022. Т. 57, № 1. С. 98–112.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ БУТИЛИРОВАННОЙ ВОДЫ Г. МИНСКА

Д. И. Гуд

daragud40@gmail.com;

Научный руководитель — Д. Л. Иванов, доктор географических наук, профессор

Рассмотрен ассортимент питьевой бутилированной воды на прилавках г. Минска, проведен анализ качества бутилированной питьевой воды в магазинах Минска на соответствие нормам СанПин РБ.

Ключевые слова: питьевая бутилированная вода; качество воды; жёсткость; общая минерализация; СанПин; Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

Вода – это неотъемлемая часть нашей жизни. Запасы пресной воды составляют лишь 3 % от всей воды на нашей планете, и только 1% из этих 3% пригоден для безопасного употребления. В настоящее время проблема нехватки пресной воды стоит особенно остро, не менее важной является и проблема качества питьевой воды. Эти проблема уже давно вышли на глобальный уровень, ведь вода необходима для жизни, а от ее качество зависит здоровье населения.

Поэтому знание показателей, характеризующих качество воды, сегодня весьма актуально и поможет осознать и сделать осознанный выбор источника потребления воды и тем самым сохранить здоровье и продлить физическую активность на долгие годы

Объектом исследования являлась питьевая бутилированная вода, используемая населением г. Минска.

Предмет исследования – качество питьевой бутилированной воды в г. Минске и ее соответствие санитарным стандартам РБ, ВОЗ и ЕС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение бутированной питьевой воды проводилось на основании ее ассортимента на прилавках города, независимо от ее места добычи, разлива и расфасовки. Анализ безвредности, бутилированной питьевой не газированной воды проводился по характеристикам ее химического состава и вкусовым качествам. При сравнении показателей химических веществ в воде брались их максимально возможные значения, указанные на маркировке. В качестве эталонных критериев качества воды принимались нормативы физиологической полноценности макро- и микроэлементного состава бутилированной воды [1, 2] (табл. 1).

Таблица 1

Нормативы физиологической полноценности макро- и микроэлементного состава бутилированной воды*

Показатели	Единицы измерения	Нормативы физиологической полноценности питьевой воды, в пределах	Нормативы качества расфасованных вод	
			Первая категория	Высшая категория
1	2	3	4	5
Общая минерализация (сухой остаток), в пределах:	мг/л	100 – 1000	50 – 1000	200 – 500
Жесткость	мг-экв/л	1,5 – 7	не более 7	1,5 – 7
Щелочность	- " -	0,5 – 6,5	не более 6,5	0,5 – 6,5
Кальций (Ca)	мг/л	25 – 130<*>	не более 130	25 – 80
Магний (Mg)	мг/л	5 – 65 <*>	не более 65	5 – 50
Калий (K)	мг/л	–	не более 20	2 – 20
Бикарбонаты (НСО ₃ ⁻)	мг/л	30 – 400	не более 400	30 – 400
Фторид - ион (F)	мг/л	0,5 – 1,5	не более 1,5	0,6 – 1,2
Йодид - ион (J)	мкг/л	10 – 125	не более 125	40 – 60

Примечания:

* Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Раздел 9. Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости (КОД ТН ВЭД ТС: 2201 10)

<*> Расчетно: исходя из максимально допустимой жесткости 7 мг-экв/л и учета минимально необходимого уровня содержания магния при расчете максимально допустимого содержания кальция и наоборот.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выборка представлена 22 видами питьевой бутилированной негазированной воды (табл. 2) первой и высшей категории. Анализ имеющихся материалов показывает, что вся вода, за редким исключением,

обладает не плохими вкусовыми качествами. Вместе с тем, практически весь ассортимент воды содержит много солей и обладает повышенной общей жесткостью, которая значительно превосходит (в несколько раз) критерии ВОЗ (ЕС) и приближается к максимально допустимым СанПин РБ показателям. При этом 6 видов воды имеют максимальное значение жесткости равное 7, а вода Бахмаро превышает допустимое значение, ее жесткость 7,5 (рис. 1а).

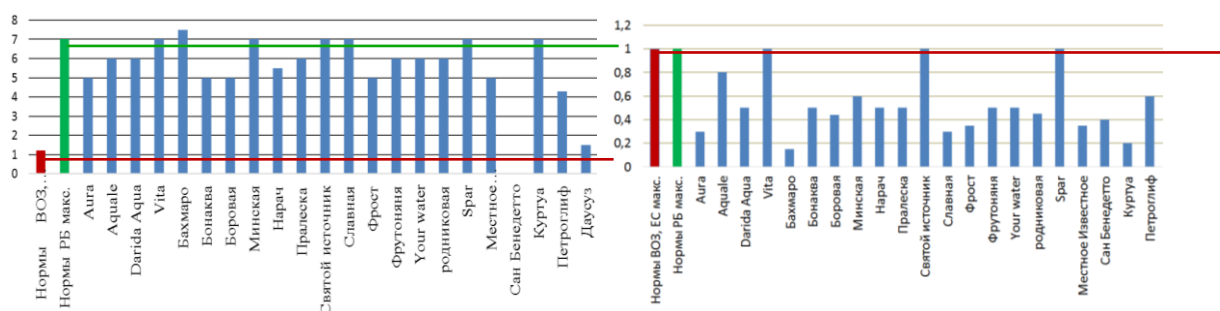


Рис. 1а. Показатели жесткости бутилированной воды мг-экв./л

— линия норматива ВОЗ, ЕС (макс)
— линия норматива РБ (макс)

Рис. 1б. Показатели общей минерализации бутилированной воды мг/л.

— линия норматива ВОЗ, ЕС (макс)
— линия норматива РБ (макс)

Таблица 2

Химический состав питьевой бутилированной воды в магазинах Минска

Название	Источник	Общая минерализация г/л	Общая жёсткость мг-экв/л	Са мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вкус
Нормы ВОЗ, ЕС (макс)	Все	1	1,2	100	50	30	
Нормы СанПин РБ	Все	0,1-1	не бол. 7	не бол. 130	не бол. 65	не бол. 400	
Aura	подземный	0,3	5	50	12	100	хороший
Aquale	подземный	0,8	6	100	50	400	плохой
Darida Aqua	подземный	0,5	6	80	30	400	приятный
Vita	подземный	1	7	130	65	400	средний

Название	Источник	Общая минерализация г/л	Общая жёсткость мг-экв/л	Са мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вкус
Бахмаро	надземный	0,15	7,5	20	6	70	плохой
Бонаква	подземный	0,5	5	45	40	100	приятный
Боровая	подземный	0,44	5	30	20	213	приятный
Минская	подземный	0,6	7	80	30	280	средний
Нарач	подземный	0,5	5,5	70	30	400	хороший
Пралеска	подземный	0,5	6	80	30	400	средний
Святой источник	подземный	1	7	130	50	350	плохой
Славная	подземный	0,3	7	60	25	300	средний
Фрост	подземный	0,35	5	80	20	250	хороший
Фрутоняня	подземный	0,5	6	60	35	300	средний
Your water	подземный	0,5	6	80	30	400	хороший
Родниковая	надземный	0,45	6	130	25	400	средний
Srag	подземный	1	7	130	65	250	средний
Местное Известное *	надземный	0,35	5,0	80	20	250	отличный
Сан Бенедетто	не указано	0,4	Нет данных	51,1	29,9	283	плохой
Куртуа	надземный	0,2	7	80	50	400	средний
Петроглиф	подземный	0,6	4,3	100	40	450	плохой
Даусуз	подземный	0,35	1,5	50	20	200	хороший

* из сети Green

По показателям общей минерализации ситуация значительно лучше: только три вида воды достигают максимально допустимых значений (см. рис. 1б). Вместе с тем, специалисты в области фильтрации, делят жесткость питьевой воды на: 0–1,5 мг-экв/л – мягкая вода; 1,5–2 мг-экв/л – оптимальная питьевая вода; 2–5 мг-экв/л – жесткая вода; 5–7 мг-экв/л – сверхжесткая вода; более 7 мг-экв./л – не питьевая вода. Исходя из этих критериев, практически вся питьевая бутилированная вода на прилавках города является сверхжесткой, за исключением марок Петроглиф (жесткая) и Даусуз (оптимальная).

Жёсткая вода не полезна для постоянного потребления, особенно людям, имеющим склонность к почечно-каменной болезни. Врачи-урологи рекомендуют пить воду с общей минерализацией не выше 1 г/л

солей и общей жёсткостью не выше 5, а при диагностированной почечно-каменной болезни, – не выше 2 мг-экв/л.

Большое значение имеет, какие именно соли преобладают в воде, и в каком соотношении. Очень серьезные последствия для людей имеет недостаток магния, который необходим для нормальной работы сердца. Его нехватка ведет к аритмии и даже к инфаркту.

Таблица 3

Баллы для градации показателей при оценке качества воды

Балл	Общ. Минерализация г/л 0,1-1	Общ. Жёсткость мг-экв/л	Са мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вкус	Отношение Ca/Mg	Одновременно высокие концентрации Mg и CaCO ₃ мг/л
0	<0,1 > 1	<1,5 >7	<25 >130	<5 >65	>400 <30	едкий	> чем в 2 раза	Минус 1 балл: >65 Mg >400 CaCO ₃
1	0,8–1,0	5,5–7	100– 130	60– 65	300– 400	плохой	1,5–2 раза при запредельных знач. одного или обоих элементов	Mg 40– 50 CaCO ₃ 300–400
2	0,6–0,8	4–5,5	80– 100	50– 60	200– 300	средний	1,6–2 раза	Mg 50– 60 CaCO ₃ 300–400
3	0,1–0,2 0,4–0,6	2,5–4	50– 80	25– 50	100– 200	хороший	1,1–1,3 раза	Mg 60– 65 CaCO ₃ 300–400
4	0,2–0,4	1,5– 2,5	25– 50	5–25	30– 100	приятный	1,3–1,6 раза	

Совместные фундаментальные научные исследования Университетской клиники Саутгемптона NHS Траст, Саутгемптон, Великобритания, Муниципальной клиники Парижа, Госпиталь Тенон, Университета Сорбонны и Университетской клиники Саутгемптон, Великобритания [3] на основе анализа данных наблюдений за 3 последние

десятилетия позволили заключить, что необходимо обращать особое внимание на соотношение количества *кальция и магния* в питьевой воде: самая полезная для почек вода характеризуется *не более чем двукратным превышением содержания кальция над магнием*. Также для пациентов с мочекаменной болезнью рекомендуется высокое одновременное содержание магния и бикарбоната в воде (лучше выводятся песок и камни).

С учетом требований (Нормы СанПин РБ) к питьевой воде, нормам ВОЗ, ЕС и данных научных результатов [3] нами проведено исследование бутилированной воды по первым 7-ми показателям (табл. 3). На основании полученных результатов все 22 вида воды ранжированы по «местам полезности» (максимальная оценка - первое место, минимальная оценка – последнее место). Ранжирование проводилась на основе 5-бальной оценки (от 0 до 4 баллов) по характеристикам, отражающим качество воды и ее соответствие нормативным показателям по первым 7 критериям (табл. 3). При этом 0 баллов выставлялся в случае не соответствия того или иного показателя стандарту СанПин РБ.

Результаты исследования отражены в таблице 4. От 20 и более баллов из 28 возможных набрали: Бонаква, Боровая, Даусуз. При этом максимальное количество баллов имеет вода Бонаква и Боровая – 23 балла. Это, вероятно, наиболее благоприятная для организма в целом вода из перечня тех, которые продаются в Минске. Более половины от максимального количества баллов набрали вода Нарач Сан Бенедетто Куртуа Славная, Фрутоняня, Фрост, Местное Известное, Ауга. Остальные виды воды имеют менее 50 % от максимально возможного количества баллов.

На последнем месте с самым низким баллом оказалась вода Св. источник – 7 баллов, на балл выше имеет Vita – 8 баллов, Spar, Петроглиф – по 10 баллов, Aquale, Родниковая – по 11 баллов. Полезные свойства этих видов воды, очевидно, оставляют желать лучшего.

Таблица 4

Количество баллов по результатам исследований данных с маркировок питьевой негазированной воды в магазинах г. Минска (2022 – 2023 гг)

Название	Общ. минерализация г/л	Общ. жёсткость мг-экв/л	Ca мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вку с	Ca/M g	Одновр. высокие конц. Mg и CaCO ₃	Σ 2-7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Aura	4	1	3	4	3	3	0	0	18
Aquale	1	1	1	2	3	1	2	2	11
Darida Aqua	3	1	2	3	1	2	0	0	12

Окончание таблицы 4

Название	Общ. минерализация г/л	Общ. жёсткость мг-экв/л	Ca мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вку с	Ca/M g	Одновр. высокие конц. Mg и CaCO ₃	Σ 2-7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Vita	1	1	1	1	1	1	2	3	8
Бахмаро	3	0	0	4	4	1	0	0	12
Бонаква	3	2	4	3	3	4	4	0	23
Боровая	3	2	4	4	2	4	4	0	23
Минская	2	1	2	3	2	2	0	0	12
Нарач	3	1	3	3	1	3	0	0	14
Пралеска	3	1	2	3	1	2	0	0	12
Св. источник	1	1	1	2	1	1	0	2	7
Славная	4	1	3	3	1	2	0	0	14
Фрост	4	2	2	4	2	3	0	0	17
Фрутоняня	3	1	3	3	1	2	2	0	15
Your water	3	1	2	3	1	3	0	0	13
Родниковая	3	1	1	3	1	2	0	0	11
Spar	1	1	1	1	2	2	2	0	10
Местное Известное*	4	2	2	4	2	4	0	0	18
Сан Бенедетто	3	-	3	3	2	1	2	0	14
Куртуа	4	1	2	2	1	2	2	2	14
Петроглиф	3	2	1	3	0	1	0	1	10
Даусуз	4	4	3	4	2	3	0	0	20

* от сети Green

Отдельное внимание, нами уделено соотношению количества кальция и магния в питьевой воде и высокому одновременному содержанию магния и бикарбоната в воде, что рекомендуется для пациентов, страдающих с мочекаменной болезнью. По сумме двух последних критериев (см. табл. 4, столбик 8–9), максимум баллов имеет вода Vita – 5 баллов. На 1 балл ей уступают Aquala, Бонаква, Боровая, Куртуа – по 4 балла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ показал, что продаваемая в г. Минске бутилированная питьевая вода, соответствует критериям

СанПин Республики Беларусь, однако существенно различается по качеству исходя из химического содержания компонентов и их соотношения.

Библиографические ссылки

1. О введении в действие санитарных правил и норм [Электронный ресурс] : Постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь. 19 октября 1999 г. № 46.: в ред. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 6 января 2010 г. № 3. – Эталон. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2018.
2. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Раздел 9. Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости (КОД ТН ВЭД ТС: 2201 10).
3. *Sulaiman S.K., Enakshee J., Traxer O., Somani B.K.* Which Type of Water Is Recommended for Patients with Stone Disease (Hard or Soft Water, Tap or Bottled Water): Evidence from a Systematic Review over the Last 3 Decades // *Current Urology Reports*. 2020. Vol. 21, iss. 1.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА В БЕЛАРУСИ

С. Д. Дробенок

sdrobenok@gmail.com;

Научный руководитель – А. Н. Витченко, доктор географических наук, профессор

В работе проведен региональный анализ обращения с отходами производства Республики Беларусь, рассмотрены основные способы утилизации отходов и предложены рекомендации по решению региональных проблем в сфере обращения с отходами производства. Актуальность данной темы обусловлена тем, что производственные отходы представляют собой высокоинтенсивный источник загрязнения окружающей среды, оказывающий негативное воздействие на нее.

Ключевые слова: отходы производства, строительные отходы, обращение с отходами, региональный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

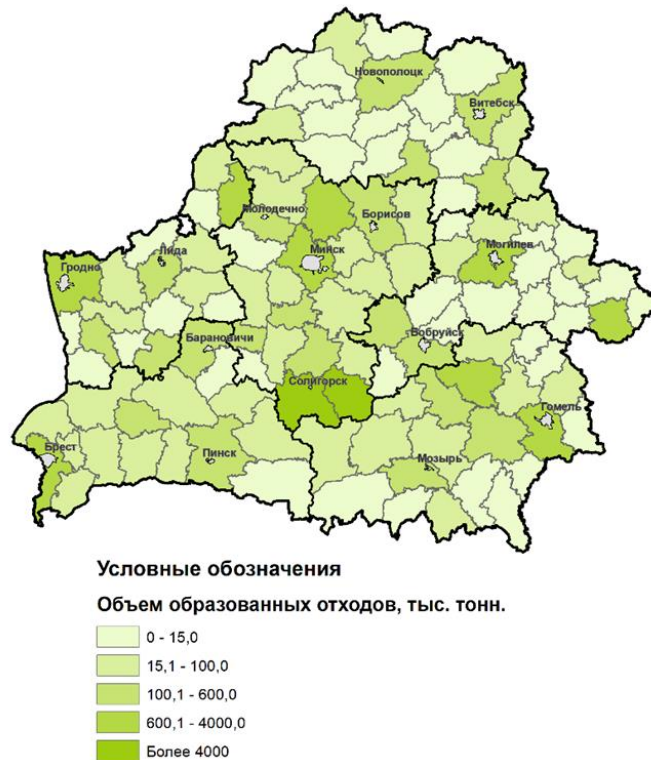
На территории Республики Беларусь по состоянию на 2021 год образовалось 62 249,99 тыс. тонн производственных отходов. Из графика видно, что начиная с 2005 года происходит резкий рост объема выбросов. За этот период объем увеличился на 8993 тыс. тонн, что свидетельствует о более небрежном отношении к процессу образования отходов. Если сравнивать динамику за период с 2015 по 2021 год, можно заметить, что объем образования отходов в 2021 году увеличился на 27 468 тыс. тонн по сравнению с 2015 годом [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшими показателями по образованию отходов производства за 2021 год обладают районы: Солигорский (31 775,19 тыс. тонн), Любанский (10 784,52 тыс. тонн), Костюковичский (2 002,70 тыс. тонн), Брестский (1428,39 тыс. тонн), Гомельский (1651,85 тыс. тонн), Минский (1 615,04 тыс. тонн), Жлобинский (1 112,65 тыс. тонн) (рис. 1).

В указанных районах расположены крупнейшие предприятия химического комплекса, такие как ОАО «Беларуськалий», Гомельский химический завод, предприятия предельной металлургии – ОАО «БМЗ», ОАО «Белорусский цементный завод» и другие.

Ежегодное увеличение количества образующихся отходов связано с ростом производственных мощностей предприятий республики, а также снижением заинтересованности производителей в решении проблемы обращения с отходами ввиду нестабильной экономической ситуации.



*Рис. 1. Объем образованных отходов производства за 2021 год, тыс. тонн.
(сост. авт. по [3])*

Существует несколько способов ликвидации или использования твердых отходов. Самый радикальный из них — не допускать образования отходов, выходящих за рамки применяемых технологий (природосберегающий тип производства). Однако такой способ в массовых масштабах будет применяться только в перспективе. К тому же он не решает проблему отходов конечной продукции.

Самым простым способом утилизации отходов, используемым повсеместно, является их захоронение или складирование на соответствующих полигонах (свалках). Этот способ является наиболее дешевым, однако утилизируемые таким образом отходы десятки лет не подвергаются разложению, и, следовательно, проблема их уничтожения просто переносится во времени. Кроме того, при таком подходе безвозвратно теряются ресурсы, содержащиеся в отходах (бумага, картон, стекломой, вторичные текстильные материалы и др.).

Существуют различные методы утилизации или использования твердых отходов. Наиболее радикальным из них является предотвращение образования отходов, которые выходят за рамки используемых технологий (принципы природосберегающего производства). Однако в массовом масштабе такой подход будет применяться только в долгосрочной перспективе. Кроме того, он не

решает проблему отходов, уже сформировавшихся в результате производства (конечной продукции).

Наиболее распространенный и простой метод утилизации отходов - их захоронение или складирование на специальных полигонах (свалках). Данный метод является наиболее экономически доступным, но он лишь откладывает проблему уничтожения отходов во времени, поскольку отходы, захороненные таким образом, не разлагаются в течение десятилетий. Более того, ресурсы, содержащиеся в отходах (бумага, картон, стеклянные отходы, переработанные волокна), при таком методе безвозвратно теряются.

Мусоросжигательные заводы широко используются в промышленно развитых странах. Положительной стороной этого процесса является уничтожение отходов и производство энергии путем сжигания, а отрицательной – уничтожение отходов (ресурсов), загрязнение окружающей среды продуктами сгорания и образование отходов в виде токсичной золы (около 25 % из отходов). Учитывая национальные интересы Беларуси использование тепла из отходов представляется выгодным. Теплотворная способность горючих компонентов отходов может быть использована для выработки тепла и электроэнергии при одновременном обезвреживании отходов.

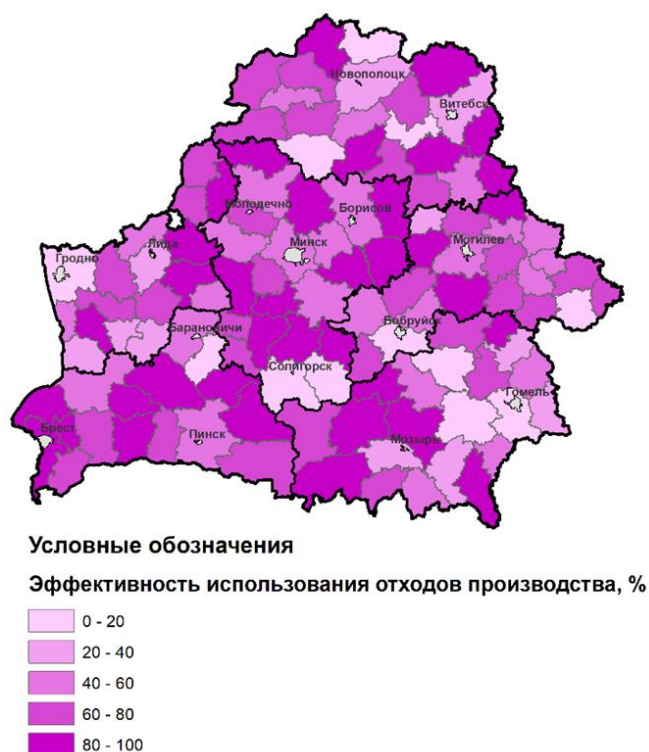


Рис. 2. Эффективность использования отходов производства в разрезе административных районов Республики Беларусь в 2021 году, % (сост. авт. по [3])

Однако данный метод требует специальной организации процессов сжигания и очистки дымовых газов, поскольку в атмосферу выбрасывается огромное количество вредных веществ (сажа, угарный газ, соединения хлора, оксидов серы и азота, и супертоксикантных веществ, таких как диоксины и полиароматические углеводороды).

Предпочтительным способом утилизации отходов является метод восстановления ресурсов, при котором различные виды отходов собираются, сортируются и подготавливаются для последующей переработки. Во всем мире такие ресурсы как бумага, стекло и алюминий перерабатываются на самом высоком уровне.

Эффективность использования отходов производства по отношению к объему образовавшихся отходов наименьшая в Солигорском (0,013 %), Любанском (0,43 %), Гомельском (2,08 %), Россонском (3,46 %), Ляховичском (4,15 %), Бобруйском (5,95 %) районах. Почти полностью используются отходы в Логойском (99,88 %), Березинском (97,97 %), Узденском (97,71 %), Ганцевичском (97,67 %), Брагинском (97,27 %) и Октябрьском (95,35 %) районах (рис. 2).

Причины невозможности использования или образования неиспользуемой части отходов включают в себя:

- отсутствие экономически и экологически эффективных методов утилизации;
- недостаточное наличие перерабатывающих мощностей для обработки необходимого количества отходов;
- непостоянный состав, загрязнение отходов, а также низкое содержание полезных компонентов;
- отсутствие специализированного оборудования для сбора отходов, с целью предотвращения их перемещение и загрязнение, а также для прессования, упаковки и других видов обработки отходов;
- высокие затраты на транспортировку отходов.

Для усовершенствования законодательной базы необходимо устранить имеющиеся правовые нарушения и недостатки, включая:

- введение ограничений на объекты, подлежащие лицензированию в области обращения с опасными отходами;
- согласование национальных нормативных определений с международными правовыми актами;
- разграничение функций, связанных с охраной здоровья и охраной окружающей среды;
- развитие правовых норм, направленных на экономическое стимулирование организации безопасного обращения с отходами;

- установление нижнего предела для установления лимитов по обращению с отходами;
- введение временного критерия для разграничения операций по «хранению» и «захоронению» отходов и других аспектов [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение отходов в определенных промышленных секторах не только решит проблему их складирования, но также может значительно улучшить экономическое положение страны. Несмотря на то, что многие технологии по переработке отходов в настоящее время являются нерентабельными или неэффективными, все предприятия, производящие отходы, должны следовать основным принципам законодательства и программ, касающихся обращения с производственными отходами. Необходимо стремиться к сокращению объемов отходов, а также осуществлять рациональное использование образующихся отходов, не нанося вред для населения и окружающей среды. Беларусь оказывает поддержку в строительстве необходимых объектов для различных этапов обработки отходов и в модернизации технологических процессов на предприятиях.

Главной целью в области обращения с производственными отходами является уменьшение негативного воздействия этих отходов на окружающую среду и предотвращение неблагоприятного воздействия на здоровье человека.

Библиографические ссылки

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>. Дата доступа: 17.03.2023.
2. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 08.02.1996 №19 «О введении экологического паспорта объекта по размещению отходов».
3. Фондовые материалы отдела обращения с отходами РУП «Бел НИЦ Экология».

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

У. В. Кот

ulyankot@gmail.com;

Научный руководитель – А. Б. Боброва, кандидат экономических наук, доцент

В работе представлен краткая демографического потенциала в Брестском регионе Республики Беларусь. Рассмотрены основные демографические показатели: показатели естественного движения (рождаемость и смертность). Особое внимание уделяется характеристике возрастной структуры населения. В результате были построены половозрастные пирамиды городского и сельского населения Брестской области, а также выделен ряд демографических проблем, характерных для Брестского региона.

Ключевые слова: Брестская область, рождаемость, смертность, естественное движение населения, возрастная структура, демографические проблемы.

ВВЕДЕНИЕ

Существует множество факторов, которые обуславливают региональную дифференцию демографического развития в Республике Беларусь. Исходя из доступности статистических демографических данных в настоящее время для работы был выбран временной период с 2000 г. по последний отчетный в зависимости от показателя.

Численность населения в Брестском регионе в 2022 г. составила 1 324 027 человек или 14,3 % от численности населения Республики Беларусь. Для региона характерны наиболее высокие показатели рождаемости (10,9 ‰ в 2019 г.) и наиболее низкие показатели смертности (13,1 ‰ в 2019 г.) в сравнении с другими областями страны. Брестская область также выделяется наибольшей долей населения моложе трудоспособного возраста (19,8 % в 2022 г.) [2]. Также стоит отметить влияние некоторых локальных факторов на демографическое развитие, такие как конфессиональный состав населения, доля городского и сельского населения, а также последствия аварии на ЧАЭС.

В период с 2000 по 2022 гг. численность населения региона сократилась на 10,7 %, а что касается половой структуры населения, то для нее характерно преобладание численности женщин над численностью мужчин. Темпы сокращения численности мужчин за данный период будут выше, чем у женщин (12,1 % и 9,1 % соответственно). В 2022 году уровень урбанизации в регионе был

равен 71,4 %, что является самым низким показателем среди регионов Беларуси [2].

Что касается естественного движения населения, то показатели рождаемости в разрезе городского и сельского населения характеризуются сближением показателей, так как на современном этапе развития репродуктивные установки семей как в городской, так и в сельской местности достаточно схожи. За рассматриваемый период произошли значительные изменения в показателях возрастных коэффициентов рождаемости. Если в начале наибольшие его значения приходились на возрастной интервал 20–24 года, то в настоящее время это 25–29 лет, что говорит об увеличении возраста матери при рождении первого ребенка вследствие отложенных рождений [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучая показатели смертности, наблюдается существенный разрыв между типами местности, который обусловлен интенсивным старением сельского населения и увеличением доли лиц пожилого возраста в возрастной структуре населения. Что касается возрастных коэффициентов смертности, то во всех возрастных пятилетних группах как в городской, так и в сельской местности они выше среди мужского населения. Но наибольшие различия в возрастных коэффициентах смертности можно отметить среди мужчин в различных типах местности. Например, в интервале 15–19 лет возрастные коэффициенты смертности у мужчин в городской местности – 0,7 ‰, а в сельской – 1,3 ‰. Особенно заметны эти различия в трудоспособном возрасте, где данные показатели среди мужского населения в сельской местности в среднем в два раза превышают показатели в городской [3].

Среди причин смерти для обоих полов в трудоспособном возрасте можно выделить болезни системы кровообращения, а также внешние причины. На третьем месте следуют новообразования. Как было описано выше, серьезной демографической проблемой является сверхсмертность мужчин в трудоспособном возрасте и среди них можно выделить две основные причины смерти – болезни системы кровообращения и внешние причины. В то же время среди женщин, помимо двух перечисленных причин, выделяются новообразования, которые и являются наиболее распространенной причиной смерти в трудоспособном возрасте. Основными причинами высокой смертности населения в трудоспособном возрасте являются: низкий уровень самосохранительной активности, нездоровый образ жизни, а также неудовлетворительные условия труда.

Обобщающим показателем, который характеризует смертность, является общая продолжительность жизни, которая в 2019 г. составила 74,6 лет. Продолжительность жизни женщин – 79,6 лет наиболее приближена к средневропейскому уровню. В свою очередь у мужчин – 69,4 лет [3].

Для Брестского региона всегда была характерна наиболее высокая доля населения младше трудоспособного возраста, однако, все населенные пункты находятся на стадии демографической старости [1]. Уровень старения населения по шкале Э. Росета в обоих типах местности оценивается как «очень высокий», обусловленный суженным типом воспроизводства населения и значительной долей лиц пожилого возраста. Из половозрастной пирамиды городского населения видно, что во всех интервалах до 30–34 лет численность мужского населения больше, чем женского. (рис. 1).

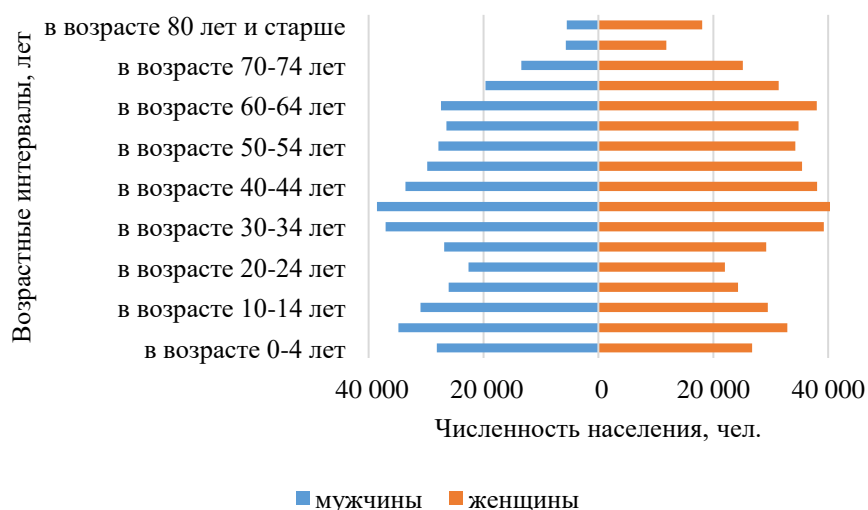


Рис. 1. Половозрастная пирамида городского населения Брестской области за 2021 г., чел.

Однако в интервале 35-39 лет это соотношение выравнивается, после чего начинается обратный процесс, в котором уже преобладает численность женщин, особенно, в старших возрастах, что связано с мужской сверхсмертностью в трудоспособном возрасте. Половозрастная пирамида сельского населения отображена на рис. 2.

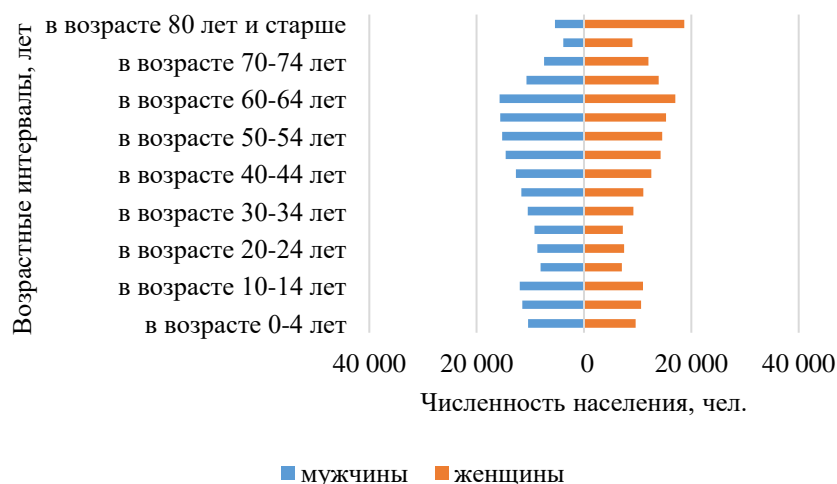


Рис. 2. Половозрастная пирамида сельского населения Брестской области за 2021 г., чел.

Пирамида сельского населения имеет кардинальные отличия. Из рисунка видно, что в сельской местности ярко выраженный регрессивный тип возрастной структуры населения. Наименьшая численность населения в сельской местности свойственна для возрастных интервалов 15–19, 20–24 и 25–29 лет, что связано с оттоком молодого трудоспособного населения из сельской местности и отъездом молодежи для получения образования. Преобладание численности женского населения в сельской местности в регионе начинается с интервала 60–64 лет [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ демографических процессов в Брестском регионе позволил выявить следующие проблемы социально-экономического и демографического развития: сокращение численности населения, отрицательная динамика естественного движения населения, высокие показатели смертности и значительная роль внешних причин в структуре, различия в продолжительности жизни мужчин и женщин, а также увеличение удельного веса лиц старше трудоспособного, вследствие чего происходит увеличение демографической нагрузки на трудоспособное население.

Библиографические ссылки

1. Антипова Е.А. Демографическое старение в Республике Беларусь: пространственно-временная динамика и региональные тренды в контексте устойчивого развития // Белорусский экономический журнал. 2017. №4. С. 129–146.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/> / Дата доступа: 17.03.2023.

3. Демографический ежегодник Республики Беларусь: стат. сборник / редкол.: *И.В. Медведева* (пред.) [и др.]; Нац. стат. ком-т РБ. Минск, 2019. 429 с.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА БЕЛИЧЬИХ (SCIURIDAE) НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ GBIF

М. И. Малюга

malyugamaxim@gmail.com;

Научный руководитель — О. В. Синчук, старший преподаватель

Приводятся сведения о видовом составе и географическом распространении представителей семейства беличьих (Sciuridae) на территории Беларуси по данным онлайн базы данных GBIF. На территории Беларуси в современной фауне отмечено три вида из семейства беличьих (Sciuridae): *Sciurus vulgaris*, *Spermophilus suslicus* и *Pteromys volans*. Белка обыкновенная – фоновый вид. Суслик крапчатый зарегистрирован на территории Брестской и Минской областей. Ситуация по распространению летяги обыкновенной не ясна. *S. suslicus* и *P. volans* нуждаются в охране.

Ключевые слова: географическое распространение; биологическое разнообразие; Mammalia; Sciuridae; Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение и сохранение биологического разнообразия является одной из приоритетных задач, стоящих перед человечеством [1]. На территории Беларуси наиболее полно изучен видовой состав позвоночных животных. Фауна позвоночных любого региона динамична и постоянно меняет свою структуру. Так, отмечается наряду с исчезновением одних видов наблюдается увеличение численности и расселение других [2]. Данные процессы происходят под влиянием изменения климата, смены растительных сообществ, природных катаклизмов [3, 4].

Одним из самых богатых видами отрядов млекопитающих являются Грызуны (Rodentia), которые представлены 26 видами. Среди них особое место занимает семейство Беличьи (Sciuridae), представленный 3 видами: белкой обыкновенной (*Sciurus vulgaris* (Linnaeus, 1758)), имеющей хозяйственное значение и двумя охраняемыми видами: сусликом крапчатым (*Spermophilus suslicus* (Guldenstaedt, 1770)) и летягой обыкновенной (*Pteromys volans* (Linnaeus, 1758)) [2, 5].

Характер географического распространения является важной характеристикой, поскольку позволяют разработать эффективный менеджмент по сохранению беличьих Беларуси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для написания данной статьи послужил набор данных из базы данных GBIF [6]. Материалом для базы данных послужили

коллекционные сборы, данные из научных статей и базы данных iNaturalist (фотографии животных и следы их жизнедеятельности).

Проанализировано 237 находок (на 01.10.2023) по всей Беларуси. Удалось рассмотреть данные в период с 1867(?) по 2023 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Анализ набора данных GBIF по семейству Sciuridae из современной территории Беларуси позволил установить наличие в современной фауне 3 видов: *Sciurus vulgaris* (Linnaeus, 1758), *Spermophilus suslicus* (Guldenstaedt, 1770) и *Pteromys volans* (Linnaeus, 1758).

Белка обыкновенная указано для всех административных областей Беларуси. Всего 216 наблюдение в период с 1918 (коллекция Зенкенбергского музея природы) по 2023 годы. Исходя из имеющегося набора данных *S. vulgaris* можно отнести к фоновым видам.

Всего для суслика крапчатого в GBIF указано 15 записей. В Музее сравнительной зоологии (Гарвардский университет) храниться экземпляр суслика крапчатого (указан под названием *Citellus suslica*), собранный в 1924 году Е.В. Яцентковским (White Russia, Gov. Minsk) с территории Минской губернии. Еще два экземпляра (указаны под названием *Citellus suslicus* Güld. = *Spermophilus suslicus* subsp. *suslicus*) за 1924 год (gov. Minsk, White Rus.) хранятся в Национальном музее естественной истории (Смитсоновский институт), собраны также Е.В. Яцентковским. Для одного из экземпляров указывается местонахождение д. Трояново (Trojanovo; совр. Копыльский район, Минской области). Суслик крапчатый также зарегистрирован в 2017–2023 гг. в Брестской области: окр. д. Богуши (Барановичский район); Минской области: окр. д. Городея, окр. д. Затурья, окр. д. Сейловичи, окр. д. Цегельна, окр. аг. Солтановщина (Несвижский район), окр. д. Дрозды, окр. д. Шахновщина (Столбцовский район), окр. д. Рымаши, окр. д. Колосовщина (Копыльский район).

Для летяги обыкновенной указывается только одна запись из Беларуси (Европейский архив нуклеотидов: сиквенс участка гена Cytochrome b – MW815116.1; материал собрал Д.А. Китель). Информация о местонахождении образца отсутствует.

Согласно набору данных из GBIF на территории Беларуси (Гродненская область) в 1867 году были собраны Луи Агассисом и Вильгельмом Филиппом Шимпером альпийские сурки (*Marmota marmota* (Linnaeus, 1758)). Все пять экземпляров сурков хранятся, по записям в документах, в Музее сравнительной зоологии Гарвардского университета. Однако, отсутствие в документах [7] конкретных сведений о локации (Европа) по сбору фактического материала, а также указанная

погрешность более чем в 3 000 км (3 168 403 м) позволяет утверждать, что отлов данного вида на территории Беларуси скорее всего представлен ошибочно и требует дополнительного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на территории Беларуси в современной фауне отмечено три вида из семейства беличьих (Sciuridae): *Sciurus vulgaris*, *Spermophilus suslicus* и *Pteromys volans*. Белка обыкновенная зарегистрирована во всех административных областях страны и может быть отнесена к фоновым видам грызунов. Суслик крапчатый указан для территории Брестской (Барановичский район) и Минской (Копыльский, Несвижский, Столбцовский районы) областей. Летяга обыкновенная констатирована для территории Беларуси, но конкретных сведений по локации не представлено. Указание *Marmota marmota* в XIX в. в современных границах Гродненской области скорее всего ошибочно и требует дополнительного анализа.

Библиографические ссылки

1. *Большаков В.Н., Луцкекина А.А., Неронов В.М.* Сохранение биологического разнообразия: от экосистемы к экосистемному подходу // *Экология*. 2009. № 2. С. 83–90.
2. *Гричик В.В., Бурко Л.Д.* Животный мир Беларуси. Позвоночные: учебное пособие. Минск: Изд. центр БГУ, 2013. 399 с.
3. *Сушкин П.П.* Эволюция наземных позвоночных и роль геологических изменений климата // *Природа*. 1922. Т. 3, № 1. С. 3–32.
4. *Никифоров М.Е.* Формирование и структура орнитофауны Беларуси. – Минск.: Белорус. наука, 2008. 297 с.
5. *Сахвон В.В., Бородин О.И., Минченко Н.В.* Животный мир Беларуси: пособие. – Минск: БГУ, 2019. 179 с.
6. Sciuridae / GBIF [Electronic resource]. – 2023. – Mode of access: https://www.gbif.org/ru/occurrence/search?country=BY&taxon_key=9456. – Date of access: 01.10.2023.
7. *Marmota marmota* (Linnaeus, 1758) // Museum of Comparative Zoology (Harvard University HARVARD.EDU) [Electronic resource]. 2023. Mode of access: <https://mczbase.mcz.harvard.edu/guid/MCZ:Mamm:1738>. Date of access: 20.09.2023.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

П. Микляева

ptiklyaeva@gmail.com;

Научный руководитель — А. Е. Яротов, кандидат географических наук, доцент

Тестовый контроль является наиболее часто используемым средством диагностики знаний по множеству причин. В данной статье описан метод тестирования: его преимущества, принципы, правила разработки и область применения на примере физической географии в высших учебных заведениях. Цель исследования – выявить наиболее эффективный способ использования тестов при изучении физической географии на основе анализа учебной литературы и программы дисциплины.

Ключевые слова: физическая география; учебная дисциплина; результаты учебной деятельности; проверка компетенций; тестирование; разработка тестовых заданий.

ВВЕДЕНИЕ

Обучаясь на географической специальности, студенты сталкиваются с обширным перечнем дисциплин естественнонаучного, технического, экономического и гуманитарного направления, что обусловлено многочисленными требованиями к специальным компетенциям и широким диапазоном задач, которые ставят перед собой географические науки. Значимой ролью в образовательном процессе обладают фундаментальные дисциплины, к числу которых относится физическая география, изучающая структуру, динамику и функционирование географической оболочки и ее составных компонентов с целью научного обоснования пространственного размещения человеческого общества, рационального природопользования и прогноза географических процессов и явлений [1]. Изучение соответствующей дисциплины происходит с целью интеграции полученных знаний в рамках отраслевых дисциплин с последующим формированием способности анализировать и прогнозировать природные процессы и явления, применяя знания в рамках сферы своей специальности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Учреждения высшего образования ориентируются на результаты учебной деятельности, в связи с чем актуален вопрос о применяемых видах и методах проверки компетенций. Как правило, рекомендуемые

средства диагностики знаний студентов предлагаются учебной программой, среди них могут фигурировать следующие: коллоквиум, опрос, проект, тест, практическая работа и другие [2]. Выбор метода проверки компетенций может осуществляться преподавателем, опираясь на объем и содержание материала, а также на знания и умения, которые нужно диагностировать и оценить их соответствие установленным программой требованиям.

На сегодняшний день метод тестирования признают наиболее оперативным и объективным способом зафиксировать результаты учебной деятельности, оценить их. Учебные тесты стали элементом педагогических измерений в середине XX в., а появление информационных технологий и средств программирования поспособствовало их совершенствованию и популяризации [3]. Таким образом, главными преимуществами тестового метода является объективность, массовость и скорость проверки.

Несмотря на всестороннее вовлечение тестового контроля в образовательный процесс, существуют единые принципы тестирования: объективность, связь с целями обучения, систематичность, справедливость и гласность, научность и эффективность, этичность и гуманность [4]. Так, использование тестов заметно снижает фактор предвзятости и субъективизма, гарантирует добровольность и низкий стрессовый уровень, обеспечивает научную основу тестовых заданий и достаточную квалификацию их составителей. В зависимости от дисциплины могут применяться тестовые задания различных форм и видов, а физическая география выступает как пример области знания, в которой можно одновременно задействовать большинство из них: альтернативные, с выбором ответа, установление последовательности и соответствия, а также дополнение и свободное изложение [5]. Тестирование предоставляет возможность узнать свои ошибки и оперативно корректировать знания, развитие навыков анализа информации, логического вывода и критического мышления [6]. Видя свои результаты и сравнивая их с предыдущими, студенты мотивируются достигать более высоких учебных результатов.

Разработка тестовых заданий по физической географии и любой другой дисциплине требует от преподавателя соединения в целостную систему методической основы, знаний из предметной области и педагогических приемов. Главными показателями, требования к которым необходимо учитывать при разработке тестов являются:

- Валидность (способность теста отвечать цели проверки);

- Дискриминативность (выполняет функцию дифференциации студентов относительно максимального и минимального показателей уровня учебных результатов);
- Надежность (отражает, в какой степени измеряются знания студентов и насколько устойчив тест к внешним воздействиям) [7].

Разрабатывая тесты по физической географии важно следить за актуальностью научной информации и корректировать задания согласно ее обновлениям. Наиболее эффективно использовать тесты в рамках тематической и итоговой проверок, для чего необходимо учитывать содержание дисциплины и требования к результатам учебной деятельности. Тестовые задания должны отличаться краткостью, логической формой высказывания, едиными правилами оценки ответов, общей и доступной инструкцией для всех тестируемых [5]. Сложность составленных заданий измеряется эмпирическим путем, поэтому проведение пробного тестирования обязательно для включения теста в учебную программу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования можно констатировать ведущую роль тестового метода за счет возможности его применения в большинстве предметных областей, однако ограниченность диагностируемых компетенций без практической составляющей не позволяет использовать этот метод обособленно от других. Тесты, составленные согласно всем перечисленным правилам и принципам, облегчают образовательный процесс, делая его благоприятным не только для студентов, но и для преподавателей. Исходя из большого объема изучаемой информации для дисциплины «Физическая география» важно учитывать не только содержание тестов, но и их оптимальное количество, объединяя их в структурные блоки, руководствуясь пространственным принципом, либо тематикой составляемых тестов. Таким образом, метод тестового контроля особо эффективен для проверки компетенций при работе с крупными массивами информации, что и свойственно физической географии.

Библиографические ссылки

1. *Яротов А.Е., Кольмакова Е.Г.* Физическая география мира: Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности: 1-31 02 03 Космоаэрокарто-графия. Минск, 2019.
2. *Некрасова С.В.* Формы и методы контроля и оценки знаний, обучающихся на занятиях по спецдисциплинам // Молодой ученый. 2017. № 39. С. 96–98.

3. *Беспалько В.П.* Быть или не быть тестам в образовании? // Народное образование. 2011. № 8. С. 62.
4. *Слободенюк Д.П.* Применение тестовых заданий для контроля знаний обучающихся в системе профессионального образования // Молодой ученый. 2020. № 1. С. 144–147.
5. *Голикова Н.В., Полковникова Е.Ю.* Тесты и тестовые задания в высшей школе // Вопросы педагогики. 2019. № 4. С. 77–81.
6. *Белоус В.В., Домников А.С., Карпенко А.П.* Тестовый метод контроля качества обучения и критерии качества образовательных тестов // Наука и образование. 2011. № 4.
7. Расчет и анализ характеристик теста для повышения уровня педагогического измерения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tester.quali.me/help.php#recomend>. – Дата доступа: 15.05.2023.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИЗУЧЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. МИНСКА)

Д. С. Михасько

dzmitry.mikhasko@mail.ru;

Научный руководитель — Д. М. Курлович, кандидат географических наук, доцент

Создание картографического материала при помощи искусственного интеллекта является одним из приоритетных направлений в ГИС. Основной проблемой использования нейронных сетей является технический порог входа, часто не позволяющий стандартному потребителю ГИС программ создать материал. Распространенной проблемой является недостаток данных и неправильное их применение, так как для каждого инструмента необходимо подбирать собственный набор исходных данных в зависимости от задачи.

Ключевые слова: ГИС; нейронная сеть; ArcGIS; алгоритм машинного обучения; Random forest.

ВВЕДЕНИЕ

Цель данной работы – нахождения путей применения ГИС и искусственного интеллекта для целей изучения городской среды путём сравнения различных вариантов использования искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект – это термин, используемый для описания компьютерных технологий в моделировании интеллектуального поведения и критического мышления, сравнимого с человеческим. В работе будет рассмотрено применение алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей в ГИС.

Итогом применения данных технологий будет создание нескольких картографических изображений, а именно дешифрирование классов земной поверхности при помощи алгоритма «случайный лес» и семантическая сегментация растительности при помощи свёрточной нейронной сети.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использования алгоритма машинного обучения random forest. Random forest – алгоритм машинного обучения, смысл которого заключается в использовании для целей классификации, регрессии и кластеризации ансамбль решающих деревьев. Алгоритм состоит из большого количества деревьев решений, которые являются базовыми единицами алгоритма. Дерево решений можно рассматривать как серию

вопросов формата да/нет о входных данных. Вопросы в итоге приводят к предсказанию определённого класса исходных данных (или величины в случае регрессии). Базовая идея дерева решений заключается в формировании запросов, с которыми алгоритм обращается к данным. Применительно к нашему проекту разделения городского пространства на типы землепользования используется классификационный аспект алгоритма random forest. Классификация объектов в данном алгоритме проводится путём голосования: каждое дерево комитета относит классифицируемый объект к одному из классов, а побеждает класс, за который проголосовало наибольшее число деревьев. При анализе растрового изображения города Минска такое голосование проводилось для каждого пикселя на основе созданной заранее обучающей выборки.

В стандартных наборах инструментов геоинформационного программного обеспечения отсутствует алгоритм random forest для растровых изображений с целью классификации пикселей на классы. В качестве решения был выбран плагин Semi-Automatic Classification Plugin в среде QGIS. В качестве данных, на основе которых производится классификация – спутниковые снимки Sentinel-2. Классификация по классам земных покрытий происходила согласно классификации CORINE Land Cover.

Создание свёрточной нейронной сети. В целях изучения городской среды при помощи искусственного интеллекта возможно создание такой модели, которая будет при помощи семантической сегментации выделять, например, определённую зону городского землепользования при помощи данных дистанционного зондирования. В данном проекте модель будет находить площади, занятые растительным покровом на территории Минска.

С точки зрения технической реализации проекта, для создания модели распознавания изображений используются свёрточные нейронные сети (CNN). CNN – искусственная нейронная сеть, обладающая рядом уникальных свойств, за счёт специфически построенной архитектуры. Слои в данной нейросети организованы в трёх измерениях. Нейроны в одном слое соединяются не со всеми нейронами в следующем слое, а только с небольшой областью нейронов этого слоя. Окончательный результат сокращается до одного вектора оценки вероятности, упорядоченного по глубине в одном из измерений. При помощи свёрточной нейронной сети реализуется алгоритм семантической сегментации изображения. Семантическая сегментация создаст маску, которая будет разделять изображения на несколько классов. В данном случае будет использоваться архитектура CNN U-Net. Она состоит из стягивающего пути для захвата контекста и симметричного

расширяющего пути, который позволяет осуществить точную локализацию. Создание свёрточной нейронной сети проходило при помощи языка программирования Python.

Матрица ошибок. Последним этапом работы является создание матриц ошибок для итоговых картографических отображений. Согласно матрице ошибок, при помощи алгоритма random forest общий процент правильно дешифрованных объектов – 74 %. Основной проблемой использования данного алгоритма машинного обучения является не сам процесс классификации, а подготовка изначальных данных. Пространственное разрешение исходных снимков не позволяет различить классы, сходные друг с другом по пикселям. Сходства пикселей заключается, например, в схожей цветовой гамме у крыш домов и дорожного покрытия.

Процент правильно дешифрованных объектов по матрице ошибок для свёрточной нейронной сети составляет 84 %. Важно отметить, что созданная модель инициализирует как зелёные зоны, всю территорию, имеющую характерные особенности растительности. То есть сравнение данного картографического отображение с генеральным планом г. Минска нерелевантно, так как, например, зоны растительности, находящиеся во внутривдворовой территории, будут инициализироваться моделью как зелёные зоны, в то время как по генплану это будет селитебная зона. Поэтому в качестве источника для построения матрицы ошибок была выбрана карта World Imagery от компании Maxar, которая свободно распространяется в подборке географических ресурсов Living Atlas, встроенной в программу ArcGIS Pro.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, инструментарий для создания картографического материала при помощи искусственного интеллекта является достаточным для реализации как относительно простых, так и сложных проектов. Основной проблемой данного вида технологий является технический порог входа, часто не позволяющий стандартному потребителю ГИС программ создать материал с их использованием. Другой распространённо проблемой является недостаток данных и неправильное их применение, так как для каждого инструмента необходимо подбирать собственный набор исходных данных в зависимости от задачи и инструмента реализации.

Библиографические ссылки

1. *Luger G.F., Stubblefield W.A.* Artificial intelligence: Structures and Strategies for complex problem solving. – 2nd ed. – Redwood: The Benjamin Publishing Company Inc., 1993. – 738p.
2. CORINE Land Cover [Electronic resource] / European Environment Agency. –Mode of access: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>. – Date of access: 03.04.2023.
3. *Popovich V.V.* Intelligent GIS Conceptualization // Information Fusion and Geographic Information Systems, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2014. P. 17–44. DOI: 10.1007/978-3-642-31833-7_2.
4. *Курлович Д.М.* ГИС-картографирование земель: учеб.-метод. пособие – Минск: БГУ, 2011. – 244 с.

ЖАРА КАК ОПАСНОЕ ПРИРОДНОЕ ЯВЛЕНИЕ: ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ТРАКТОВКЕ ПОНЯТИЯ

А. П. Недобега

nedobegaana@gmail.com;

*Научный руководитель — Д. Л. Иванов, доктор географических наук,
профессор*

Рассмотрен ряд подходов определения понятие «жара», используемых в науке, различных сферах хозяйственной деятельности, отраслях экономики, санитарии, которые наиболее полно раскрывают влияния этого явления на быт, самочувствие и хозяйственную деятельность населения в соответствующих сферах.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления; жара, смертность, индекс жары.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка влияния климатических изменений на здоровье населения, хозяйственную сферу и разработка соответствующих защитных мер является одним из основных направлений деятельности не только Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), но и многих других международных объединений. Особую актуальность эта проблема приобретает с момента глобального потепления, началом которого в ряде регионов мира, в том числе и для территории Беларуси, считается 1989 г. [1–3]. Особую остроту, и значимость проблема получила после аномальной жары в Европе в 2003 г, которая стала причиной 70 тыс. дополнительных смертей и жаркого засушливого лета 2010 г на территории Европейской части России, когда на территории, где проживает 101 млн. человек дополнительная смертность в июле–августе на 54 тыс. случаев по отношению к предыдущему году [4].

Однако, несмотря на важность проблемы, на сегодняшний день существует несколько подходов и трактовок понятия «жара», что часто ставит обычного обывателя в тупик и, в ряде случаев, вызывает казусы и недоразумения, поскольку трактовки данного понятия являются неоднозначными и зачастую носят субъективный характер. К самым распространенным трактовкам этого понятия можно отнести следующие.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Наиболее определенной и однозначной трактовкой этого понятия является трактовка жары как опасного метеоявления (ОЯ) и неблагоприятного метеоявления (НЯ), которые используются гидрометеорологической службой. Так как вполне очевидно, что жара в

той или иной степени может негативно сказываться на разных сферах хозяйственной деятельности, отраслях экономики, здоровье населения, аварийности и ДТП [5,6].

Перечень и критерии, характеризующие жару, как и другие НМЯ и ОМЯ, закреплены в нормативно-правовых актах Республики Беларусь (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 июня 2021г. № 329 и Технических кодексах установившейся практики [7].

Руководствуясь нормативными документами, жара, как ОЯ, представляет собой метеоявление, которое по своей интенсивности, масштабу распространения и (или) продолжительности может причинить вред жизни и (или) здоровью, а также сельскохозяйственным животным и растениям, имуществу, объектам экономики и окружающей среде. Жара как НЯ – представляет собой метеоявление которое значительно затрудняет или препятствует деятельности отдельных отраслей экономики и по своим параметрам и характеристикам не достигает критериев опасного метеоявления. Характеристики и критерии жары как ОЯ и НЯ приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики и критерии жары, как НЯ и ОЯ, принятые в Белгидромете

Название ОЯ	Характеристики и критерии НЯ	Характеристики и критерии ОЯ
Жара	Сильная жара. Макс. температура воздуха +30 +34°C	Очень сильная жара. Макс. температура воздуха от +35°C и >

Эти же критерии используются при объявлении «цветового кода» опасности по жаре: оранжевый код опасности объявляется при температуре +30 +34°C; красный - при температуре свыше более +35°C.

Однако такая трактовка жары не является универсальной, поскольку температурные характеристики берутся для территории Беларуси. Вместе с тем для целого ряда регионов эти температурные показатели либо не характерны (арктические, субарктические широты), либо являются вполне обыденными (тропики). Поэтому в данной трактовке (как ОЯ) для ряда регионов понятие «жара» с такими критериями теряет смысл либо таковым не является.

2. Более универсальной является трактовка аномальной жары в научно-климатической интерпретации, которая используется в климатологии при изучении изменения климата того или иного региона за определенный отрезок времени как аномальное отклонение по отношению к его климатической норме.

Согласно европейскому проекту EuroHeat, аномальная жара – это период, в течение которого регистрируются максимальные значения температуры воздуха, по крайней мере, на протяжении 2 дней превышающие 90-й перцентиль месячного распределения [8]. Порогом аномальной температуры считается ее превышение на 5°C по отношению к 90-му перцентиллю [4]. Понятно, что исходя из значения этого показателя температурные показатели жары будут являться индивидуальными причем не только для каждой климатической зоны, но и даже для отдельных городов. В такой трактовке жара может быть характерна и для территорий с отрицательными в течение всего года температурами.

3. Очень близкой к научно-климатической трактовке жары является медицинско-гигиеническая трактовка, которая используется при исследовании влияния жары на организм человека и отражается в существенном увеличении смертности. В этой трактовке за ориентировочный показатель наступления жары принимается значение 98-го перцентилля температур, которая может представлять опасность для здоровья населения и при достижении которой необходимо проведение соответствующих профилактических мероприятий [9].

В ходе проведенных исследований [9] установлено, что пороговые значения жары и дополнительная смертность населения в городах с резко-континентальным климатом проявляется уже при 21–22 °С (табл.2) и увеличиваются для городов, расположенных на юге умеренного и в субтропическом поясе до 28–32°C.

Как видим, этот показатель не является универсальным и однозначным, поскольку абсолютное значение порога жары индивидуально для каждого отдельного города и будет существенно отличаться в зависимости от широтно-климатических особенностей его расположения и континентальности. Кроме того население северных и южных регионов по разному реагируют на проявление жары. Установлено, что южане лучше адаптированы к жаре.

4. Комфортно-физиологическая трактовка понятия жары, основывается на ощущении и физическом восприятии жары организмом человека. Комфортные погодные условия — это самые благоприятные погодные условия для существования человека, при которых его самочувствие наиболее хорошее. Значения комфортной температуры, были получены в результате биометеорологических исследований. Наиболее комфортной для жизнедеятельности человека считается температура в диапазоне +18 – +24 °С. Отмечается, что подобные условия

комфортны не только для людей, они подходят и для многих других живых организмов. Температура воздуха выше этого интервала уже причиняет дискомфорт организму и рассматривается как жара.

Таблица 2

Температурный порог жары в городах с различным климатом (по [9] с изменениями и дополнениями автора)

Температурный порог жары, °С	Город														
	Архангельск	Якутск	Стокгольм	Красноярск	Прага	Москва	Хельсинки	Лондон	Париж	Ростов-на-Дону	Краснодар	Волгоград	Нью-Йорк	Пекин	Гуанчжоу
	21,5	21,7	21,7	21,8	22,8	23,6	23,6	23,9	24,7	27,7	28,2	29,0	29,0	30,5	31,5

Вместе с тем на восприятие человеком жары влияет ряд других климатических показателей (влажность, сила ветра, величина и продолжительность воздействия ультрафиолетового излучения и др.). При этом влажность – один из важнейших параметров воздуха, непосредственно влияющих на здоровье человека. Оптимальный уровень влажности, при которой человек чувствует себя наиболее комфортно на открытом воздухе ~50-60 %.

Зависимость восприятия высокой температуры от степени влажности воздуха метеорологи называют индексом жары или ощущаемой температурой или кажущейся температурой.

Индекс жары в английском языке heat index (HI) или humidity – это индекс, разработанный в США. Индекс жары (ИЖ, ИТ или HI) учитывает совместное действие температуры воздуха и относительной влажности по восприятию температуры телом человека. Это связано с тем, что тело человека обычно охлаждается потоотделением, а высокая влажность снижает скорость выделение пота. При высокой влажности воздуха возникает ощущение духоты, поэтому температура воспринимается как более высокая. Значения индекса жары, также как и значения комфортной температуры, были получены в результате биометеорологических исследований.

Индекс тепла в NWS рассчитывается в градусах Фаренгейта (T °F) по следующей формуле [10] :

$$HI = c_1 + c_2T + c_3R + c_4TR + c_5T^2 + c_6R^2 + c_7T^2R + c_8TR^2 + c_9T^2R^2$$

Где:

HI = Тепловой индекс ($^{\circ} F$)

T = Температура воздуха ($^{\circ} F$)

R = Относительная влажность (от 0 до 100)

$c_1 = -42.379$, $c_2 = 2,049\ 015\ 23$, $c_3 = 10,143\ 331\ 27$, $c_4 = -0,224\ 755\ 41$,
 $c_5 = -6,837\ 83 \times 10^{-3}$, $c_6 = -5,481\ 717 \times 10^{-2}$, $c_7 = 1.228\ 74 \times 10^{-3}$, $c_8 = 8,5282$
 $\times 10^4$, $c_9 = -1,99 \times 10^{-6}$

В СНГ этот индекс заменяется эффективной температурой или эквивалентно-эффективной температурой, т.е. температурой воздуха по ощущениям человеком. ЭТ зависит от температуры и влажности воздуха, ЭЭТ - от температуры, влажности и скорости ветра. Некоторые значения ощущаемой человеком температуры при различной относительной влажности отражены в табл. 3.

Как видим из таблицы 3 при температуре около $27^{\circ} C$ ($80^{\circ} F$) индекс тепла совпадает с фактической температурой, если относительная влажность составляет 45 %, но при температуре около $43^{\circ} C$ ($110^{\circ} F$) любое показание относительной влажности выше 17 % сделает индекс тепла выше, чем $43^{\circ} C$ ($110^{\circ} F$). Поэтому индекс жары рассчитывается только в том случае, если парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе, равно или превышает 16 гПа, фактическая температура не ниже $27^{\circ} C$ ($80^{\circ} F$), температура точки росы выше $12^{\circ} C$ ($54^{\circ} F$), а относительная влажность выше 40 %.

Однако, восприятие комфортности погоды является максимально субъективной оценкой приемлемости условий окружающей среды, которая определяется исключительно человеческими ощущениями поскольку кроме названных выше климатических характеристик она зависит от массы тела и высоте роста, одежды, физической активности, возраста, интенсивности метаболизма, химического состава крови и ряда других физиологических показателей.

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата указаны в ГОСТ 30494-2011, СанПиН 1.2.3685-21 Минимальная допустимая температура при этом составляет $12^{\circ} C$, максимальная – $28^{\circ} C$.

Вместе с тем, восприятие комфортности температуры воздуха влияет не только на самочувствие, но и на производительность, умственные процессы. Исследования о физической работоспособности заводских рабочих показали, что риск аварий возрос более чем на 30%, когда прогрев заводского воздуха значился ниже 12/выше $24^{\circ} C$. Исследования студентов, преподавателей, научных сотрудников,







подтвердили также и зависимость умственной деятельности от температуры среды [11].

Таблица 3

Значения ощущаемой температуры при различной относительной влажности*

Температура, °С	Относительная влажность, %																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
21	18	18	18	18	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22
24	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	26	26	27
27	23	23	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	29	30	30	31	31	32	33
30	26	26	27	27	28	28	29	29	30	31	31	32	32	33	34	35	36	37	39	41	42
32	28	29	29	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38	39	41	43	45	47	50	51	57
35	31	31	32	33	34	35	36	37	38	40	42	43	46	48	50	54	58				
38	33	34	35	36	37	38	40	42	44	46	49	52	56	59	62						
41	35	36	38	39	41	43	45	48	51	54	57	61	65								
43	37	39	41	42	44	47	51	54	58	62	66										
46	39	42	44	46	49	53	57	62	66												
49	42	44	47	51	54	59	64														

*Таблица построена на основе данных с сервера Национальной Службы Погоды (США). (Т °F) переведены в °С применительно к температурам на территории Беларуси

-  - Комфортно и относительно комфортно
-  - Слабый дискомфорт (оптимально при пляжном отдыхе)
-  - Дискомфорт
-  - Сильный дискомфорт
-  - Опасность
-  - Чрезвычайная опасность

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, трактовки понятия жары являются весьма разнообразными. Ни одна из них не является универсальной и однозначной, поскольку привязывается к конкретному региону и практически все они имеют субъективный оттенок. Особенно это

характерно для комфортно-физиологической трактовки этого понятия. Любой из этих трактовок оперируют в научных исследованиях в зависимости от предмета и цели исследования.

Библиографические ссылки

1. Седьмое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Минск, 2018. – 320 с.
2. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг / Под ред. В.Ф. Логинова. – Мн.: «Минсктиппроект», 2004. – 180с.
3. *Иванов Д.Л., Ивашко Е.А.* Экстремально высокие темпы роста температуры воздуха как характерная черта и особенность климата территории Беларуси в условиях глобального потепления // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках. М-лы межд. науч.-практич. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 100-летию со дня рождения проф. О.Ф. Якушко. Минск: БГУ, 2021. С. 329–332.
4. *Ревич Б.А.* Волны жары как фактор риска для здоровья населения // Пульмонология. 2011. № 4. С. 34–37.
5. *Иванов Д.Л., Парахневич Р.В.* Влияние опасных гидрометеорологических явлений на дорожно-транспортную ситуацию на дорогах Минской области // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания. ICER – 2022: сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 50-летию кафедры природообустройства. Брест: Изд-во БрГТУ, 2022. Ч. 1. С. 125–135.
6. *Иванов, Д.Л.; Парахневич, Р.В.* Дорожно-транспортная ситуация на дорогах минской области как отражение климатической составляющей // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Біялогія. Геаграфія. 2022. № 3. С. 23–31.
7. ТКП 17.10–06–2008 (02120) «Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения».
8. *Lindgren E., Ebi K.L., Johannesson M.* Climate change and communicable diseases in the EU Member States. Handbook for national vulnerability impact and adaptation assessments. – Stockholm: European Centre for Diseases Prevention and Control, 2010. – 43 p.
9. *Ревич Б.А.* Волны жары в мегаполисах и пороги их воздействия на смертность населения // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 11. С. 1073–1078.
10. Индекс тепла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Indice_de_chaleur#Notes_et_r%C3%A9f%C3%A9rences – Дата доступа: 26.05.2023.
11. Самая комфортная температура воздуха для человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://travelask.ru/articles/samaya-komfortnaya-temperatura-vozduha-dlya-cheloveka>. – Дата доступа: 26.05.2023.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ В Г. МИНСКЕ

У. А. Рондак

rondakulyana@gmail.com;

Научный руководитель — И. И. Счастливая, кандидат географических наук, доцент

Разработана система вертикального озеленения для административного здания ГУО «Гимназия № 74 г. Минска». Процесс проектирования фитомодуля включал несколько пунктов, отвечающих за каждый элемент системы. Основой вертикальной растительной установки стал металлический каркас, оснащённый резервуарами карманного типа и системой капельного полива. В качестве субстрата подобрана смесь вермикулита и перлита, а растительный ассортимент включает в себя 24 вида, отнесённых к нескольким функциональным категориям.

Ключевые слова: зелёные насаждения; вертикальное озеленение; пространственный анализ; городская инфраструктура; градостроительные приемы.

ВВЕДЕНИЕ

Городская территория представляет собой место концентрации множества факторов, неблагоприятно влияющих на экологическое состояние окружающей среды и здоровье местного населения. Наиболее распространённым методом исправления сложившейся ситуации является создание системы озеленённых территорий, способных выполнять незаменимые для города функции. Однако в условиях современной урбанизации количество озеленённых пространств сокращается, а сильно уплотнённая застройка не позволяет создавать новые зелёные насаждения. В целях решения данной проблемы был разработан один из самых современных способов использования растительности в городской инфраструктуре – создание систем вертикального озеленения.

Вертикальное озеленение – это культивация на вертикальных поверхностях зданий и инженерных сооружений различных растений для улучшения городской среды, выполняемая вплотную к стене, на откосе или специальных держателях [1, с. 315]. Данный способ использования растений в городской архитектуре применялся с древних времён, постепенно становясь активно востребованным градостроительным приёмом. Несмотря на то, что первоначально данные установки несли исключительно декоративный характер, вскоре растительные фитомодули стали использоваться и в целях оптимизации урбанизированной среды. В настоящее время, при распространённости данной технологии во многих странах мира, в Республике Беларусь встречается немного подобных систем озеленения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вследствие новизны подобных растительных установок в нашей стране, необходимо выбрать наиболее актуальный объект озеленения, который послужит начальной точкой для развития рассмотренной тематики и реализацией её на практике. Данная задача была решена путем проведения пространственного анализа территории г. Минска, включающего, как рассмотрение данных об экологическом состоянии города, так и его градостроительных особенностей. Анализ был проведён в программе ГИС ArcGIS с помощью дополнительного модуля Spatial Analyst, результатом которого явилась карта рекомендуемых территорий для создания системы вертикального озеленения в г. Минске. Пространство с наивысшим уровнем необходимости находится на территории Октябрьского района – кварталы в пределах улиц Могилёвская, Жуковского, Воронянского и Володько. Именно здесь в первую очередь и требуется создание системы вертикального озеленения.

В качестве объекта её проектирования выбрано здание ГУО «Гимназия № 74 г. Минска», расположенное в границах упомянутых улиц. Помимо результатов анализа, здание также выбиралось исходя из своего административного назначения, приближенности к крупным автомобильным дорогам, наличия глухих стен и низких эстетических характеристик.

Достижение наилучшего эффекта от функциональных возможностей вертикального фитомодуля возможно только при проведении грамотной разработки подобной системы. Подобное проектирование представляет собой достаточно обширный план с множеством пунктов, отвечающих за каждую составную часть растительной установки: подбор каркаса, резервуаров для насаждений, субстрата, ассортимента растений, а также перечня дополнительных элементов. При этом на выбор каждого из объектов определённое влияние оказывают как природно-экологические, так и архитектурно-градостроительные характеристики местности.

Вначале были подобраны форма и размеры модульного каркаса, состоящего из двух структурных частей разного размера. Основой системы стала прямоугольная металлическая рама с решёткой общей площадью 69,35 м² (рис. 1). Далее следовал подбор системы полива и растительных резервуаров: в данном случае необходимо было ориентироваться на наиболее практичные варианты, требующие наименьшего ухода и небольших денежных затрат. Систему полива целесообразнее делать замкнутой, а резервуары для излишков воды

крепить к нижней части каркаса. Основной объём первичной воды рационально подавать из существующей водопроводной системы здания, что предусматривает установку насоса и создание дополнительного водоподающего канала. Система также оснащается шлангами капельного полива, которые должны быть соединены специальными отверстиями с каждым растительным резервуаром.



Рис. 1. Стена, предназначенная для установки системы вертикального озеленения

Среди резервуаров отдаётся предпочтение установкам карманного типа, представляющим собой цельное тканевое полотно со сформированными на его поверхности ячейками. Площадь одного кармана составляет 450 см^2 , следовательно, общее количество карманов для проектируемого фитомодуля составит около 1540 штук. Субстраты, необходимые для наполнения резервуаров, целесообразнее подбирать на основе существующих исследований по соответствующей тематике. Таким образом, эффективнее всего использовать смесь безземельных наполнителей – вермикулита и перлита [2, с. 416–419].

При подборе растительного ассортимента в первую очередь учитывались климатические показатели местности, литературные данные, а также собственные экспериментальные исследования, проведённые совместно с Центральным ботаническим садом НАН Республики Беларусь. Окончательный вертикальный рисунок выполняется растениями, относящимися к двум категориям: основные, то есть создающими главный фон и структуру и дополняющие – увеличивающими эстетическую привлекательность (рис. 2).

В силу нахождения озеленяемого объекта в климатическом поясе, характеризующимся наличием отрицательных температур, необходимо предусмотреть сезонное утепление системы. Конструирование системы отопления может быть финансово не оправдано, поэтому утепление

необходимо проводить с помощью теплоизолирующих материалов. С наступлением холодного сезона система накрывается многослойной пузырчатой полиэтиленовой плёнкой, плотно крепясь к каркасу установки. Таким образом растениям будут обеспечены теплом из-за создаваемого здесь тепличного эффекта, а также необходимым периодом покоя.

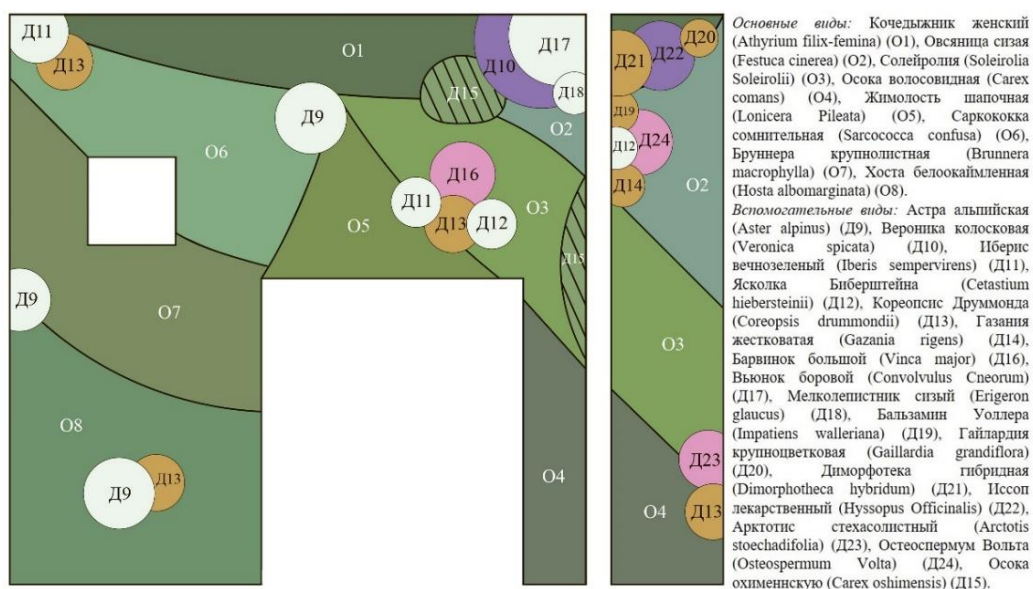


Рис. 2. Схема разрабатываемого вертикального озеленения

Окончательная визуализация проекта осуществлена в программах для 3D моделирования – SketchUp Pro и Lumion 12 (рис. 3).



Рис. 3. Визуализация разрабатываемого вертикального озеленения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, описанный алгоритм разработки системы вертикального озеленения может быть использован в качестве универсального инструмента для дальнейшего создания подобных фитомодулей на урбанизированных территориях с различными характеристиками.

Библиографические ссылки

1. *Тетиор А.Н.* Городская экология: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с.
2. *Шутова А.Г., Рондак У.А.* [и др.]. Оценка эффективности различных субстратов в вертикальном озеленении // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры. В 2 ч. / Национальная академия наук Беларуси. – Минск: Белтаможсервис, 2022. Ч. 2. С. 416–419.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ ЗЕМЛИ И МАРСА

Г. А. Скребец

george.screbec@gmail.com;

Научный руководитель — С. А. Юдаев, старший преподаватель

В работе рассматривается общая и региональная геология Марса – планеты земной группы. Обобщена и проанализирована геологическая история, изучены процессы внутренней и внешней динамики, имеющие место на планете в настоящий момент. Представлены результаты качественной оценки современных геокриологических условий.

Ключевые слова: астрогеология, сравнительная планетология, геология Марса, геология планет, астрогеология, планета Марс.

ВВЕДЕНИЕ

Геологическая история Марса весьма сложна и разнообразна: в ней сочетаются времена интенсивной бомбардировки поверхности, обильной вулканической, тектонической и сейсмической активности, многообразной деятельности как поверхностных текучих вод, так и водяного льда, а также развития различных процессов гипергенеза и седиментации.

Геохронологическая (стратиграфическая) модель Марса охватывает геологическое время от 4,6 млрд лет назад и включает три периода (системы), которые были выделены по результатам изучения частотно-размерного распределения импактных событий: нойский (3,97–3,74 млрд лет назад), гесперийский (3,74–2,9 млрд лет назад) и амазонийский (от 2,9 млрд лет назад), продолжающийся и по сей день [1].

Будучи планетой земной группы, Марс представляет собой объединение геосфер – ядра, мантии и коры – абсолютные размеры которых разнятся в зависимости от конкретной рассматриваемой геофизической модели. Зафиксированные на юге планеты явления остаточной намагниченности верхних слоев литосферы свидетельствуют о существовании полноценного магнитного поля в раннем ное (3,97 млрд лет назад и ранее). Распределение магнитных аномалий зависит от предполагаемого распространения в коре богатых железом магнитных минералов [2].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Большое влияние на геологическую историю Марса оказали эндогенные процессы, геофизический отличные от земных. Так, марсианский вулканизм характеризуется разнообразием региональных особенностей и форм рельефа, а также куда большими масштабами ввиду пониженной гравитации и современной разреженной атмосферы.

Высочайший вулкан на Марсе, гора Олимп (Olympus Mons), достигает 21 км в высоту и 550 км в диаметре, что почти в 100 раз больше самого крупного щитового вулкана на Земле. Такой аномальный размер вулканических построек объясняется не столько низкой гравитацией, сколько постоянствующими мантийными плюмами и горизонтальной устойчивостью литосферы [1].

Принимая во внимание тот факт, что современный Марс состоит из одной-единственной литосферной плиты, зарегистрированные землетрясения можно отождествлять с их земными внутриплитовыми аналогами; всего за четыре года непрерывной работы американского посадочного аппарата InSight, оснащенного сейсмометром, было зарегистрировано более 174 землетрясений в районе посадки, с магнитудой от 1 до 4,7 [3].

По своему разнообразию, масштабам и значению в формировании лика планеты экзогенные процессы на Марсе уступают разве что земным. Многие формы рельефа и формации имеют земные аналоги, однако их масштаб обычно намного крупнее. Одной из наиболее поразительных эрозионных форм рельефа являются марсианские каналы оттока, возникшие при прорывах талой воды. Каналы оттока представляют собой следы особых – флювиально-катастрофических – процессов [4] и являются важным свидетельством присутствия в прошлом жидкой воды на Марсе, причем в существенных количествах.

Другой и не менее примечательный класс эрозионного рельефа составляют сети долин, где мелкие притоки располагаются на большем возвышении, сливаясь в более крупные; некоторые каналы, впрочем, не достигают и пяти километров в ширину, хотя и они могут простираться на сотни или даже тысячи километров по марсианской поверхности. Структура сетей долин не столь сложна, как у речных систем на Земле.

Одним из немногих геологических агентов, работа которых наблюдалась непосредственно на поверхности Марса, является ветер. Было замечено, что пыльные бури как местного, так и планетарного масштабов могут усиливаться и ослабевать. Роль дефляции в изменении марсианских ландшафтов ограничена: в основном ветер лишь перераспределяет по поверхности рыхлый и слабо связанный материал, а дефляционные процессы на вулканическом и импактном типах рельефа и вовсе развиты в незначительной степени. Большинство песчаных бурь являются региональными, однако в отдельные годы они приобретают поистине планетарный масштаб [5].

В отличие от гидросферы Земли, марсианская гидросфера не носит характер сплошной оболочки, но выражена локально, а из-за постоянных низких температур и нахождения запасов воды в твердом состоянии она

также называется криолитосферой. На поверхности планеты жидкая вода нестабильна по причине низкого атмосферного давления; на глубине нескольких километров достигается точка замерзания из-за высокого давления и изоляции, создаваемых верхними слоями.

Неоспоримым наблюдаемым доказательством наличия мерзлоты на Марсе являются полярные шапки. Северная шапка Марса имеет большую площадь, чем южная, и сравнима с ледяным щитом Гренландии. Наблюдаемые формы мерзлотных процессов на Марсе, такие как провальные и термоэрозионные образования, полигональный рельеф и солифлюкции, а также наличие полярных шапок, свидетельствуют о действующих и прошлых мерзлотных процессах.

Криогенные образования были обнаружены в разных геологических провинциях возрастом от 3 млрд до 200 млн лет, что указывает на формирование криолитосферы на ранних этапах геологической истории Марса и на возможность содержания в ней большого количества воды, выделившейся при дегазации планетарного вещества [6].

Библиографические ссылки

1. *Rossi A.P., van Gasselt S.* Geology of Mars after the first 40 years of exploration // *Res. Astron. Astrophys.* 2010. Vol. 10, n 7. P. 621–652.
2. *Mangold N., Baratoux D., Witasse O. [et al.]*. Mars: a small terrestrial planet // *Astron. Astrophys. Rev.* 2016. Vol. 24. P. 2–107.
3. *Giardini D., Lognonné P., Banerdt, W. B. et al.* The seismicity of Mars // *Nat. Geosci.* 2020. Vol. 13, n. 3. P. 205–212.
4. *Гросвальд М.Г.* Евразийские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. Москва : Научный мир, 1999. 120 с.
5. *Carr M. H.* The surface of Mars. Cambridge : Cambridge Univ. Press, 2007.
6. *Абраменко, О.Н.* Сравнительный анализ мерзлотных условий Антарктиды и полярных областей Марса: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.08. Москва : МГУ, 2010. 174 л.

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИНАНСОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В БЕЛАРУСИ И РОССИИ

В. А. Асташонок, Д. С. Перехрест

dadayavladoshik@gmail.com;

Научный руководитель — Б. А. Бадак, старший преподаватель

В статье рассматривается состояние финансового положения кондитерских предприятий Республики Беларусь и оценивается их конкурентоспособность по сравнению с российскими партнерами.

Ключевые слова: финансовый анализ; конкурентоспособность предприятия; финансовое состояние; эффективность производства.

Проблема финансовой устойчивости хозяйствующих субъектов в современных экономических условиях ставится на первый план. Большинство проблем финансового характера, с которыми сталкиваются отечественные предприятия, в большинстве случаев по существу схожи друг с другом, поэтому решение кроется в универсальных инструментах, образующих механизм управления финансовой устойчивостью субъекта.

Целью данного исследования является развитие теоретических и практических навыков по систематизации сильных и слабых сторон финансовой устойчивости предприятия.

Сравним и рассчитаем конкурентоспособность предприятия «Спартак» с его основными оппонентами. Все показанные анализы и рассуждения были опробованы в условиях конкретной практики – СП ОАО «Спартак». Расчет коэффициента конкурентоспособности производится с помощью формулы средней взвешенной арифметической: $KП = 0,21ЭП + 0,19ФП + 0,27ЭМ + 0,32КТ$, где ЭП – критерий эффективности производственной деятельности предприятия; ФП – критерий финансового положения предприятия; ЭМ – критерий эффективности деятельности маркетинга и организаций сбыта; КТ – критерий конкурентоспособности самого товара; 0,21; 0,19; 0,27; 0,32 – весовые коэффициенты критериев.

Для расчета коэффициента конкурентоспособности найдём значения всех критериев. Расчет первого критерия – эффективности производства –

выполняем по формуле: $\mathcal{E}_{II} = 0,29I + 0,23\Phi + 0,15P_T + 0,27\Pi$, где И – издержки производства на единицу продукции; Φ – фондоотдача; P_T – рентабельность товара; Π – производительность труда; 0,29; 0,23; 0,15; 0,27 – весовые коэффициенты показателей.

Для расчета второго критерия – финансового положения – используем формулу: $\Phi_{II} = 0,35K_A + 0,25K_{II} + 0,34K_{LI} + 0,27K_O$, где K_A – коэффициент автономии предприятия; K_{II} – коэффициент платежеспособности предприятия; K_{LI} – коэффициент ликвидности предприятия; K_O – коэффициент оборачиваемости оборотных средств; 0,35; 0,25; 0,34; 0,27 – весовые коэффициенты показателей.

Расчет третьего критерия – эффективности деятельности маркетинга – осуществляется по формуле: $\mathcal{E}_M = 0,42P_{II} + 0,31K_3 + 0,19K_M + 0,21K_P$, где P_{II} – рентабельность продаж; K_3 – коэффициент затоваренности готовой продукцией; K_M – коэффициент нагрузки производственных мощностей; K_P – коэффициент эффективности рекламы; 0,42; 0,31; 0,19; 0,21 – весовые коэффициенты показателей.

Расчет последнего критерия – конкурентоспособности товара – производится по формуле: $K_T = K \div C$, где K – коэффициент качества товара; C – цена товара.

Для расчета критерия конкурентоспособности возьмем данные маркетингового отдела в сфере качества и цены товара и сравним с другими кондитерскими предприятиями-конкурентами за аналогичные года (табл. 1):

Таблица 1

Характеристика товара

Фактор	Предприятие	2019	2020
Качество товара	Спартак	7	7
	Коммунарка	7	8
	Слодыч	5	5
	Красный пиццевик	6	7
	Красный октябрь	8	9
Цена товара	Спартак	5,1	5,6
	Коммунарка	5,1	5,6

Окончание табл.1

Цена товара	Слодыч	5,1	5,6
	Красный пищевик	5,1	5,6
	Красный октябрь	5,1	5,6

Как видно из таблицы, изменение качества товара у производителей отличается, но при этом цена за наблюдаемый период у всех предприятия увеличивалась одинаково. Конкретно на предприятии «Спартак» показатель качества товара осталась на том же уровне. Это говорит о том, что производственная деятельность развивалось недостаточно эффективно, соответствующие технологии не финансировались по сравнению с предприятиями-конкурентами. Сохранение этой тенденции может отрицательно отразиться на эффективности предприятия, так как это ведёт к уменьшению конкурентоспособности товара.

Сравнительный анализ конкурентоспособности предприятий-конкурентов представлен в таблице (табл. 2):

Таблица 2

Сравнительная характеристика

Название показателя	Значение				
	Спартак	Коммунарка	Слодыч	Красный пищевик	Красный октябрь
Коэффициент конкурентоспособности	2,9	3	2,9	2,7	3,8
Критерий эффективности производства	5,6	5,9	5,4	5,3	6,4
Критерий финансового состояния	1	1	0,9	0,8	1,4
Критерий эффективности реализации сбыта	4,3	4,4	4,3	4	5,9
Критерий конкурентоспособности и товара	1,25	1,1	1	1,1	1,5

Наибольшее различие отмечается по критерию эффективности производства, что говорит о необходимости модернизации производственного оборудования. Это причина снижения критериев по всем другим показателям. В качестве решения проблемы мы предлагаем реализовать инвестиционное проектирование для увеличения дохода

капитала и дальнейшего увеличения конкурентоспособности предприятия [1]. Увеличение капитала позволит расширить изучение технологий и обнаружить пути усовершенствования производимой продукции и модернизации технологии изготовления и сбыта продукции [2]. В частности, в кондитерской отрасли создание новых технологий кондитерских изделий основывается на оригинальных технологических решениях и применении нетрадиционных сырьевых ингредиентов, которые позволят изменить структуру конечной продукции.

Библиографические ссылки

1. Мазилкина Е. И., Паничкина Г. Г. Основы управления конкурентоспособностью. – М.: Прогресс, 2012. 187 с.
2. Завьялова Е. М. Конкурентоспособное управление промышленным предприятием: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05. Москва, 2012. 47 с.

О ДИДАКТИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Б. А. Бадак

badak.bazhena@bk.ru;

Научный руководитель — О. Б. Долгополова, кандидат физико-математических наук, доцент

В статье рассмотрены особенности построения дидактической системы в процессе практико-ориентированного обучения математическим дисциплинам студентов технического университета, отражены дидактические особенности образовательного процесса Белорусского национального технического университета, приведен пример профессионально ориентированной задачи в качестве реализации профессиональной направленности математической подготовки будущих инженеров.

Ключевые слова: дидактическая система; профессионально ориентированные задачи; междисциплинарность обучения; математическое моделирование.

Трансформации, происходящие в современном инженерном образовании, связаны с междисциплинарностью, новыми стандартами и технологиями, цифровой образовательной средой и онлайн-технологиями, взаимодействием его с высокотехнологичным бизнесом и промышленностью, созданием моделей цифровых компетенций, профессиональным образованием в системе «школа – вуз – предприятие» и многими другими актуальными аспектами. С каждым годом характер инженерной деятельности усложняется. В связи с указанным фактором при обучении математике будущих инженеров необходимо построить дидактическую систему, которая могла бы описывать весь образовательный процесс в условиях трансформации и цифровизации высшей технической школы. Под **дидактической системой** будем понимать упорядоченную совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных целей, содержания, методов (приёмов и подходов), организационных форм и средств обучения математическим дисциплинам, а также планирование и проведение контроля, анализ и корректирование учебного процесса, связанного с овладением будущими инженерами профессиональными компетенциями в области моделирования в процессе субъект-субъектного взаимодействия. В концепции данного исследования такая система должна отражать: научно-обоснованное планирование процесса обучения; единство практической и теоретической подготовки студентов; практико-ориентированный подход к обучению; условия для самостоятельной активности студентов и

курсантов; возможность использования в учебном процессе цифровых средств и технологий обучения.

Построение дидактической системы обучения математике будущих инженеров должно осуществляться с учетом особенностей функционирования служебных подразделений. Поэтому, все компоненты дидактической системы должны иметь четкую структуру, ко всем организационным формам обучения должна быть разработана инструкция, устанавливающая порядок и время выполнения каждого вида учебной деятельности. Например, инструкция к проведению практического занятия по высшей математике для курсантов военно-технического факультета Белорусского национального технического университета по специальности 7-07-0732-01 «**Промышленное и военное строительство**» первого курса обучения представляет собой план проведения занятия, который включает в себя организационный блок (тема занятия, номер взвода, присутствующего на занятии, дата, время и место проведения занятия, его цель), описание хода проведения занятия с указанием времени для каждой его части (вводной, основной, заключительной), список рекомендуемой литературы, формы контроля, применяемые на занятии, задание и рекомендации к самоподготовке.

Профессиональная деятельность будущих инженеров связана с моделированием реальных процессов в различных технических исследованиях, которое помогает ответить на вопросы, какие эксперименты проводить, как интерпретировать результаты экспериментов, какие прототипы построить и представляет собой взаимодействие математических и технических наук. Реализовать профессиональную направленность математической подготовки посредством решения профессионально ориентированных задач предлагают М. В. Виноградова [1], М. С. Горбузова [2], В. А. Далингер [3], В. В. Соловьёва [1] и др. Нельзя не согласиться с выводами ученых, что профессионально ориентированные математические задачи способствуют формированию умений применять математические приемы и методы в решении задач профессиональной деятельности, а также повышению мотивации к изучению математики. Приведем пример реализации профессиональной направленности курса высшей математики при подготовке студентов, обучающихся по специальности 6-05-0713-04 «**Компьютерная мехатроника**» посредством профессионально ориентированной задачи.

Задача. Материальный ущерб, принесённый предприятию «Смартмашин» в ходе сертификации оборудования, изменяется в зависимости от величины p по формуле: $M(p) = \ln\left(1 + \frac{p}{a}\right)^b$, $a > 1$, $b > 1$ –

некоторые постоянные, $0 \leq p \leq 0,2$, где p – количество неисправных машин на предприятии (дес. шт.). Аппроксимировать функцию $M(p)$ линейной функцией и оценить погрешность оценки.

С позиций математики, задача сводится к разложению функции в ряд Маклорена и оценке погрешности вычислений. С позиций профессиональной подготовки специалиста решение задачи способствует формированию у студентов умений: анализировать рабочую обстановку по таким параметрам, как количество неисправного оборудования и размер материального ущерба, понесённого во время сертификации; определять зависимость размера ущерба от количества сломанного оборудования; выполнять прогноз о размере ожидаемого ущерба; оценивать точность сделанного прогноза.

Процесс овладения математическим аппаратом происходит через освоение математических учебных действий, т.е. действий, с помощью которых выполняется: нахождение, идентификация и преобразование математических объектов, установление отношений между ними; выполнение математических операций; формулирование математических понятий, доказательство математических утверждений и др. Все это является основой для изучения прикладной математики. Например, **статистическая линия** теории вероятностей развивается в прикладной математике путем исследования Марковских процессов и рассмотрения математического описания процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем. **Интегральное и дифференциальное** исчисление в процессе обучения математике находит своё место в моделировании стохастических систем (моделях управления запасами); **уравнения, неравенства, системы** рассматриваются в моделях линейного программирования (симплекс-метод), получая свое дальнейшее развитие в моделировании игровых моделей произвольных размерностей; **теория вероятностей и математическая статистика** продолжают свое развитие при рассмотрении моделирования многофакторных процессов (многофакторный анализ), а также дисциплин эконометрики и методов обработки статистических данных; **функциональная линия** получает развитие при изучении всех вышеперечисленных приёмов математического моделирования (целевых функций моделей дискретной оптимизации, трансцендентных уравнений и пр.).

Анализ содержательных линий показывает не только их связь с дисциплинами математического и компьютерного назначения, но и помогает преподавателям вышеперечисленных дисциплин увидеть интегративные связи между ними. Это дает основание для вывода о том, что математическое моделирование является источником развития, как

математических содержательных линий, так и основой для развития приемов компьютерного моделирования.

Ориентируясь на то, что математика занимает особое место в системе инженерных знаний, выполняет роль универсального и мощного метода современной науки, в процессе обучения высшей и прикладной математике в техническом университете особенно важно формировать математические и цифровые компетенции. Эффективность процесса обучения математическим дисциплинам студентов инженерных направлений подготовки определяется тем, насколько сформирована математическая цифровая компетентность выпускника технического вуза.

Библиографические ссылки

1. *Виноградова М. В.* Формирование гибких навыков как критерий подготовки студентов, обучающихся на инженерных направлениях // Мир науки, культуры, образования. 2020. № 3 (82). С. 29–31.
2. Контекстные задачи как средство интеграции содержания предметных областей математики, физики и информатики [Электронный ресурс] / *М. С. Горбузова [и др.]* // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22687> Дата доступа: 13.01.2022.
3. *Далингер В. А.* Практико-ориентированное обучение будущих инженеров математике [Электронный ресурс] // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. № 3–1. С. 111–114. Режим доступа: <http://www.expeducation.ru/ru/article/view?id=6726>. – 2023. – Дата доступа: 20.09.2022.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЭВРИСТИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ СТУДЕНТОВ

А. О. Бобрович, В. И. Черняк

abobrovitch@gmail.com, black.legion7799@gmail.com;

Научный руководитель — Б. А. Бадак, старший преподаватель

В статье рассмотрены этапы создания электронного тренажера по аналитической геометрии и векторной алгебре для студентов технических специальностей, описаны принципы создания математических тренажёров, обоснована эффективность их применения в образовательном процессе Белорусского национального технического университета при изучении курса векторной алгебры и аналитической геометрии в техническом университете.

Ключевые слова: эвристический тренажёр; метод; имитационное моделирование; интерактивность.

В современной высшей школе в настоящее время происходит процесс активного вхождения в цифровое образовательное пространство. Информатизация отечественного образования строится в условиях цифровой образовательной среды [1], цифровая трансформация происходит от изменения средств к развитию деятельности обучающихся [3], то есть, как отмечает И.В. Роберт, наблюдается интеллектуализация интерактивного взаимодействия обучающегося и обучающего со средствами информатизации в информационно-образовательном пространстве [2].

В Белорусском национальном техническом университете, одним из разделов дисциплины «Высшая математика», в котором возможно и полезно создавать имитационные модели с помощью виртуальных тренажеров, является курс аналитической геометрии и векторной алгебры. Так как геометрические объекты часто трудны для восприятия студентами и преподаватель не всегда имеет возможность индивидуализировать процесс обучения решению геометрических задач, показать различные варианты подходов к одной и той же задаче, виртуальные тренажеры помогут студентам ликвидировать пробелы в знаниях и поспособствуют качественной подготовке к контрольно-диагностическому мероприятию.

В процессе создания эвристического тренажёра авторы придерживались следующих принципов таких, как *целевая аудитория, определение целей и задач, интерактивность, доступность, постепенное усложнение заданий, оценку результатов учебной деятельности.*

Усилить эффект от использования в высшей школе в обучении аналитической геометрии имитационного моделирования, средствами которого выступают виртуальные тренажеры, возможно с помощью методов эвристического обучения. К таким *методам* будем относить:

1. Анализ целевой аудитории и образовательных стандартов, определение требований к компетенциям и навыкам, которые должен формировать тренажер.

2. Выбор подходящей технологии и платформы для создания электронного обучающего ресурса, учитывая возможности интерактивности, динамичности, адаптивности и обратной связи.

3. Разработка структурной модели электронной задачи-тренажера, включающей в себя элементы содержательного (текст задачи, контекст, графические или мультимедийные средства), процедурного (алгоритм решения задачи, подсказки, варианты ответов) и оценочного (критерии правильности решения, балльная система) планов.

4. Реализация электронного тренажера с использованием выбранной технологии и платформы, проверка его функциональности и корректности работы.

Выделим основные этапы создания данного тренажёра:

Первый этап. Выбор материала для построения математического тренажера.

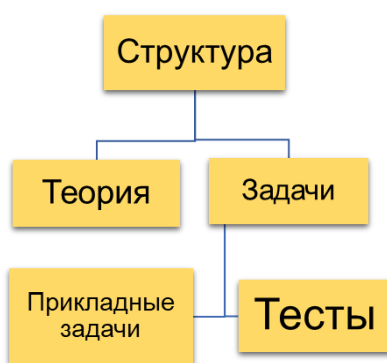
Второй этап. Создание структуры математического тренажера по схеме, приведённой на рисунке.

Третий этап. Выбор программного обеспечения для реализации структуры тренажера.

Четвертый этап. Создание интерфейса для управления тренажером.

Пятый этап. Наполнение тренажера материалом.

Шестой этап. Тестирование созданного тренажера.



Структура математического тренажера

Данный тренажёр был предложен в процессе изучения аналитической геометрии и векторной алгебры студентам

Машиностроительного факультета БНТУ для изучения некоторых тем. Для определения эффективности использования виртуального математического тренажера было создано онлайн-анкетирование для студентов. На вопрос «Насколько Вам помог математический тренажёр в освоении тем высшей математики?» 80,2% из 256 респондентов зафиксировали положительный результат, а на вопрос «Рекомендуете ли Вы изучать материал по высшей математике по эвристическим тренажёрам и интерактивным лекциям» 78,4% студентов рекомендуют использовать данный тренажёр в процессе дальнейшего изучения математики.

Использование эвристического тренажера в образовательном процессе высшей школы при изучении математики помогает студентам изучить или повторить тот или иной материал. У данных тренажеров и виртуальных лекций имеется открытый доступ, соответственно можно получить или повторить ту или иную тему в любое внеаудиторное время, а также помимо теории освежить в памяти решение типичных задач.

Библиографические ссылки

1. Рабинович П. Д., Заведенский К. Е., Кушниц М. Э. Цифровая трансформация образования: от изменения средств к развитию деятельности // Информатика и образование. 2020. № 5. С. 4–14.
2. Роберт И. В. Интеллектуализация интерактивного взаимодействия обучающегося и обучающего со средствами информатизации в информационно-образовательном пространстве // Информационная среда образования и науки. 2018. № 18. С. 63–83.
3. Русаков А. А. Некоторые аспекты информатизации отечественного образования в условиях цифровой образовательной среды // Continuum. Математика. Информатика. Образование. 2019. № 3 (15). С. 42–46.

ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГО БАЛЛА СТУДЕНТОВ ОТ ВНЕУЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Д. И. Бураков

mmf.burakov@bsu.by;

*Научный руководитель — Г. С. Ромащенко, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Считается, что средний балл активистов значительно ниже среднего балла остальных студентов. Используя методы множественной регрессии, будет построена модель для вычисления приблизительного среднего балла любого студента БГУ. Цель исследования - изучить зависимость между внеучебной деятельностью студента и его средним баллом. В работе показано, что средний балл студента не зависит от его внеучебной деятельности. Оказалось, что наибольшую статистическую значимость в среднем балле студента имеют факультет и курс обучения.

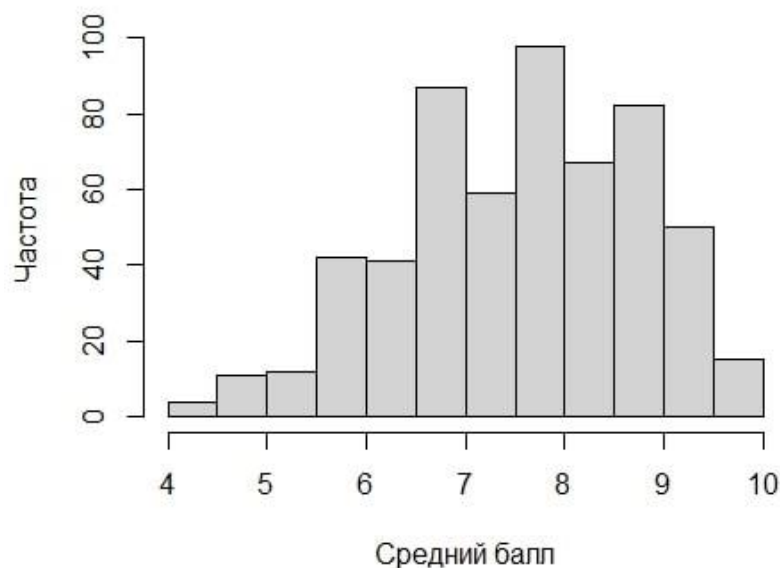
Ключевые слова: множественная регрессия; пакет R; средний балл; коэффициент корреляции Пирсона; метод наименьших квадратов; внеучебная деятельность.

ВВЕДЕНИЕ

Методы эконометрического анализа играют важную роль в современном мире. Они используются для изучения различных явлений и процессов, связанных с экономической деятельностью, и для принятия научных решений на основе эмпирических данных. Однако эти методы также могут быть применены в других областях, включая образование. В данной работе исследуется зависимость между внеучебной деятельностью студента и его средним баллом, используя методы множественной регрессии. Существует мнение, распространенное в профессорско-преподавательской среде, что активное участие в студенческих организациях наносит урон учебному процессу студента.

Модель множественной регрессии реализована во многих пакетах для обработки статистических данных. В данной работе мы используем пакет R. Пакет R – это свободно распространяемый язык программирования и среда разработки, разработанный для анализа данных и статистических вычислений. R стал популярным инструментом в академическом сообществе и в индустрии благодаря своей гибкости и богатым возможностям для анализа данных. В эконометрике R используется для решения разнообразных задач, таких как построение регрессионных моделей, тестирование гипотез, анализ временных рядов и многих других.

Средний балл всех студентов составил 7,62. Распределение среднего балла студентов, прошедших опрос, представлено на рисунке.



Распределение среднего балла

В ходе разработки модели множественной регрессии были использованы возможности пакета R, в частности команда `cor(x, y)` которая вычисляет коэффициент корреляции Пирсона между переменными x и y .

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опрос для последующего исследования прошли 568 студентов БГУ со всех факультетов.

В опросе были использованы следующие вопросы:

Курс (`course`); факультет (`faculty`); средний балл (`score`); является активистом на факультете (`org_fac`); является активистом в организациях БГУ (`org_bsu`); время, которое студент тратит на учебу в день (`study_time`); сколько часов в день тратит на организацию мероприятий (`event_time`); сколько часов в день работает студент (`work`); сколько пар в неделю он пропускает (`lessons`).

Таким образом были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона между средним баллом и следующими факторами: временем, затраченным на учебу – 0,132; количеством пропущенных занятий – -0,078; временем, затраченным на работу – 0,043; внеучебной деятельностью на факультете – -0,061; внеучебной деятельностью в БГУ – -0,008; временем затраченным на организацию мероприятий – -0.162.

Используя функцию `model <- lm(score ~ course + faculty + org_bsu + org_fac + study_time + event_time + work + lessons, data = data)`, была построена модель множественной регрессии, где средний балл студентов являлся зависимой переменной, а активности, курс, факультет и другие факторы – независимыми переменными.

$$\text{Средний балл} = 7.025 + \text{faculty} + \text{course} - 0.021 * \text{org_bsu} + 0.034 * \text{org_fac} + 0.059 * \text{study_time} - 0.090 * \text{event_time} - 0.008 * \text{work} - 0.039 * \text{lessons}.$$

Таблица 1

Коэффициент факультета(faculty)

Экономический	1,107	Исторический	1,040
ФПМИ	0,284	ИБ	1,155
Филологический	1,140	Журналистики	0,693
ФФСН	0,623	Юридический	1,082
ФМО	1,065	МГЭИ	-0,014
Физический	-0,594	ММФ	-0,292
ФСК	0,958	ФРиКТ	-0,572
ФГиГ	0,838	Теологический	0,612
Химический	0,434	Биологический	0,000

Таблица 2

Коэффициент курса(course)

1 курс	0,000
2 курс	0,286
3 курс	0,428
4 курс	0,381

Где *faculty* – это коэффициент факультета (табл. 1), *course* – коэффициент курса (табл. 2), *org_bsu* – фиктивная переменная, которая равна 0, если студент не является активистом организаций БГУ, и 1, если является активистом. Аналогично для переменной *org_fac*. Переменные *study_time*, *event_time* и *work* указывают количество часов, которое студент тратит на учебу, организацию мероприятий и работу в день соответственно. Переменная *lessons* представляет собой количество пар, которые студент пропускает в среднем за неделю.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе регрессионного анализа была построена модель множественной регрессии, в которой зависимой переменной выступает средний балл студента, а независимыми переменными являются его внеучебная деятельность, курс, факультет и другие факторы. Анализ позволил оценить влияние каждой независимой переменной на средний балл и выявить статистическую значимость этого влияния.

Результаты регрессионного анализа показали, что внеучебная деятельность студента не оказывает существенного влияния на его средний балл. Коэффициенты регрессии, связанные с внеучебной деятельностью, были незначительными и не достигли статистической

значимости. Это говорит о том, что участие в внеучебных мероприятиях, не сильно влияют на успеваемость студентов в данном контексте исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большое участие студентов во внеучебной деятельности вызывает подозрение в профессорско-преподавательской среде по поводу их академической успеваемости.

Результаты исследования показали, что корреляция между этими переменными была близка к нулю. Кроме того, отсутствие значимой корреляции и незначимость некоторых коэффициентов указывают на то, что другие факторы, не включенные в модель, могут играть более важную роль в определении успеха студентов. Считаем, что необходим более глубокий анализ и оценка влияния других аспектов на успеваемость студентов.

Библиографические ссылки

1. Открытое образование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openedu.ru>. – Дата доступа: 29.04.2023.
2. *Елисеева И. И.* Эконометрика. – Москва: Юрайт, 2014. С. 39–137.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ БЛОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Д. А. Владыковский

D.Vladykovsky@gmail.com;

Научный руководитель — С. А. Вельченко, старший преподаватель

На протяжении всей своей истории со времён зарождения языка и по настоящее время роль информации как таковой, развитие способов её фиксации, хранения и передачи имели определяющее влияние на направление, темпы и степень развития человеческого общества. Сегодня, когда информационные технологии проникли и безвозвратно охватили практически все сферы социального взаимодействия, невозможно переоценить значимость проблем защиты информации от несанкционированного доступа, её видоизменения, кражи или уничтожения. Данные задачи помогает решать криптология – область знаний, изучающая и развивающая вопросы и способы безопасной связи с использованием методов шифрования, расшифрования и дешифрования. Следовательно, для защиты компьютерных данных от различных угроз необходимо использовать качественные и стойкие алгоритмы криптографии, один из которых был реализован в ходе данной работы для защиты текстовой информации по открытым каналам связи.

Ключевые слова: криптография; шифрование; алгоритмы шифрования; симметричное шифрование; асимметричное шифрование.

ШИФРОВАНИЕ

Сообщение будем называть открытым текстом. Обратимое изменение вида открытого текста так, чтобы за кажущейся случайной последовательностью некоторых символов спрятать его суть с одновременным предоставлением доступа к нему авторизованным пользователям называется шифрованием. Важной особенностью шифрования является использование ключа, который определяет конкретный вид преобразования сообщения из совокупности возможных для избранного алгоритма.

Процесс шифрования данных может осуществляться как программно, так и аппаратно. Аппаратная реализация отличается существенно большей стоимостью, однако ей присущи и преимущества: высокая производительность, простота, защищенность и т.д. Программная реализация менее производительна, но более практична, допускает известную гибкость в использовании и переносимость.

Сегодня существует большое количество различных алгоритмов шифрования, которые обладают своими преимуществами и недостатками. Можно привести следующую классификацию.

По количеству и назначению используемых ключей:

- одноключевые или симметричные;
- асимметричные или двухключевые.

По принципу формирования шифротекста:

- блочного шифрования;
- поточного шифрования.

По принципу размещения символов в шифротексте:

- замены или подстановочные;
- перестановки;
- комбинированные.

Отдельными, совмещающим в себе признаки нескольких обозначенных выше групп, являются:

- алгоритм хеширования - преобразует входные данные любого размера в выходную битовую строку фиксированного размера;
- алгоритм гаммирования [1].

СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ

В настоящее время на основе базовых схем со сложной комбинацией большого числа подстановок и(или) перестановок реализовано и зарегистрировано не менее двух десятков блочных и поточных криптографических алгоритмов. Наиболее распространённые представители из них:

DES – (Data Encryption Standard) стандарт шифрования данных в США. Блочный шифр с 56-битным ключом и 32 раундами (циклами) преобразования, оперирующий 64-битными блоками на основе сети Фейстеля с пятью режимами работы: простая замена, сцепление блоков, обратной связи по «шифротексту», обратной связи по выходу, режим счётчика. Считается устаревшим, ныне используется лишь в не модернизированных системах [1].

AES – (Advanced Encryption Standard) американский стандарт шифрования. Блочный шифр с ключом 128/192/256 бит, оперирующий 128-битными блоками. Хорошо проанализирован и сейчас широко используется, как это было ранее с его предшественником DES. Является одним из самых распространённых алгоритмов симметричного шифрования [1].

ГОСТ 28147-89 – советский и российский стандарт шифрования, также является стандартом СНГ, пример DES-подобных криптосистем. Блочный шифр с 256-битным ключом и 32 раундами (циклами) преобразования, оперирующий 64-битными блоками на основе сети Фейстеля с четырьмя режимами работы: простой замены, гаммирования,

гаммирования с обратной связью, выработки имитовставки. Применяется для защиты соединений в TLS (SSL, HTTPS, WEB) [1].

RC4 – (Rivest cipher или Ron's code) потоковый алгоритм шифрования с ключом переменной длины. Широко применяется в различных системах защиты информации в компьютерных сетях (протоколах SSL, TLS, алгоритмах обеспечения безопасности беспроводных сетей WEP и WPA) [1].

Анализируя и сравнительно обобщая принципы, положенные в основу описанных выше алгоритмов и их особенности, можно прийти к следующему выводу:

– давать оценку, какой из способов шифрования лучше симметричный или ассиметричный не является целесообразным - по своей математической и практической сути это достаточно разные вещи, при этом отдельно можно выделить достоинства и недостатки каждой из групп методов.

Положительными качествами симметричного шифрования являются:

- высокая скорость преобразования;
- простота реализации, достигаемая более простыми операциями;
- уменьшенная длина ключа в отношении стойкости;
- лучшая изученность из-за более длительного практического применения.

К недостаткам можно отнести:

- достаточно сложное управление ключами в больших сетях;
- необходимы защищённые каналы для обмена ключами между абонентами;
- невозможность использования шифров в электронной цифровой подписи, так как код известен обеим сторонам.

Прогресс в развитии вычислительной техники существенно увеличил возможности применения более ресурсоёмких методик криптопреобразований, при этом существенно выросли и объёмы обрабатываемых данных. Не следует забывать, что с недавнего времени возник, существует и продолжает развиваться целый класс мобильных и встраиваемых устройств, для которых ключевой характеристикой является низкое энергопотребление, а, следовательно, к ним предъявляются повышенные требования экономности алгоритмов в плане вычислений. Среди таких устройств можно выделить смарт-карты, в которых может быть необходима функция шифрования данных, мобильные устройства, подключающиеся к беспроводным сетям. Оба этих класса устройств переживают в настоящее время расцвет, что привлекает внимание к таким алгоритмам, как:

Алгоритм ГОСТ 28147-89

ГОСТ является 64-битовым алгоритмом с 256-битовым ключом. ГОСТ также использует дополнительный ключ. В процессе работы алгоритма на 32 этапах последовательно выполняется простой алгоритм шифрования. В основе криптографического алгоритма лежит отработанная с годами схема Фейстеля, хорошо зарекомендовавшая себя в криптографическом алгоритме DES. Использование схемы Фейстеля позволяет избежать каких-либо ошибок при создании самого алгоритма, так и при его реализации, что качественно отличает его от DES. Кроме этого, использование такой конструкции позволяет сделать зашифрование и расшифрование биективным и отличие заключается только в том, что ключи подаются в обратном порядке. В алгоритме ГОСТ предусмотрено 32 раунда шифрования [1]. Структура алгоритма шифрования приведена на рисунке 1.

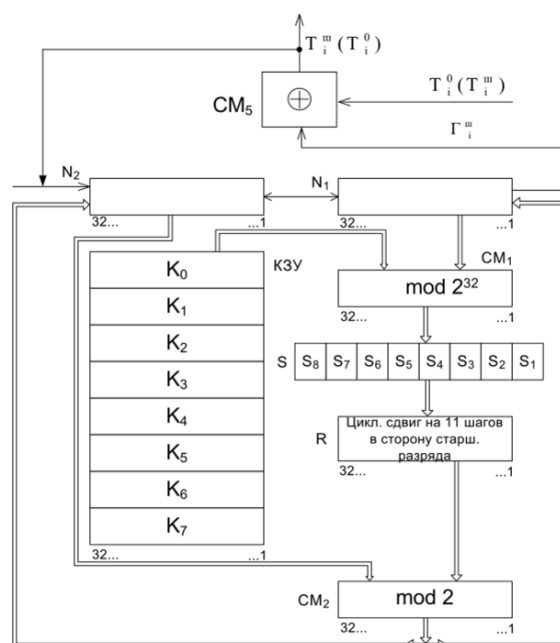


Рис. 1. Структура алгоритма шифрования ГОСТ в режиме гаммирования

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Для реализации программного средства (см. рис. 2) был выбран алгоритм шифрования ГОСТ 28147-89 и технология разработки .Net [2]. В качестве интерфейса была выбрана технология WPF. Программное средство позволяет сгенерировать ключ случайным образом перемещая курсор по координатной сетке. С помощью сгенерированного ключа можно зашифровывать информацию. Чтобы расшифровать полученное сообщение пользователю необходимо знать ключ, который использовался в моменте шифрования, а также зашифрованную информацию. В

приложении реализован функционал загрузки, очистки, сохранения ключа и сообщения. Реализовано контекстное меню, которое содержит кнопки «Справка», «О программе» и «Выход».

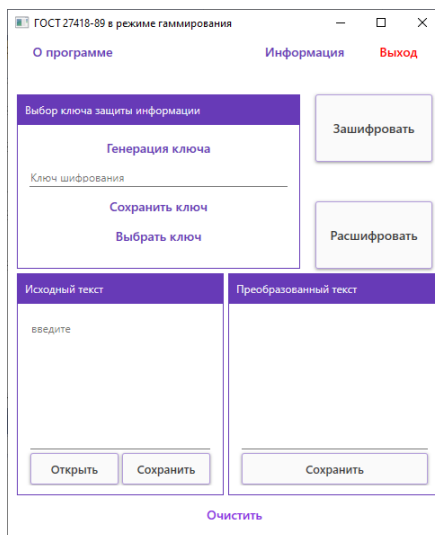


Рис.2. Программное средство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы было разработано программное средство для выполнения криптографических преобразований с использованием алгоритма ГОСТ 28147-89, полностью соответствующее требованиям задания на проектирование. Разработанное программное средство может быть использовано в различных сферах деятельности, где присутствует необходимость, защитить не только текстовую информацию посредством шифрования для передачи по открытым каналам связи, но и иные файлы в любом формате. Можно отметить, что ГОСТ 28147-89 обладает такими преимуществами, как бесперспективность атаки полным перебором, эффективность реализации и, соответственно, высокое быстродействие на современных компьютерах; наличие защиты от навязывания ложных данных (выработка имитовставки) и одинаковый цикл шифрования во всех четырёх алгоритмах стандарта. Но его ключевой проблемой является неполнота стандарта в части генерации ключей и таблиц замен.

Библиографические ссылки

1. Шнайдер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. М.: Триумф, 2012. 518 с.
2. Троелсен Э. C# и платформа .NET. Библиотека программиста. СПб.: Питер, 2002. 800 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ ВОКРУГ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

А. В. Герасимова

alinagerasimovax@gmail.com;

*Научный руководитель – О. А. Лаврова, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В данной работе рассматривается задача о нахождении равновесных осесимметричных форм свободной поверхности магнитной жидкости, расположенной вокруг проводника с током. Разработан алгоритм решения на основе конечно-разностной аппроксимации на адаптивной сетке. С помощью алгоритма построены равновесные формы свободной поверхности для различных значений интенсивности тока в проводнике.

Ключевые слова: конечно-разностный метод; адаптивная сетка; магнитная жидкость; свободная поверхность.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и теоретический анализ численных методов и вычислительных алгоритмов для задач гидродинамики магнитных жидкостей является важным и актуальным направлением развития вычислительной математики. В данной работе предложен вычислительный алгоритм для задачи феррогидростатики о нахождении равновесной осесимметричной формы свободной поверхности магнитной жидкости, расположенной вокруг кругового цилиндрического проводника с током.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Математическая модель для исследуемой задачи предложена в [1] с учётом капиллярных сил, силы гравитации и магнитного поля, созданного проводником с током. При построении модели учтено, в частности, условие скачка давлений на свободной поверхности жидкости, введены безразмерные переменные \bar{s} , \bar{r} и \bar{z} для параметрического описания свободной поверхности в виде равновесной меридиональной линии $(\bar{r}(\bar{s}), \bar{z}(\bar{s}))$ в цилиндрических координатах, где $0 \leq \bar{s} \leq 1$. Математическая модель имеет вид краевой задачи для неизвестных функций $\bar{r} = \bar{r}(\bar{s})$, $\bar{z} = \bar{z}(\bar{s})$ и для неизвестной константы C :

$$(\bar{r}\bar{z}')' = \bar{r}\bar{r}'(\text{Bo}\bar{z}L^2 + C - A_1\varphi(\bar{r})), \quad (1)$$

$$\bar{r}'' = -\bar{z}' \left(\text{Bo} \bar{z} L^2 - A_1 \varphi(\bar{r}) + C - \frac{\bar{z}'}{\bar{r}} \right), \quad 0 < \bar{s} < 1 \quad (2)$$

$$\bar{z}'(0) = -\cos \alpha, \quad \bar{r}'(0) = \sin \alpha, \quad \bar{r}(0) = \frac{1}{L}, \quad (3)$$

$$\bar{z}'(1) = -\sin \alpha, \quad \bar{r}'(1) = \cos \alpha, \quad \bar{z}(1) = 0, \quad (4)$$

где

$$C = \frac{2}{\bar{r}^2(1) - \bar{r}^2(0)} \left(-\bar{r}(1) \sin \alpha + \bar{r}(0) \cos \alpha + A_1 I_2 - \frac{\text{Bo}V}{2\pi L} \right); \quad (5)$$

$$\text{Bo} = \frac{\rho g R_0^2}{\sigma}, \quad A_1 = \mu_0 \frac{M^* H_* R_0}{\sigma}, \quad A_2 = \frac{I}{2\pi H_* R_0}, \quad V = \frac{U}{R_0^3}, \quad L = \left(\frac{V}{I_1} \right)^{\frac{1}{3}},$$

$$I_1 = 2\pi \int_0^1 \bar{z} \bar{r} \bar{r}' d\bar{s}, \quad \varphi(\bar{r}) = L \ln \left(\frac{\bar{r}L}{A_2} \text{sh} \frac{A_2}{\bar{r}L} \right), \quad I_2 = \int_0^1 \bar{r} \bar{r}' \varphi(\bar{r}) d\bar{s}.$$

Равновесная форма свободной поверхности определяется в виде решения $(\bar{r}(\bar{s}), \bar{z}(\bar{s}))$ математической модели (1) – (5) для заданных значений параметров V (объем жидкости), α (угол контакта), Bo , A_1 и A_2 .

Следуя подходу в [2], введем новую неизвестную функцию $\beta = \beta(\bar{s})$ такую, что $\bar{z}' = \sin \beta$, $\bar{r}' = \cos \beta$. Это позволит понизить порядок дифференциальных уравнений (1) и (2) с двух до одного, но увеличит количество дифференциальных уравнений в модели с двух до трех:

$$\begin{cases} \beta' = \Phi(\beta, \bar{r}, \bar{z}, L), & \beta(0) = \alpha - \frac{\pi}{2}, \quad \beta(1) = -\alpha; \\ \bar{z}' = \sin \beta, & \bar{z}(1) = 0; \quad \bar{r}' = \cos \beta, \quad \bar{r}(0) = \frac{1}{L}; \end{cases} \quad (6)$$

где

$$\Phi = \Phi(\beta, \bar{r}, \bar{z}, L) = \text{Bo} \bar{z} L^2 - A_1 \varphi(\bar{r}) + C - \frac{\sin \beta}{\bar{r}},$$

$$I_1 = 2\pi \int_0^1 \bar{z}\bar{r} \cos \beta d\bar{s}, \quad I_2 = \int_0^1 \bar{r} \cos \beta \varphi(\bar{r})d\bar{s}.$$

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ

Следуя подходу в [2], построим дискретизацию модели (6) на равномерной сетке $\{\bar{s}_i = ih \mid i = 0, 1, \dots, N, h = \frac{1}{N}\}$ на основе конечно-разностной аппроксимации. Дополнительно осуществим линеаризацию дискретных уравнений с введением параметра релаксации $\tau > 0$ для построения итерационного процесса при $n = 0, 1, 2, \dots$ в виде рекуррентных соотношений:

$$\begin{cases} \beta_i^{n+1} = \beta_{i+1}^{n+1} - h\Phi_{i+1/2}^n + (1 - \tau)(\beta_i^n - \beta_{i+1}^n + h\Phi_{i+1/2}^n), \\ i = N - 1, N - 2, \dots, 1, \quad \beta_N^{n+1} = -\alpha, \quad \beta_0^{n+1} = \alpha - \frac{\pi}{2}, \end{cases}$$

$$\bar{r}_i^{n+1} = \bar{r}_{i-1}^{n+1} + h \cos \beta_{i-1/2}^{n+1}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad \bar{r}_0^{n+1} = \frac{1}{L^n}, \quad (7)$$

$$\bar{z}_i^{n+1} = \bar{z}_{i+1}^{n+1} - h \sin \beta_{i+1/2}^{n+1}, \quad i = N - 1, \dots, 0, \quad \bar{z}_N^{n+1} = 0.$$

Для построения адаптивной сетки определим преобразование независимой переменной $s = s(t)$, $t \in [0, 1]$ в следующем виде $s(t) = -a + 2(a + 1) / \left(1 + \left(1 + \frac{2}{a}\right)^{1-t}\right)$, см. [3]. Для нахождения значения параметра a используется условие равенства произведения кривизны на шаг адаптивной сетки в фиксированной точке свободной поверхности произведению кривизны окружности на шаг равномерной сетки h . Математическая модель (6) и, как следствие, вычислительный алгоритм (7) переформулируются относительно новой независимой переменной t :

$$\begin{cases} \beta_i^{n+1} = \beta_{i+1}^{n+1} - hs'(t_{i+1/2})\Phi_{i+1/2}^n + (1 - \tau)(\beta_i^n - \beta_{i+1}^n + hs'(t_{i+1/2})\Phi_{i+1/2}^n), \\ i = N - 1, N - 2, \dots, 1, \quad \beta_N^{n+1} = -\alpha, \quad \beta_0^{n+1} = \alpha - \frac{\pi}{2}, \end{cases}$$

$$\bar{r}_i^{n+1} = \bar{r}_{i-1}^{n+1} + hs'(t_{i-1/2}) \cos \beta_{i-1/2}^{n+1}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad \bar{r}_0^{n+1} = \frac{1}{L^n}, \quad (8)$$

$$\bar{z}_i^{n+1} = \bar{z}_{i+1}^{n+1} - hs'(t_{i+1/2}) \sin \beta_{i+1/2}^{n+1}, \quad i = N - 1, \dots, 0, \quad \bar{z}_N^{n+1} = 0.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Численные расчеты выполнены с применением вычислительного алгоритма (8), реализованного в пакете *Mathematica*, для фиксированных значений параметров: $V = 40000$, $\alpha = 80^\circ$, $Vo = 0$, $A_1 = 5.1$ и для различных значений безразмерной интенсивности тока в проводнике A_2 . На рис. 1 приведены формы свободной поверхности магнитной жидкости, полученные численно на равномерной и на адаптивной сетках при различных значениях параметра A_2 . На рис. 1 видно, что используемое преобразование переменных $s(t)$ сгущает узлы сетки в точке контакта свободной поверхности и проводника, что позволяет более точно определить равновесную форму при ее вытягивании вдоль проводника с током с увеличением интенсивности тока A_2 . Также по рис. 1 можно сделать вывод, что для рассматриваемых значений параметров задачи адаптация сетки с учетом кривизны свободной поверхности не влияет на точность расчетов.

На основании численных расчетов построены графики зависимостей координат граничных точек $(r_N, 0)$ и $(0, z_0)$ равновесной линии, расположенных на координатных осях, от параметра A_2 , см. рис. 2. Результаты на рис.2 качественно согласуются с результатами экспериментов в [4], предсказывающими резкое вытягивание формы вдоль проводника при значении $A_2 \approx 1.7$ с образованием пленочного покрытия проводника.

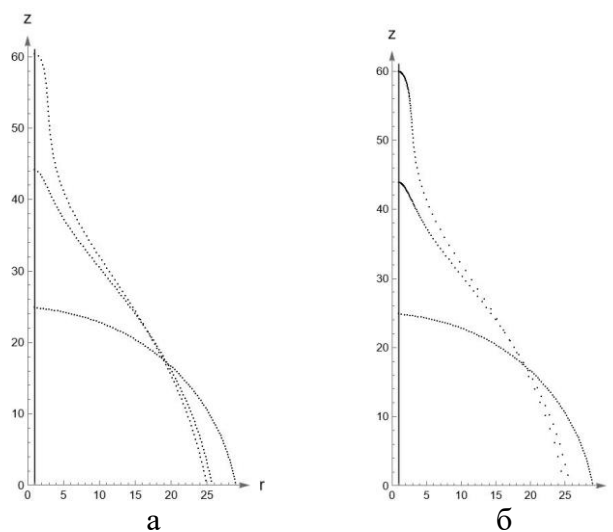


Рис 1. Равновесные формы свободной поверхности на равномерной сетке (а) и на адаптивной сетке (б) при значениях $A_2 = \{0, 1.6, 1.7\}$

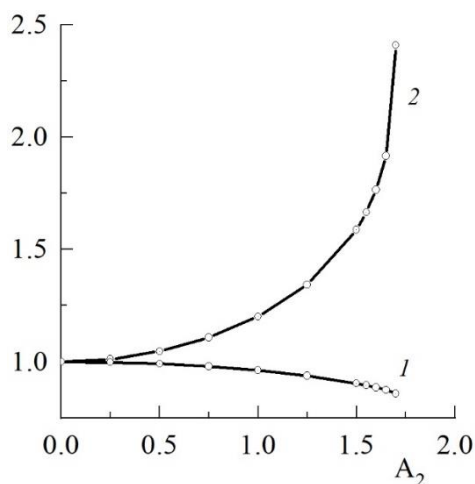


Рис. 2. Зависимости координат граничных точек: r_N от A_2 (1) и z_0 от A_2 (2)

Библиографические ссылки

1. Исследование двухсвязных равновесных форм магнитной жидкости в магнитном поле вертикального проводника / В.Г. Баитовой [и др.] // Магнитная гидродинамика. 1984. №2. С. 47–53.
2. Beresnev S., Polevnikov V., Tobiska L. Numerical study of the influence of diffusion of magnetic particles on equilibrium shapes of a free magnetic fluid surface // Commun Nonlinear Sci Numer Simulat. 2009. №14. P. 1403–1409.
3. Roberts G. O. Computational meshes for boundary layer problems // Proceedings of the Second International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics. Lecture Notes in Physics. 1971. Vol 8. New York: Springer-Verlag. P. 171–177.
4. Magnetic drop-sheath wetting transition of a ferrofluid on a wire / J.-C. Bacri [etc.] // Revue Phys. Appl. 1988. №23. P. 1017–1022.

АНАЛИЗ ДАННЫХ В МЕДИЦИНСКИХ ЗАДАЧАХ

М. Д. Гершов

michaelgershov@yandex.by;

Научный руководитель — А. В. Кушнеров, старший преподаватель

Использование средств, предоставляемых искусственным интеллектом, в медицинской сфере позволяет сократить смертность пациентов за счёт более дешёвой, однако не менее качественной диагностики и обнаружения как инфекционных, так и хронических неинфекционных заболеваний, 80% случаев прогрессирования и заболевания которыми можно предотвратить, если выявлять их на ранней стадии и оказывать своевременное лечение. Целью исследования являлось проведение качественного анализа медицинских данных для построения моделей машинного обучения ради последующего применения полученных результатов для прогнозирования наличия сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов реального медицинского учреждения. Обученная на предварительно подготовленных данных модель логистической регрессии показала удивительные 87% процентов recall-точности.

Ключевые слова: искусственный интеллект в медицине; машинное обучение; анализ данных; задача классификации; решающее дерево; случайный лес; логистическая регрессия.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема диагностики и раннего выявления различных сердечно-сосудистых заболеваний имеет большее значение для выбора тактики лечения и прогноза развития. При постановке правильного и полного кардиологического диагноза часто требуется привлечение всех шести основных методов обследования: сбор анамнеза, визуальное обследование, электрокардиография, рентгенография грудной клетки, неинвазивные графические методы исследования – эхокардиография, радионуклидное сканирование, а в ряде случаев и специальные инвазивные методы исследования такие, как катетеризация полостей сердца и ангиокардиография.

В рамках исследования не ставилась задача применения алгоритмов анализа данных для каждого вышеописанного метода. Для решения проблемы была предпринята попытка создания модели машинного обучения, которая сможет только на основе анамнеза пациента определить вероятность наличия или отсутствия у него кардиологического заболевания. Это позволит врачу уже на начальном этапе определить, стоит ли назначать дополнительные дорогостоящие

обследования или же есть смысл обратиться к специалисту другого профиля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе исследования был использован набор данных (из базы данных Кливленда), который на сегодняшний день является единственным, используемым специалистами по машинному обучению и анализу данных [1]. Выборка данных включает в себя 920 записей с данными реальных пациентов, каждая запись включает 16 атрибутов (табл.1).

Таблица 1

Описание признаков используемой в работе выборки данных

Признак	Описание
age	возраст в годах
sex	пол
dataset	место сбора данных
cp	тип боли в груди: без симптомов, отсутствие стенокардии, нетипичная стенокардия, типичная стенокардия
trestbps	кровяное давление в состоянии покоя в мм. рт. ст. при поступлении в больницу
chol	уровень сывороточного (общего) холестерина в мг/дл
fbs	уровень сахара в крови натощак > 120 мг/дл
restecg	результаты электрокардиографии в состоянии покоя: в норме, неспецифические изменения комплекса ST-T, гипертрофия левого желудочка
thalch	достигнутая максимальная частота сердечных сокращений
exang	стенокардия, вызванная физической нагрузкой
oldpeak	депрессия ST, вызванная физической нагрузкой по сравнению с отдыхом
slope	наклон пикового сегмента ST: ровный (плоский), наклонный, нисходящий склон
ca	количество крупных сосудов, окрашенных при рентгеноскопии
thal	талассемия
num	целевой признак: отсутствие сердечных заболеваний, стадии сердечных заболеваний

На первом этапе исследования была проведена первичная обработка данных: удаление дубликатов и выбросов, а также корректирование нереалистичных значений. В связи с особенностями предметной области выбросами считались данные, находящиеся на расстоянии $1.7 \times IQR$, где IQR – межквартильный интервал.

Для заполнения пропусков использовался многомерный метод, основанный на группировке коррелирующих между собой признаков и выведении внутригруппового значения. Стандартизация признаков была необходима для того, чтобы числовые данные были правильно интерпретированы моделью машинного обучения. В первом случае для кодирования категориальных переменных использовался метод One-Hot Encoder (базируется на создании из одного категориального признака множества бинарных, которые показывают принадлежность к уникальному значению), а во втором – метод Target Encoder (использует целевую переменную для кодирования категориальных признаков, т. е. категориальные значения признаков заменяются сочетанием апостериорной вероятности целевой переменной с учетом конкретного категориального значения и априорной вероятности целевой переменной по всему обучающему набору).

На этапе обучения моделей мы использовали метод главных компонент PCA [2] (взяв соответственно 3, 5, и 7 вычисленных главных компонент), однако он не смог существенно улучшить результаты обучения. Подбор гиперпараметров моделей осуществлялся методом поиска по сетке (рассмотрение определенных комбинаций гиперпараметров и выбор той, которая обеспечивает наилучшие результаты модели), который реализует функция GridSearchCV; некоторые модели обучались с гиперпараметрами по умолчанию.

В ходе исследования было обучено в общей сложности 20 моделей: 7 моделей классификатора на основе дерева принятия решений, 7 – на основе случайного леса, 6 – на основе логистической регрессии.

Для предварительной обработки данных, построения и обучения моделей машинного обучения использовался язык программирования Python и ряд специализированных, написанных на этом языке библиотек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее качественная построенная нами модель машинного обучения на основе логистической регрессии имеет следующие оценки точности (табл. 2).

Таблица 2

Результаты модели классификатора на основе логистической регрессии

	<i>precision</i>	<i>recall</i>	<i>f-1 score</i>	<i>support</i>
Здоровый	0.84	0.79	0.81	125
Больной	0.83	0.87	0.85	142

Столбец *precision* показывает долю объектов, названных классификатором положительными и при этом действительно

являющихся положительными, т. е. $\text{precision} = \text{True Positives} / (\text{True Positives} + \text{False Positives})$.

Столбец *recall* в свою очередь показывает, какой процент объектов положительного класса из всех объектов положительного класса нашел алгоритм, т. е. $\text{recall} = \text{True Positives} / (\text{True Positives} + \text{False Negatives})$.

Значения в столбце *F1-score* – это способ объединения *precision* и *recall* через вычисление среднего гармонического этих показателей, т. е. $\text{f1-score} = 2 \times (\text{precision} \times \text{recall}) / (\text{precision} + \text{recall})$.

Последний столбец *support* показывает количество экземпляров каждого класса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что создаваемые уже сегодня решения на основе искусственного интеллекта способны, возможно, с некоторыми ограничениями, решить с высокой эффективностью стоящие перед специалистами-медиками задачи о раннем обнаружении сердечно-сосудистых заболеваний и, таким образом, существенно повлиять на здравоохранение во всём мире.

Кроме того, были обнаружены некоторые особенности при использовании различных моделей машинного обучения в работе с данными, взятыми для исследования из медицинской сферы.

Библиографические ссылки

1. UCI Heart Disease Data | Kaggle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/redwankarimsony/heart-disease-data?datasetId=888463> Дата доступа: 05.07.2023.
2. Померанцев А. Л. Метод главных компонент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rsc.chemometrics.ru/ru/books/metod-glavnykh-komponent/> – Дата доступа: 05.07.2023.
3. Учебник по машинному обучению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml> – Дата доступа: 05.07.2023.
4. Диагностика ишемической болезни сердца интеллектуальной системой «АРМ-Кардиолог» / О. А. Ефремова [и др.] // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2014. №. 1.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ КЛЕТОК

Н. П. Жемойтяк

natalliazhamaitsiak@gmail.com;

*Научный руководитель — О. А. Лаврова, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Целью работы является решение обратной задачи о нахождении неизвестных параметров двух математических моделей цитотоксичности на основании данных экспериментов. Математические модели описывают взаимодействие концентраций веществ и задаются в виде динамических систем второго порядка. На основе найденных параметров математических моделей строятся предсказания, согласованные с экспериментальными данными.

Ключевые слова: математическое моделирование; динамическая система; цитотоксичность.

ВВЕДЕНИЕ

Цитотоксичность – это степень деструктивного воздействия тестируемого (лекарственного) вещества на отдельные клетки. Для описания воздействия веществ на клетки создаются математические модели, которые в некотором приближении описывают процессы изменения концентрации клеток во времени. Эти математические модели можно сопоставить с экспериментальными данными и получить важные характеристики изучаемых процессов. Разработанные вычислительные алгоритмы для решения обратных задач о нахождении параметров математических моделей можно использовать для предсказания жизнеспособности клеток под влиянием конкретного тестируемого вещества, зная его параметры цитотоксичности.

Для исследований были использованы экспериментальные данные жизнеспособности клеток печени *in vitro* при воздействии на них магнитными наночастицами SPIONs@SiO₂-PDA [1].

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

В работе рассмотрены две математические модели: Модель 1 и Модель 2, которые описывают процесс цитотоксичности клеток.

Обозначим через $C = C(t)$ концентрацию клеток печени, через $M = M(t)$ концентрацию метаболита, который образуется при воздействии на клетки печени магнитными наночастицами. Модель 1 учитывает эффекты образования и влияния токсичного метаболита на клетки печени при воздействии магнитными наночастицами с заданной концентрацией $T = const$:

$$\begin{cases} M' = \alpha T - \beta M, \\ C' = -(\delta M + \gamma)C, \\ M(t_0) = M_0, C(t_0) = C_0. \end{cases}$$

Неизвестными параметрами Модели 1 являются $\alpha, \beta, \delta, \gamma, M_0, C_0$. Модель 1 была предложена в [2], она имеет аналитическое решение, см. [3].

Модель 2 учитывает эффекты образования и влияния токсичного метаболита на клетки печени при воздействии прекурсора с заданной концентрацией $P = const$:

$$\begin{cases} M' = C(\alpha P - \beta M), \\ C' = a\left(1 - \frac{C}{k}\right)C - (\delta M + \delta_p P)C, \\ M(t_0) = M_0, C(t_0) = C_0. \end{cases}$$

Неизвестными параметрами Модели 2 являются $\alpha, \beta, a, k, \delta, \delta_p, M_0, C_0$. Модель 2 предложена в [4], она не имеет решения в аналитическом виде.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для нахождения неизвестных параметров Модели 1 была использована встроенная функция FindFit из пакета Mathematica с учетом известного аналитического решения Модели 1. Неизвестные параметры $\gamma, \mu := \alpha\delta$ и β были найдены для заданных значений параметров $\alpha = \frac{0.1}{24}$ 1/ч, $M_0 = 0, C_0 = 1, t_0$ в два этапа:

1. сначала параметр γ был предсказан по набору экспериментальных данных при отсутствии первичного вещества ($T = 0$);
2. затем параметры μ и β были предсказаны по нескольким наборам данных для различных ненулевых значений первичного вещества с учетом предсказанного значения γ на первом этапе.

Результаты расчетов на основе Модели 1 для экспериментального набора данных «Lum spions», начиная с $t_0 = 6$ ч, представлены в табл. 1–2 для предсказанных значений параметров и на рис. 1 для предсказанной функции концентрации клеток печени $C(t)$ при различных значениях T .

Таблица 1

Предсказанное значение неизвестного параметра γ Модели 1

Данные	$t_0, \text{ч}$	$\gamma, \text{ч}^{-1}$	R^2
Набор «Lum spions»	6	-0.0145289	0.7258

Таблица 2

Предсказанные значения неизвестных параметров μ и β Модели 1

Данные	t_0 , ч	μ , ч ² мМ ⁻¹	β , ч ⁻¹	R^2
Набор «Lum spions»	6	0.00225	$3.995 \cdot 10^{-8}$	0.74887

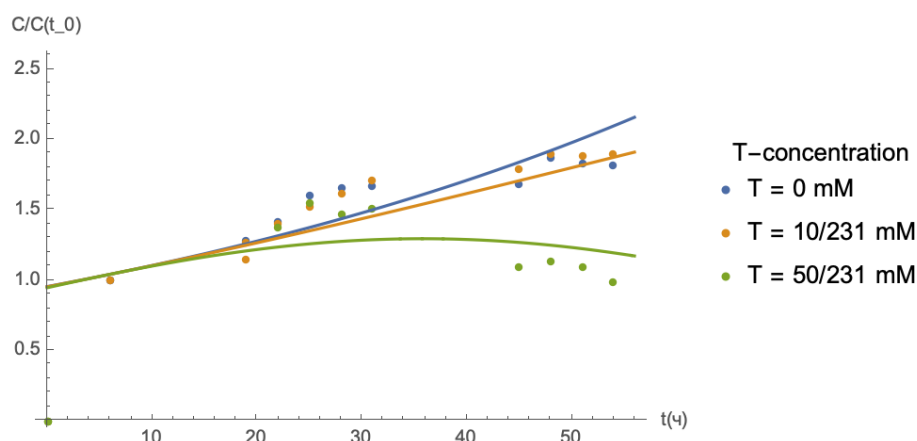


Рис 1. Данные экспериментального набора «Lum spions» для различных значений концентрации магнитных наночастиц T (точечные маркеры) и графики предсказаний изменения концентрации клеток печени $C(t)$ на основе Модели 1 (сплошные линии)

Для нахождения неизвестных параметров Модели 2 была использована встроенная функция NonLinearModelFit из пакета Mathematica с учетом численного решения Модели 2 с помощью встроенной функции NDSolve. Неизвестные параметры β , a , k , δ , δ_p были найдены для заданных значений параметров $\alpha = \frac{0.1}{24}$ 1/ч, $M_0 = 0$, $C_0 = 1$, t_0 . Результаты расчетов на основе Модели 2 для экспериментального набора данных «Lum spions», начиная с $t_0 = 6$ ч, представлены в табл. 3 для предсказанных значений параметров и на рис. 2 для предсказанной функции концентрации клеток печени $C(t)$ при различных значениях P .

Таблица 3

Предсказанные значения неизвестных параметров Модели 2

Данные	t_0 , ч	a , ч ⁻¹	β , ч ⁻¹	k , мМ	δ , ч ⁻¹ мМ ⁻¹	δ_p , ч ⁻¹ мМ ⁻¹	R^2
Набор «Lum spions»	6	0.056	0	2.12	0.98	-0.03	0.996

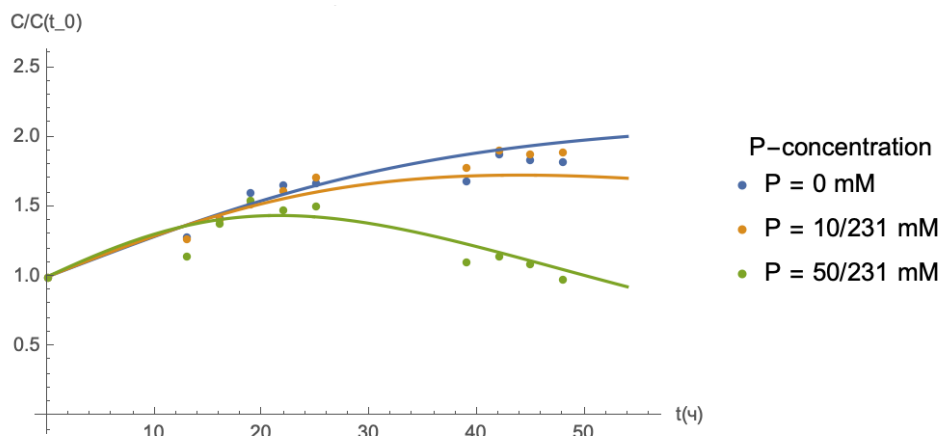


Рис. 2. Данные экспериментального набора «Lum spions» для различных значений концентрации прекурсора P (точечные маркеры) и графики предсказаний изменения концентрации клеток печени $C(t)$ на основе Модели 2 (сплошные линии)

По значению коэффициента детерминации R^2 (чем ближе значение к единице, тем лучше соответствие математической модели данным), см. табл. 1–3, можно сделать вывод, что Модель 2 лучше описывает процесс цитотоксичности клеток, представленный экспериментальными данными, чем Модель 1. По графикам на рис. 1–2 можно сделать аналогичный вывод, что предсказания Модели 2 лучше согласуются с экспериментальными данными, чем предсказания Модели 1.

Библиографические ссылки

1. Synthesis and Characterization of a Biocompatible Nanoplatfom Based on Silica-Embedded SPIONs Functionalized with Polydopamine / *M. Romano [etc.]* // ACS Biomater. Sci. Eng. 2023. Vol. 9, №1. P. 303–317.
2. *Yeon J., Na D., Park J.* Hepatotoxicity assay using human hepatocytes trapped in micro-holes of a microfluidic device // *Electrophoresis*. 2010. Vol. 31. P. 3167–3174.
3. *Жемойтяк Н.* Математическое моделирование цитотоксичности // Курсовая работа, 2022.
4. Mathematical prediction of polydopamine-coated silica-embedded SPIONs biocompatibility / *V. Goranov [etc.]* // International Conference on Bioinformatics, Biomedicine, Biotechnology and Computational Biology (EUC3BCB). 27th – 28th June 2023 Pilsen, Czech Republic. Принято к опубликованию.

БИЗНЕС-АНАЛИЗ ОБЛАЧНОГО БИЛЕТНОГО ОПЕРАТОРА

Д. Е. Кирилло

kiryla.dzmitry@gmail.com;

Научный руководитель — К. Г. Атрохов, старший преподаватель

Работа посвящена анализу рынка билетных операторов и проектированию веб-сервиса по продаже билетов в онлайн режиме. Целью исследования являлся бизнес-анализ облачного билетного оператора. В работе проанализирован мировой рынок билетных операторов, выполнен подробный сравнительный и SWOT-анализ билетных сервисов России и Беларуси. Описана концепция и видение будущего продукта, его бизнес-модель, а также цели проекта, сопряженные риски и пути их разрешения. Проведен расчет Unit-экономики сервиса. Выделены профили заинтересованных лиц и доступные им функции. Описаны функциональные и нефункциональные требования к сервису. Созданы прототипы пользовательского интерфейса.

Ключевые слова: бизнес-анализ; бизнес-процесс; билетный оператор; анализ билетного рынка; спецификация требований к программному обеспечению; SWOT-анализ; Unit-экономика; пользовательский интерфейс.

ВВЕДЕНИЕ

Количество продаваемых культурно-массовых мероприятий в последние годы неуклонно растет, превысив даже показатели до пандемии COVID-19. В разгар коронавирусной инфекции, на фоне отмены офлайн-мероприятий, стремительно росло и количество событий в сети Интернет.

Сегодня организаторы уже не опасаются онлайн-формата и в общей онлайн-массе встречаются не только лекции и семинары, но и конференции, круглые столы и даже концерты с живой музыкой.

В то же время количество очных мероприятий постепенно увеличивается и для таких событий необходим специальный сервис, способный продавать билеты на разнообразные виды развлечений.

С целью объединения двух форматов мероприятий, было решено спроектировать билетный сервис, который бы позволял продавать билеты как на очные события, так и на онлайн-мероприятия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении исследования использовались всемирно признанные стандарты в области бизнес-анализа и разработки требований к программному обеспечению: «BAВОК. Руководство к своду знаний по бизнес-анализу» Международного института бизнес-анализа и «Разработка требований к программному обеспечению» К. Вигерса и Д. Битти [1, 2].

Методология бизнес-анализа облачного билетного оператора состоит из следующих этапов: анализ предметной области и конкурентов, разработка первоначальной концепции продукта, выявление и описание заинтересованных лиц сервиса, выявление бизнес-требований, анализ финансовой эффективности разрабатываемого бизнеса, определение доступных функций продукта для участников сервиса, описание функциональных и нефункциональных требований продукта, а также прототипирование пользовательского интерфейса сервиса.

Для исследования мирового билетного рынка и сравнительного анализа конкурентов использовались данные, собранные с различных источников информации в сети Интернет, в частности, со статистического ресурса statista.com.

Анализ финансовой эффективности разрабатываемого бизнеса проводился с использованием метода экономического анализа на основе Unit-экономики [3].

Прототипирование каркасов веб-сайтов с графическим интерфейсом пользователя проводилось с использованием приложения Balsamiq Wireframes.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе бизнес-анализа облачного билетного оператора исследован мировой рынок по продаже билетов на мероприятия по итогам которого было показано, что данный вид рынка продолжает динамично развиваться, при этом автоматизация процессов и использование облачных технологий в билетной индустрии позволяет существенно оптимизировать процессы продажи, управления и организациями билетами, а также улучшить взаимодействие как с организаторами мероприятия, так и со зрителями, позволяя им легко и удобно приобретать билеты на развлечения из любой точки мира.

Было выделено два основных региона для анализа конкурентов в сфере продаже билетов на мероприятия: Республика Беларусь и Российская Федерация. В данной секции были рассмотрены принцип работы билетных сервисов в данных странах, а также проведен сравнительный и SWOT-анализ конкурентов, которые показали преимущества и недостатки рассматриваемых сервисов.

Для описания назначения разрабатываемого сервиса и обобщения целей было написано положение о концепции проектируемой системы:

«Для организаторов мероприятия, которые желают оптимизировать процесс продажи билетов и улучшить пользовательский опыт своих клиентов. Этот сервис является облачным билетным оператором, который позволяет размещать, продавать и покупать билеты на культурно-

массовые мероприятия. Сервис предоставит возможность управления продажами билетов и информацией о мероприятиях, в том числе позволит организаторам мероприятий быстро и легко создавать и редактировать финансовую отчетность мероприятий, что повысит уровень эффективности работы организаторам мероприятий. Облачный билетный оператор позволит получать статистические данные для анализа и улучшения своих мероприятий, оптимизирует процесс продажи билетов, а также гарантирует безопасность данных зрителей и организаторов. В отличие от действующих и традиционных билетных операторов наш продукт позволяет организаторам мероприятий быстро создавать мероприятия, включая виртуальные, управлять ими, организовывать продажу билетов посетителям, а также осуществлять контролируемую передачу некоторых функциональных возможностей третьим лицам».

Выделено семь основных групп заинтересованных лиц в облачном билетном операторе на мероприятия: владелец сервиса, организаторы мероприятий, зрители, администраторы мероприятий, техническая поддержка, кассиры и бухгалтеры. Для перечисленных заинтересованных лиц были рассмотрены такие пункты для анализа, как основная ценность, отношение, основные интересы и ограничения.

Для сервиса построена бизнес-модель по методу А. Остервальдера и И. Пинье [4], состоящая из девяти секций: ключевые партнеры, процессы, ресурсы, достоинства предложения, отношения с клиентами, сегменты целевой аудитории, каналы взаимодействия, структура издержек и источники доходов. В качестве основных источников доходов для сервиса были выделены: комиссионные и сервисные сборы, партнерские программы, услуги по продвижению события, дополнительный функционал под запрос организатора, а также реклама мероприятий в сервисе.

Выделено 16 основных высокоуровневых бизнес-целей, описанных по правилу SMART, которые необходимо достичь для успешного запуска. После определения основных бизнес-целей проекта были предусмотрены и основные бизнес-риски, которые, по своей степени, могут повлиять на дальнейшее развитие и успех сервиса. Каждый риск оценивался по двум критериям: вероятность риска по шкале от 0.1 до 1.0 и возможный ущерб для проекта по шкале от 1 до 10. Также были приведены пути разрешения для основных бизнес-рисков.

В результате проведения анализа финансовой эффективности бизнеса на основе Unit-экономики два важных показателя Life Time Value (LTV, пожизненная ценность клиента) и Customer Acquisition Cost (CAC, стоимость привлечения клиента) получились равными 12.816\$ и 0.89\$ соответственно. Таким образом, эмпирическое неравенство $LTV > 3 \times CAC$

выполняется и, следовательно, Unit-экономика для проектируемого сервиса сошлась. Это означает, что доходы, получаемые от каждой транзакции превышают затраты, связанные с ее производством или предоставлением. В такой ситуации наш бизнес получает положительную маржу и может считаться прибыльным.

Функциональные возможности системы описаны в формате пользовательских историй с критериями приемки для зрителя и организатора мероприятий. Также были выделены основные нефункциональные требования для проектируемого сервиса.

Для наглядной визуализации проектируемого сервиса созданы прототипы пользовательского интерфейса: для зрителя рассматривалась версия персонального компьютера, а для организатора мероприятия визуализировано специализированное мобильное приложение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был проведен бизнес-анализ сервиса по продаже билетов на культурно-массовые мероприятия. В процессе исследования и изучения данной области были рассмотрены как теоретические аспекты бизнес-анализа, так и практическая часть, связанная с анализом билетного рынка и проектированием облачного билетного оператора.

Результаты и материалы работы могут быть полезны специалистам, работающим на рынке билетных операторов, а также для проектирования схожих по функциональности сервисов.

Библиографические ссылки

1. Международный институт бизнес-анализа. Руководство к своду знаний по бизнес-анализу. 3-е изд. – Москва: ПВА, 2015. 615 с.
2. *Вигерс Карл, Битти Джой*. Разработка требований к программному обеспечению. 3-е изд. Москва: Русская редакция, 2014. 716 с.
3. Юнит-экономика: как её рассчитать и оценить успешность бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kontur.ru/compass/spravka-compass/22581-yunit_ekonomika_kak_eyo_rasschitat_i_ocenit_ushpeshnost_biznesa#header_22581_5 – Дата доступа: 26.02.2019.
4. *Остервальдер А., Пинье И*. Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора. – Москва: Альпина Паблишер, 2011. 288 с.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕЛА С КРУГОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ, С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

А. А. Левый

levand2001@mail.ru;

Научный руководитель — М. А. Журавков, доктор физико-математических наук, профессор

В статье исследуется критерий пластичности, который можно использовать как дополнительный метод контроля перехода материала в состояние пластического течения. Рассматривается задача всестороннего симметричного растяжения плоскости с круговым отверстием. Она же может применяться для оценки состояния подрабатываемого массива горных пород, зачастую представляющего из себя пористую структуру, а также различных компонентов техники, произведенной также из неоднородных пористых материалов. Задача решается в общем виде, что позволяет получать численные значения характеристик напряженного состояния и геометрических параметров областей пластичности для различных критериев пластичности.

Ключевые слова: упругопластическое поведение; критерии пластичности; чувствительность пластических свойств; математическое моделирование; конечно-элементное моделирование; пористость.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим задачу об определении напряженного состояния в бесконечной плоскости с круговым отверстием (рис. 1), при всестороннем равномерном растяжении. При этом рассмотрим различные параметры пластического течения среды, а также условия пластичности при которых учитывается зависимость пластических свойств материала от его напряженного состояния.

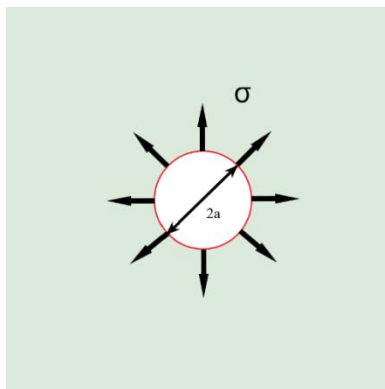


Рис. 1. Плоскость с круговым вырезом радиуса a и радиальными усилиями

ЗАДАНИЕ КРИТЕРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И РЕШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Для изотропных материалов критерий и условия пластичности задаются с помощью функций, зависящих от трех инвариантов тензора напряжений. В рассмотренном случае третьим инвариантом можно пренебречь, так как он оказывает существенно меньшее влияние по сравнению со вторым инвариантом. Поэтому при установленной зависимости от напряженного состояния условие пластичности [1] можно записать в виде (1):

$$F(\xi) = f(\xi)\sigma_0 = k, \quad (1)$$

где σ_0 – интенсивность касательных напряжений, S_{ij} – девиатор тензора напряжений, σ – среднее напряжение, $\xi = \sigma / \sigma_0$. При этом сама функция пластичности $f(\xi)$ не зависит от вида нагружения и исходя из этого можно устанавливать зависимость любых пластических характеристик для различных типов нагружения. Для условия плоского напряженного состояния $\sigma_{i3} = 0$, с учетом отсутствия массовых сил можно записать следующую систему уравнений (2) для определения напряженного состояния в пластической области:

$$\begin{aligned} \sigma_{11,1} + \sigma_{12,2} &= 0, \\ \sigma_{21,1} + \sigma_{22,2} &= 0, \\ f(\xi)(\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} + 3\sigma_{12}^2)^{1/2} &= k. \end{aligned} \quad (2)$$

Из-за симметричного нагружения сдвиговые напряжения отсутствуют. В этом случае уравнение равновесия записывается в виде (3) из-за отсутствия массовых сил и касательных напряжений:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0. \quad (3)$$

В свою очередь интенсивность напряжений и функцию пластичности запишем в цилиндрических координатах и получим критерий пластичности в следующем виде (4):

$$f(\sigma_r, \sigma_\varphi) \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\varphi^2 - \sigma_r \sigma_\varphi} = k. \quad (4)$$

Теперь выберем линейную функцию пластичности (5) и подставив ее в (4) получим уравнение (6), где C – чувствительность пластических свойств материала к виду напряженного состояния [2]:

$$f(\xi) = 1 + C\xi. \quad (5)$$

$$\sigma_r^2 + \sigma_\varphi^2 - \sigma_r \sigma_\varphi = \left(k - \frac{C}{3} (\sigma_r + \sigma_\varphi) \right)^2. \quad (6)$$

Так же исходя из прикладываемых нагрузок и физико-механических свойств самого тела можно подбирать различные вариации функции пластичности, как пример, функция (7), которая основана на условии пластичности Грина $\sigma_0^2 + C\sigma^2 = k^2$ и применима для пористых тел, для аналогичного нагружения, где через параметр C можно учитывать пористость материала.

$$f(\xi) = \sqrt{1 + C\xi^2}. \quad (7)$$

Далее из уравнения (6) найдем зависимость $\sigma_\varphi(\sigma_r)$ и подставим ее в уравнение (3), после чего получаем выражение (8)

$$r \frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{-(1 - 4C^2/9)\sigma_r - 2kC/3 \pm \sqrt{4k^2 - 4Ck\sigma_r + 3(1 - 4C^2/9)\sigma_r^2}}{2(1 - C^2/9)}. \quad (8)$$

При этом $|C| < \frac{3}{2}$, а решение для напряжений σ_φ берем для рассматриваемой нами области, $r/a \geq 1$. Проинтегрировав по частям уравнение (8) получим уравнение (9) отображающее распределение напряжений в рассматриваемом теле, при этом обезразмерим напряжения, найдя отношения их к условию пластичности k , и расстояние от отверстия, найдя отношение к a .

$$\begin{aligned}
\text{Ln} \frac{r}{a} = & - \frac{3 \text{Arc Tan} \left[\frac{Ck}{\sqrt{3 - \frac{4C^2}{3}} \sqrt{k^2}} \right]}{2 \sqrt{3 - \frac{4C^2}{3}}} + \frac{3 \text{Arc Tan} \left[\frac{6Ck + 9\sigma_r - 4C^2\sigma_r}{\sqrt{9 - 4C^2} \sqrt{12k^2 - 12Ck\sigma_r + (-9 + 4C^2)\sigma_r^2}} \right]}{2 \sqrt{3 - \frac{4C^2}{3}}} + \\
& + \frac{1}{4} \text{Arc Tanh} \left[\frac{(-6 + C)k}{(-3 + 2C)\sqrt{k^2}} \right] - \frac{1}{4} \text{Arc Tanh} \left[\frac{(6 + C)k}{(3 + 2C)\sqrt{k^2}} \right] + \\
& - \frac{1}{4} \text{Arc Tanh} \left[\frac{2(-6 + C)k + 3(-3 + 2C)\sigma_r}{(-3 + 2C)\sqrt{4k^2 - 4Ck\sigma_r + \frac{1}{3}(-9 + 4C^2)\sigma_r^2}} \right] + \\
& + \frac{1}{4} \text{Arc Tanh} \left[\frac{2(6 + C)k - 3(3 + 2C)\sigma_r}{(3 + 2C)\sqrt{4k^2 - 4Ck\sigma_r + \frac{1}{3}(-9 + 4C^2)\sigma_r^2}} \right] + \\
& + \frac{1}{2} \text{Log}[3k] - \frac{1}{4} \text{Log}[3k - 3\sigma_r - 2C\sigma_r] - \frac{1}{4} \text{Log}[3k + 3\sigma_r - 2C\sigma_r].
\end{aligned}$$

(9)

Для определения распределения окружных напряжений σ_φ в теле по аналогии из уравнения (6) найдем уже зависимость σ_r (σ_φ) и подставляем ее в уравнение равновесия (3), при этом рассматриваются две области решения, где σ_φ принимает различные решения, но на которых выполняется условие $r/a \geq 1$. Само распределение получим подставив полученную зависимость σ_r (σ_φ) в (9).

Исходя из уравнения (9) можно рассмотреть различное распределение напряжений σ_r и σ_φ в рассматриваемом теле при различных вариациях коэффициента C .

ПОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК

График, приведенный на рисунке 2, полученный с помощью системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, отображает зависимость радиальных и окружных напряжений в безразмерном виде от коэффициента C , через который, как упоминалось ранее, можно вводить чувствительность материала к пластическим деформациям. Исходя из результатов представленных на рисунке 3, было получено численное решение для полей характеристик в программном комплексе COMSOL Multiphysics, непосредственно применимых к решаемой задаче.

При сравнении полей характеристик в обезразмеренном виде (рис. 2) и для численного решения (рис. 3) можно заметить соответствие поведения распределений рассматриваемых соотношений.

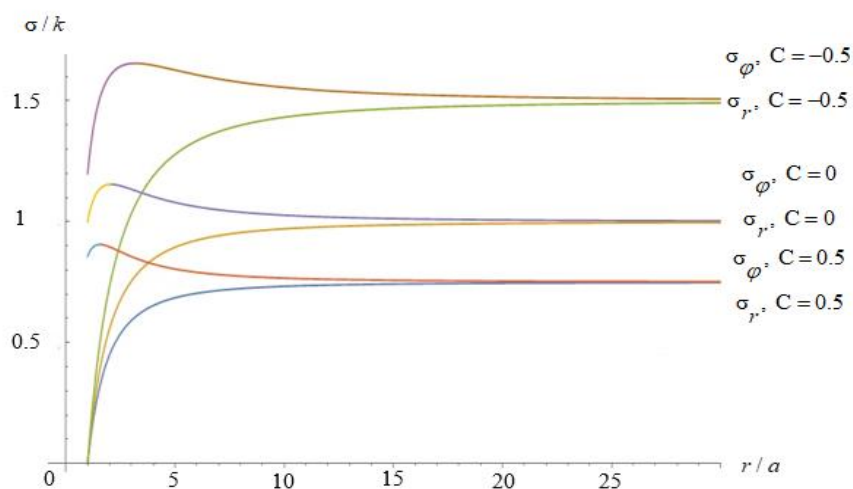


Рис. 2. График поля характеристик показывающий распределения отношения напряжений к условию пластичности вблизи кругового выреза

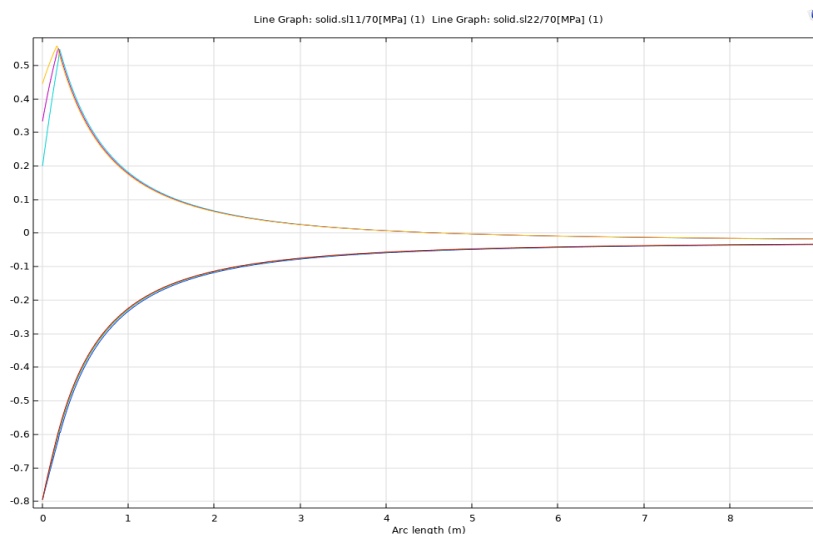


Рис. 3. Распределение отношения окружных и радиальных напряжений к пределу пропорциональности при чувствительностях $C = 0.5$, $C = 0$ и $C = -0.5$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получено аналитическое решение задачи об определении НДС плоскости с круговым отверстием на поверхность которого действует равномерно распределенное давление. Исследована зависимость распределения напряжений от значения чувствительности пластических свойств материала, которую можно рассматривать в качестве характеристики пористости для неоднородных материалов.

Показано, что распределение напряжений существенно зависит от этого параметра. Задача решена в общем виде, что позволяет использовать широкий спектр критериев пластичности для получения численных значений характеристик напряженного состояния и размеров пластических областей. Также, реализовано численное решение задачи о всестороннем симметричном растяжении плоскости с круговым отверстием в условии плоского напряженного состояния.

Библиографические ссылки

1. *Ломакин Е.В., Минаев Н.Г.* Поля напряжений вблизи кругового отверстия в пористой среде в условиях плоской деформации // *Механика твердого тела.* 2020. №3. С. 39-47.
2. *Ломакин Е.В., Мельников А.М.* Пластическое плоское напряженное состояние тел, свойства которых зависят от вида напряженного состояния // *Вычислительная механика сплошных сред.* 2009. Т. 2, № 2. С. 48–64.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПОЕЗДОК В ТАКСИ

А. С. Марус

11115marus@gmail.com;

*Научный руководитель — Л. Л. Голубева, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Современный мир ежедневно генерирует огромное количество данных, которые хранятся в цифровых форматах, постоянно анализируются и обрабатываются. Обостряющаяся конкурентная борьба в различных областях человеческой деятельности делает крайне востребованным экспертное использование имеющихся данных, что позволяет повысить обоснованность и оперативность принятия грамотных и эффективных управленческих решений. Активно проводятся исследования, связанные с высокопроизводительной интеллектуальной аналитической обработкой данных, направленные на то, чтобы оперативно извлекать ценные, часто скрытые, экспертные знания из больших массивов накопленных и поступающих данных. В статье рассматривается интеллектуальный анализ статистических данных на примере поездок в такси.

Ключевые слова: статистические данные; обработка данных; интеллектуальный анализ данных; поездки в такси; факторы; признаки; Python.

ВВЕДЕНИЕ

Служба такси является неотъемлемой частью жизни сегодняшнего общества. Организация такой службы требует централизованного сбора и обработки значительного объема информации, необходимой для оперативной работы. Таким образом, имеется необходимость повысить эффективность использования данных, выявить из стандартного их набора дополнительную информацию и тем самым облегчить процесс принятия решений. Для интеллектуального анализа стоимости такси были взяты данные о поездках в такси Нью-Йорка за определенный год. Желтые такси имеют право брать пассажиров по всему городу, который для служб такси разделен на 263 зоны, но фактически циркулируют на Манхэттене, до 125-й улицы [2].

Данные, используемые в данной статье, представляют собой 12 файлов в формате Parquet, содержащих информацию о поездках за соответствующий месяц года. Каждый файл представляет собой таблицу из 19 столбцов и около 12 000 000 строк. Записи о поездках в такси включают поля, в которых указаны даты, время и зоны посадки и высадки пассажиров, расстояния поездки, детализированные тарифы, типы

тарифов, типы платежей и количество пассажиров, о которых сообщает водитель [1].

ЧТЕНИЕ И ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ

Для качественной обработки данных требуется собрать 12 таблиц в одну и провести анализ годовой таблицы. Для считывания данных в Python используется функция `parquet_read` [3]. Итоговая таблица состоит из 19 столбцов и около 150 000 000 строк.

Для дальнейшей работы требуется подготовить данные, а именно удалить столбцы, не несущие полезной для анализа стоимости такси информации. Это данные, указывающие на то, сохранилась ли запись о поездке, тип оплаты и чаевые. Данные об `id` зоны посадки и высадки пассажиров представляют интерес и в дальнейшем могут использоваться для анализа, но в данной работе они не учитывались и были удалены. Также были выявлены столбцы, не содержащие никакой информации, поэтому они были удалены. В целях сокращения памяти тип данных `int64` был приведен к `int8`, а `float64` к `float16`. Данные типа `object` были удалены.

Часто большие массивы данных имеют пропуски. Отсутствующие данные объектов можно заменить конкретными числовыми значениями, для этого можно использовать метод `fillna()`.

Последний этап предобработки данных – удаление выбросов. Выброс – это элемент/объект данных, который значительно отличается от остальных объектов. Они могут быть вызваны ошибками измерения или выполнения. В представленных данных были удалены отрицательные значения и 0.1% максимальных значений.

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПРИЗНАКОВ

Для качественного анализа стоимости поездок необходимо выделить или синтезировать признаки, которые существенно влияют на стоимость поездки, например, поездки в часы пик, длительность поездки.

Час пик бывает всегда утром при поездке на работу, в обеденное время и вечером при возвращении с работы. В вечерний час пик пассажиры переплачивают за простой в заторах до трети стоимости поездки. Дешевле всего обходится такси ночью, несмотря на более дорогой тариф – как раз из-за отсутствия пробок.

Длительность поездки – один из самых главных признаков формирования стоимости поездки в такси. Зная время посадки и высадки пассажиров, находим длительность поездки. После получения новых признаков, появились выбросы по длительности поездки. Поэтому вновь были удалены отрицательные значения и 0.1% максимальных значений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЗНАКОВ НА СТОИМОСТЬ ПОЕЗДОК

Поездка в такси происходит, как правило, по таксометру. Стоимость одного километра пути у всех компаний разная. Таким образом, имеем переменную составляющую: цена в данном случае зависит от двух факторов: длительность маршрута и стоимости одного километра в пути в выбранной компании (рис. 1).

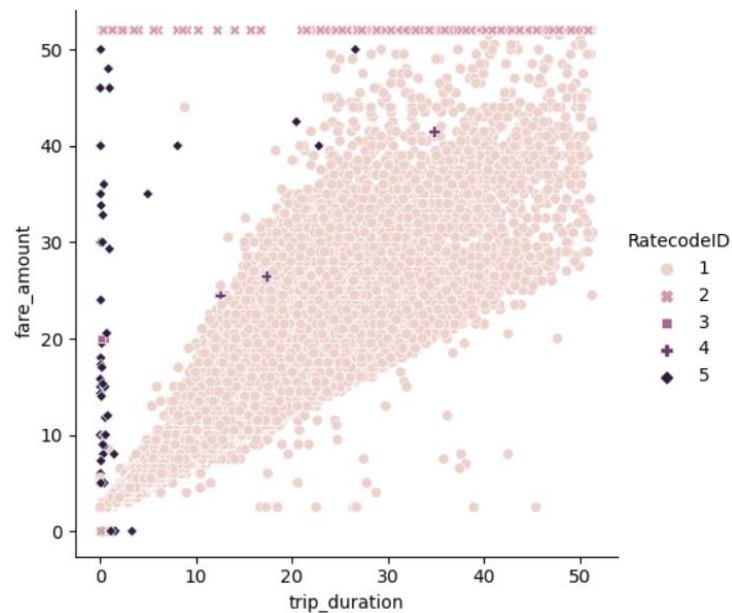


Рис. 1. Зависимость стоимости от длительности по признаку типа поездки RatecodeID:

1 – Standard rate (стандартный тариф); 2 – JFK (аэропорт J.F.Kennedy);
3 – Newark (аэропорт Newark); 4 – Nassau or Westchester (округа Nassau и Westchester); 5 – Negotiated fare (договорной тариф)

Наибольшее количество поездок приходится на стандартный тариф, где стоимость поездки плавно растет с увеличением длительности и варьируется вероятнее всего из-за времени суток и времени года.

Поездки между районами Нью-Йорка и аэропортами варьируются незначительно либо имеют одинаковую стоимость.

Стоимость поездок по одному и тому же маршруту в течение суток сильно колеблется. На разницу в стоимости поездок влияет спрос. Количество поездок в течение суток сильно варьируется, что создает так называемый час пик. Наивысший спрос на такси приходится на вечернее время (16:00-20:00), когда люди едут с работы домой. Меньше всего спрос на такси поздней ночью (00:00-04:00).

Изображение медианных значений стоимости, дальности и длительности поездки поможет определить зависимость этих данных от типа поездки (рис. 2).

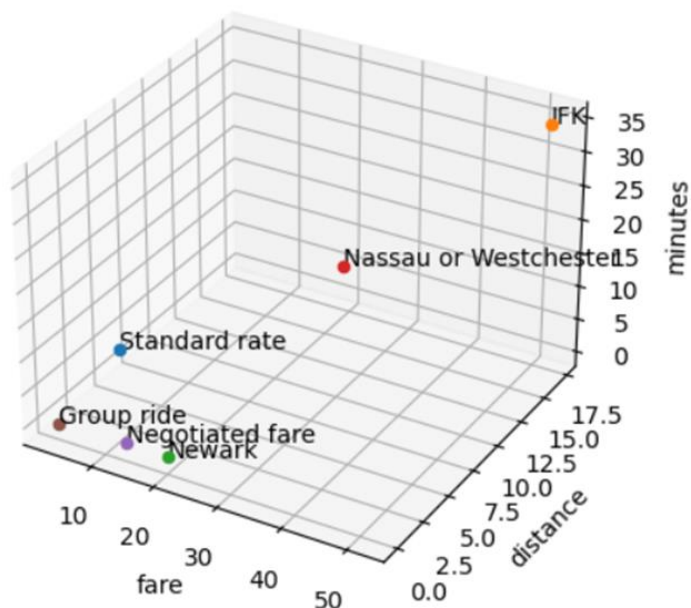


Рис. 2. Медианные значения стоимости, дальности и длительности поездки в зависимости от типа поездки RatecodeID: Standard rate – стандартный тариф; JFK – аэропорт J.F.Kennedy; Newark – аэропорт Newark; Nassau or Westchester – округа Nassau и Westchester; Negotiated fare – договорной тариф

Можно сделать вывод, что самые дорогие, дальние и долгие поездки – это поездки из/в аэропорт. Стандартные поездки являются, как правило, самыми дешевыми и короткими.

Таким образом, в процессе анализа было выявлено, что на стоимость проезда в такси влияют не только пробег и время, но и другие факторы, такие как погодные условия, утренние и вечерние часы пик, а также тип поездки.

Библиографические ссылки

1. TLC Trip Record Data [Electronic resource]. Mode of access: <https://www1.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page> – Date of access: 12.03.2023.
2. Sripathi Mohanasundaram. Newyork Yellow Taxi Trip Data [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.kaggle.com/datasets/microize/newyork-yellow-taxi-trip-data-2020-2019> – Date of access: 12.03.2023.
3. Pandas documentation [Electronic resource]. Mode of access: <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/index.html> – Date of access: 04.04.2023.

УРОВНИ УСВОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ УЧАЩИМИСЯ И СТУДЕНТАМИ НА ПРИМЕРЕ ТЕМ «МОДУЛЬ ЧИСЛА», «ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ»

С. В. Мордачёв

stepan9267473@mail.ru;

*Научный руководитель — Н. В. Бровка, доктор педагогических наук, кандидат
физико-математических наук, профессор*

В данной статье была проделана работа по обобщению проблемы выделения уровней усвоения математического содержания учащимися и студентами. Разработаны письменные и тестовые задания по темам «Модуль числа», «Основные методы интегрирования» в помощь учителям и преподавателям.

Ключевые слова: контроль знаний; диагностирование умений обучающихся; уровни усвоение материала; дифференцирование заданий.

Эффективность обучения диагностируется в результате контроля за усвоением обучающимися содержания обучения. Контроль может осуществлять учитель (преподаватель) или сам обучающийся (самоконтроль). Существуют стандартные методы, позволяющие проверить учителю знания, навыки и умения обучающихся по определённой теме: устный опрос, написание письменных работ, тестирование с помощью технических средств (например, с помощью компьютера) и др.

При обучении математике, как правило, при устном опросе оценивается только теоретическая часть материала (знания). А навыки и умения проверяются как раз посредством письменных работ. Для того, чтобы выявить, насколько осознанными у учеников являются знания теоретических положений математики, задания какого уровня сложности по силам тому или иному ученику, важно определить, какие уровни усвоения математического содержания обучающимися представлены в теории и методике обучения математике. Необходимо отметить, что существуют различия в уровнях усвоения знаний учащимися и студентами, хоть и речь идёт об одной науке – математике. Всё зависит от разной специфики обучения в средней и высшей школе. В средней школе нет такого объёма теоритического материала, как в вузе.

Изучение и сравнительный анализ работ известных учёных, занимающихся выделением уровней усвоения учебного материала (Б. Блум [1], В. П. Симонова [2], В. П. Беспалько [3] и др.), позволило заключить, что для учащихся удобнее всего выделить пять уровней

(этапов) усвоения материала: узнавание, запоминание, понимание, применение и оперирование.

Для учащихся по теме «Модуль числа» нами разработаны тестовые задания, которые можно инициализировать в специальных программах и веб-сайтах с целью определения уровня подготовки учащихся.

Например, задания для диагностики знаний учащихся 6 класса на уровне «узнавание» могут включать вопросы.

1. Среди чисел: $+3$; $-2,5$; $-\frac{3}{17}$; 5 ; 0 ; $-7,01$; $8\frac{7}{11}$; $+0,6$; -9 — выберите

положительные.

2. Укажите верную запись числа «тринадцать целых двести одна тысячная»: а) $13,201$; б) $13,0201$; в) $13,0021$; г) $13,210$.

На уровне «запоминание».

3. Дайте определение понятия «множество целых чисел».

4. Вставьте вместо многоточия (...) знак «<», «=» или «>», чтобы запись $0 \dots -9$: (-10) была верной.

На уровне «понимание».

5. Округлите десятичную дробь $129,98271$ до: а) десятых; б) десятитысячных.

6. Найдите значение выражения, используя правило умножения или деления на разрядную единицу: а) $611 \cdot 0,001$; б) $1,7 \cdot 100$; в) $4,5 : 1000$; г) $0,095 : 0,0001$.

На уровне «применение».

7. Найдите значение выражения $-0,04 \cdot \frac{4}{5} \cdot 25 \cdot \left(-1\frac{1}{4}\right)$.

8. Найдите среднее арифметическое целых чисел, которые расположены на координатной прямой между числами $-6,2$ и $10,9$.

На уровне «оперирование».

9. Даны числа a , b , c и d . Известно, что $ab < 0$, $\frac{b}{c} > 0$, $cd < 0$.

Определите знак частного $d : a$.

10. Решите уравнение $-5\left|\frac{x}{16} - 1\right| + 4\frac{1}{6} - 3\left|\frac{x}{16} - 1\right| = 1\frac{2}{3}$.

В отношении обучения математике студентов Н. В. Бровка [4] выделила четыре уровня усвоения математического содержания: ознакомление и осмысление, репродукция, продуктивность, творчество.

Исходя из вузовской системы оценивания, те, у кого стоят отрицательные оценки (1, 2 или 3), не до конца ознакомились и осмыслили учебный материал или вовсе ничего не сделали для этого (т.е. они не

дошли до второго или вовсе до первого уровня). Их отправляют на пересдачу, чтобы дать шанс ещё раз осмыслить учебный материал и научиться решать типовые задания, использовать знания в знакомой ситуации. В лучшем случае, так нужно делать в течение всего семестра при написании каких-либо работ, пока студент не напишет на положительную оценку. В противном случае, зачем держать студента, который ничего не хочет добиться в изучаемом предмете?

В этом случае целесообразно создать такую диагностическую работу (можно с использованием компьютера), при прохождении которой становится ясно, прошёл ли студент первый и второй этапы усвоения математического содержания, тем самым преподавателю до экзамена или до зачёта будут видны те, с кем ему приходится иметь дело.

Для студентов по теме «Основные методы интегрирования» мы как раз и разработали тестовые задания, позволяющих понять, дошёл ли студент до второго уровня. Ниже представлены некоторые из них.

1. Как называется операция нахождения первообразной?
2. Что называется подынтегральным выражением в формуле неопределённого интеграла $\int f(x)dx = F(x) + C$?

3. Укажите верные равенства:

а) $\int -\frac{\sin x}{6} dx = -\frac{\cos x}{6} + C$;

в) $\int \frac{dx}{x^2 + 4} = \frac{1}{4} \operatorname{arctg} \frac{x}{2} + C$;

б) $\int 2^x dx = \frac{2^x}{\ln 2} + C$;

г) $\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C$.

4. Найдите все первообразные функции $f(x) = 3x^4 + 7x$?

а) $12x^3 + 7$;

в) $\frac{x^5}{5} + \frac{x^2}{2} + C$;

б) $\frac{3}{4}x^5 + 7x^2 + C$;

г) $\frac{3}{5}x^5 + \frac{7}{2}x^2 + C$.

5. При интегрировании по частям интеграла вида $\int x^2 \arccos x dx$, какие необходимо сделать замены?

а) $u = x^2$, $d\upsilon = \arccos x dx$;

в) $u = x$, $d\upsilon = x \arccos x dx$;

б) $u = x^2 \arccos x$, $d\upsilon = dx$;

г) $u = \arccos x$, $d\upsilon = x^2 dx$.

6. Если в интеграле $\int x^m (a + bx^n)^p dx$ выполняется $\frac{m+1}{n} + p \in \mathbb{R}$, то

нужно сделать подстановку:

а) $x = t^\alpha$, где α — НОК знаменателей дробей m, n ;

б) $a + bx^n = t^\alpha$, где α — знаменатель дроби p ;

в) $\frac{a}{x^n} + b = t^\alpha$, где α — знаменатель дроби p .

7. Выберите верные табличные интегралы, у которых зависимый аргумент есть функция $u = u(x)$:

а) $\int u^n du = \frac{u^{n-1}}{n-1} + C$;

в) $\int \ln|u| du = \frac{1}{u} + C$;

б) $\int e^u du = e^u + C$;

г) $\int \cos u du = \sin u + C$.

8. Укажите, чему равен интеграл $\int \frac{\sqrt{\arctg x}}{1+x^2} dx$.

а) $\frac{\sqrt{\arctg^3 x}}{(1+x^2)^2} + C$;

в) $\frac{2\sqrt{\arctg^3 x}}{3(1+x^2)^2} + C$;

б) $-\frac{2}{3}\sqrt{\arctg^3 x} + C$;

г) $\frac{2}{3}\sqrt{\arctg^3 x} + C$.

Также выделили необходимый теоретический и практический материал и описали основные требования к результатам учебной деятельности учащихся и студентов для тем «Модуль числа», «Основные методы интегрирования».

Библиографические ссылки

1. Мурзагалиева А.Е., Утегенова Б.М. Сборник заданий и упражнений. Учебные цели согласно таксономии Блума. Астана: АОО «Назарбаев Интеллектуальные школы» Центр педагогического мастерства, 2015. 54с.
2. Симонов В.П., Черненко Е.Г. Десятибалльные шкалы оценки степени обученности по предметам. Москва: «Граф-Пресс», 2002. 71 с.
3. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. Москва: Педагогика, 1989. 192 с.
4. Бровка Н.В. Интеграция теории и практики обучения математике как средство повышения качества подготовки студентов. Минск: БГУ, 2009.

АРГАНІЗАЦЫЯ ЭФЕКТЫўНАЙ ПРАЕКТНАЙ КАМУНІКАЦЫІ ПАДЧАС СТВАРЭННЯ ІТ-ПРАДУКТАў

К. В. Муліца

mulitsa.projects@gmail.com;

Навуковы кіраўнік — В. М. Волкаў, доктар фізіка-матэматычных навук, дацэнт

У дакладзе раглядаюцца два спосабы стварэння ІТ-прадуктаў: адзіночны ды прамысловы. Асвятляецца праектная камунікацыя як крыніца праблемных момантаў ў ІТ-праектах з камандаю дзесяць і болей чалавек. Праз эмперычнае даследванне ды арганізацыю дзейнічага праекта аўтар вылучае дзесяць асноўных правілаў пабудовы эфектыўнай праектнай камунікацыі. Інфармацыя будзе асабліва карыснаю кіраўнікам аддзелаў распрацоўкі, праектным менеджарам ды бізнэс-аналітыкам у ІТ.

Ключавыя словы: праектная камунікацыя; праблемы праектнай камунікацыі; спосабы стварэння ІТ-прадуктаў; правілы эфектыўнай камунікацыі; праектны менеджмент.

Часцей за ўсё ў курсавых працах ды дакладах студэнтаў ІТ-спецыяльнасцей можна пабачыць апісанне толькі тэхнічнай рэалізацыі якогасьці інфармацыйнага прадукта. Яны паказваюць свой код, абгрунтоўваюць выбар моваў праграмавання ды неабходных бібліятэкаў, апісваюць праблемы, з якімі сутыкнуліся падчас распрацоўкі прадукта. Менавіта па гэтай прычыне можа здавацца, што стварэнне інфармацыйных прадуктаў – гэта працэс толькі тэхнічнай іх рэалізацыі. Але ў сапраўдным жыцці ды на прамысловых праектах гэта зусім не так.

У гэтым даследванні працэс стварэння інфармацыйных прадуктаў разглядаецца як комплекс, сінэргія стратэгічнага (адміністрацыйнага) ды выканаўчага блокаў ІТ-праектаў. У выканаўчы блок уключаюцца праграмісты, дызайнеры, тэсціроўшчыкі ды іншыя ўдзельнікі праекта, якія займаюцца ўвасабленнем прадукта ў жыццё. Стратэгічны (адміністрацыйны) ж блок уяўляе сабою “першыя твары” любога ІТ-праекта: кіраўнікі, прадуктовыя ды праектныя менеджары, маркеталагі, бізнэс-аналітыкі, кіраўнікі аддзелаў. У залежнасці ад таго, як і ў якой ступені абазначаныя блокі ўзаемадзейнічаюць паміж сабою, былі выдзелены два асноўныя метады распрацоўкі ІТ-прадуктаў: адзіночны ды прамысловы.

Адзіночнае стварэнне ІТ-прадуктаў – гэта распрацоўка прадукта адным чалавекам. Гэты спосаб выкарыстоўваецца пачынаючымі выканаўцамі ды спецыялістамі, што працуюць на сябе. Гэты метады дазваляе цалкам пазбегнуць неабходнасці ў праектнай камунікацыі, але характарызуецца нізкай эфектыўнасцю ў параўнанні з прамысловым (бо

дазваляе выконваць толькі адну задачу за адзінку часу). Менавіта таму па вымушаных прадуктовых (неабходнасць у высакваліфікаваных спецыялістах на кожную са спецыяльнасцей праекта) ды праектных (абмежаванасць у часовых, грашовых ды чалавечых рэсурсах) пытаннях больш жыццяздольным з'яўляецца другі метада распрацоўкі інфармацыйных прадуктаў – прамысловы. Для яго характэрны вялікая колькасць удзельнікаў каманды (ад дзесяці чалавек), велізарная колькасць праектнай камунікацыі паміж імі, але пры гэтым эфектыўная мнагазадачнасць.

Т. Addison [1] вылучае непрадуманую ды дрэнна арганізаваную камунікацыю паміж зацікаўленымі тварамі праекта адной з асноўных рызыкаў падчас стварэння ІТ-прадуктаў. Вялікая колькасць гэтай камунікацыі прыводзіць да ўзнікнення праблемаў, самыя паказальныя з якіх: эфект “зламананага тэлефона”; адрозненні ў бачанні прадуктовых/праектных момантаў рознымі ўдзельнікамі праектнай каманды (нават у адным аддзеле); несупадзенне мэтаў/матывацый кіраўніцтва праекта з мэтамі/матывацыямі выканаўцаў.

Задачаю свайго эмперычнага даследвання на дзейнічым ІТ-праекце (на якім я з'яўляюся праектным менеджарам) я паставіў вынаходжанне асноўных правілаў, падпарадкоўваючыся якім, магчыма пазбегнуць гэтых праблемаў ды выкарыстаць патэнцыял прамысловага метада распрацоўкі інфармацыйных прадуктаў на сто адсоткаў. Так як большасць праблемаў камунікацыі на праектах фарміруецца па правіннасці адміністратыўнага блока праекта, то гэтыя правілы накіраваныя іменна на кіраўніцтва ІТ-праектаў.

10 ПРАВІЛАЎ ЭФЕКТЫЎНАЙ ПРАЕКТНАЙ КАМУНІКАЦЫІ

1. Распісвайце падрабязныя ды якасна прадуманыя ТЗ для праектнай каманды.

Нягледзячы на сваю відавочнасць ды фундаментальнасць, часцей за ўсё гэта правіла парушаецца. Выканаўцы, часцей за ўсё, не ведаюць пра прадукт столькі, колькі ведаеце вы. Тое, што здаецца відавочным для вас, можа быць абсалютна незразумелым праграмісту альбо дызайнеру. Таму і патрэбна распісваць усе важныя моманты падрабязна ў ТЗ. Дакументы патрэбна распісваць зразумелай для выканаўцаў моваю, каб максімальна паменшыць узровень недаразумення.

2. Уводзьце праектную каманду ў кантэкст пастаўленых задачаў.

Часцей за ўсё на праектах (асабліва ў стартапах) абсалютна не хапае часу на падрабязнае распісванне тэхнічных заданняў. Для таго, каб вы з

выканаўцамі былі на адной хвалі, патрэбна ўводзіць іх у кантэкст праекта ды задачаў, якія перад імі ставяцца. Абгрунтуйце, навошта яны выконваюць тое ці іншае заданне, раскажыце, дзе гэта будзе выкарыстоўвацца ды з якою мэтай, кім іменна. Стварыце дакументы, у якіх будуць распісаны прадуктовыя ды маркетынжавыя аспекты вашага праекта, каб усе ўдзельнікі каманды былі ў курсе справаў вашай сумеснай працы. Далучыце іх да ТЗ.

3. Стаўце акрэсленыя часовыя абмежаванні выканаўцам. Не рабіце іх занадта вольнымі альбо жорсткімі.

Пастаноўка часовых абмежаванняў зноў-такі здаецца даволі прыметыўным пунктам, але вельмі часта парушаецца. Па ідэалогіі SMART любая задача павінна мець акрэслены часовы пачатак ды канец [4]. Часовыя абмежаванні – асноўны матыватар большасці ўдзельнікаў вашай праектнай каманды. Абавязкова абмяркоўвайце тэрміны выконвання заданняў з самымі выканаўцамі, якім яго дасылаецца, каб потым не атрымаць канфлікты ды выгаранні сярод удзельнікаў праектнай каманды. Прытрымлівайцеся прынцыпу “залатой сярэдзіны”, але заўсёды крыху падганяйце сваіх работнікаў – толькі так вы будзеце выконваць планы падчас. Звяртаю ўвагу на тое, што гэта правіла працуе толькі з выканаўчым блокам праекта, але не са стратэгічным.

4. Правіла “2X”: памнажайце запланаваныя тэрміны рэалізацыі новых функцыяналаў на два.

Часцей за ўсё якасна прадуманыя планы праектных менеджараў разбіваюцца аб муры сапраўднасці. Калі вы запланавалі рэалізацыю ўсяго прадукта альбо толькі якойсьці яго часткі на адзін тыдзень, то будзьце гатовыя, што па-сапраўднаму рэалізоўвацца ён будзе два тыдні. І сутнасць тут не столькі ў дрэннай працы выканаўцаў, колькі ў пастаянным з’яўленні новых праблемаў, якія немагчыма было спрагназіраваць да старта працы. Не спрабуйце абагнаць план, будзьце гнуткімі – залішайце запас часу. Смела памнажайце запланаваныя тэрміны на 1.5-2 (але не акцэнтуйце на гэтым увагу перад выканаўцамі).

5. Сапастаўляйце свае жаданні/матывацыі з жаданнямі/матывацыямі сваёй праектнай каманды.

Матывацыя выканаўцаў значна памяншаецца, калі іх мэты не супадаюць з мэтай кіраўніцтва праекта. Падумайце, чаго ад выканаўцаў жадаецца атрымаць вы ды якія мэты працы на вашым праекце яны самыя

ставяць перад сабою. Найбольшай эфектыўнасці сумеснай працы вы дасягнеце, калі гэтыя мэты будуць супадаць.

6. Строга пазначайце абавязкі ды функцыі кожнага аддзела/удзельніка праекта.

Разуменне сваіх абавязкаў дазволіць вашай камандзе адчуваць сябе псіхалагічна больш камфортна, ведаць граніцы сваёй адказнасці. Выканаўца павінен мець магчымасць у любы момант пабачыць спіс сваіх задачаў/абавязкаў/функцый/правоў. Няхай гэта будзе тэкставы дакумент з дыяграмамі. Чым больш якасна абмежаваныя абавязкі ўдзельнікаў праектнай каманды, тым менш канфліктных сітуацый будзе ўзнікаць на праекце.

7. Кажыце менш – пішыце больш.

Часцей за ўсё, большасць з таго, што вы скажаце падчас размовы альбо ў месаджары, не будзе дакладна ўспрымацца вашымі выканаўцамі. Яны вельмі хутка забудуцца пра гэту інфармацыю. Менавіта таму ўсю сапраўды важную інфармацыю патрэбна запісваць на паперы альбо ў анлайн-дакуменце. Дасылаць камандзе толькі ў тэкставым выглядзе, не праз дыялог. Фармалізуйце камунікацыю з выканаўцамі праз выкарыстоўванне сэрвісаў праектнага менеджменту (напр., Jira альбо ClickUp).

8. Наладзьце сістэму мэтапалагання ды адлікаў на праекце.

Сфарміруйце прыклады дакументаў, якія вам павінны будуць дасылаць кіраўнікі розных аддзелаў праекта кожны адліковы перыяд. У іх яны павінны распісваць задачы свайго аддзела на наступны адліковы перыяд ды вынікі працы за мінулы. Ведайце, з якімі складанасцямі сутыкаюцца ды на якім этапе іх вырашэння знаходзяцца вашы спецыялісты. Збірайце адваротную сувязь па сваёй дзейнасці.

9. Візуалізуйце ўсю інфармацыю, якую жадаеце перадаць сваёй праектнай камандзе.

Людзі нашмат прасцей разумеюць візуальны кантэнт, чым тэкставы (не кажучы пра слыхавы). Спрабуйце максімальна візуалізаваць усё самае важнае, што вы дасылаеце сваёй камандзе. Стварайце табліцы, відэа, графікі, дыяграмы, use cases. Выкарыстоўвайце дыяграмы UML (Unified Modeling Language), што на дадзены момант з'яўляецца стандартнай моваю мадэліравання праграмных сістэмаў [5].

10. Матывуйце сваю каманду вялікай сацыяльнай місіяй вашай дзейнасці.

Вельмі важна разам з вашым HR-менеджарам займацца матывіраваннем вашай праектнай каманды. Асноўная матывацыя выканаўцаў – жаданне развівацца як спецыяліст у сваёй сферы. Але пры гэтым з часам большасць з іх абіраюць для працы іменна тую кампанію, якія праз сваю дзейнасць вырашаюць якуюсьці вялікую сацыяльную праблему, змяняюць свет да лепшага. Вылучыце сваю сацыяльную місію, распачніце яе рэалізоўваць ды распавядзіце пра гэта свету вакол.

Большасць з вызначаных правілаў падпарадкоўваюцца прынцыпам ды механізмам дзеяння метадалогіі Agile (Agile software development) [3], што выкарыстоўвалася ў большасці паспяхова завершаных малых праектаў па дадзеных The Standish Group International за 2013 год [2]. Праз дадзенае даследванне былі выдзеленыя ды, самае галоўнае, сістэматызаваныя правілы, якія дагэтуль кожны менеджар падчас працы выводзіў для сябе нанова. Не бойцеся распачынаць свае ўласныя ІТ-праекты, але не забывайцеся на правілы эфектыўнай праектнай камунікацыі – гэта дазволіць вам сфакусавацца на самым галоўным.

Бібліяграфічныя спасылкі

1. *Addison T., Vallabh S.* Controlling software project risks: an empirical study of methods used by experienced project managers // Proceedings of the 2002 annual research conference of the South African institute of computer scientists and information technologists on Enablement through technology. 2002. С. 128–140.
2. The CHAOS Manifesto. The Standish Group International, 2013. 48 p.
3. *Fowler M.* et al. The agile manifesto // Software development. 2001. Т. 9, №. 8. С. 28–35.
4. *Cothran H. M., Wysocki A. F.* Developing SMART Goals for Your Organization: FE577/FE577, 11/2005 // EDIS. 2005. Vol. 2005, №. 14. DOI: 10.32473/edis-fe577-2005.
5. *Eriksson H. E., Penker M.* Business modeling with UML: Business patterns at work. New York: Wiley, 2000. 459 p.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЯДРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО РЕШЕБНИКА ПО АНАЛИЗУ ЧИСЛОВЫХ РЯДОВ

Г. С. Плисюк, Я. Г. Сахечидзе

mmf.plisyuk@bsu.by, mmf.sahechid@bsu.by;

Научный руководитель — О. А. Лаврова, кандидат физико-математических наук, доцент

В работе предложен проект электронного решебника по математическому анализу для решения задач о сходимости числовых рядов, а также реализация вычислительного ядра. Целью разрабатываемого приложения является развитие и совершенствование навыков анализа числовых рядов на сходимость у студентов математических специальностей, а также внедрение компьютерных средств в процесс обучения. Вычислительное ядро приложения реализовано средствами Wolfram Mathematica.

Ключевые слова: математический анализ; числовой ряд; сходимость; решебник; вычислительное ядро; компьютерная математика.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Проектирование приложения-решебника производилось с использованием нотации Unified Modeling Language (унифицированный язык моделирования). В качестве примера приведена диаграмма вариантов использования (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

Представленная диаграмма демонстрирует функциональность приложения с точки зрения пользователя. В ней отражены три основные функции решебника:

9. Просмотр справочной информации: позволяет ознакомиться с основными понятиями и методами, используемыми в приложении.

10. Проверка ряда на сходимость: представляет собой ядро приложения, которое непосредственно обрабатывает введенную информацию.

Интерактивное обучение алгоритму анализа ряда на сходимость: предусматривает взаимодействие с пользователем через наводящие вопросы, генерацию вопросов, вариантов ответов и пояснений. Приложение предоставляет пользователю право выбора пути решения, что позволяет ему активно участвовать в процессе анализа информации.

Разработанные для описания проекта схемы доступны на репозитории GitHub [1]. Проект приложения был представлен на международной конференции «Трансформация механико-математического и IT-образования в условиях цифровизации» [2].

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЧИСЛОВОГО РЯДА НА СХОДИМОСТЬ

Ядро решебника базируется на алгоритме анализа числовых рядов на сходимость, который был спроектирован на основе литературы по математическому анализу, изучаемой в рамках учебной программы ММФ БГУ. В частности, использовалось учебное пособие [3]. Также при составлении алгоритма проводились консультации с преподавателями кафедры теории функций ММФ БГУ проф. Бровкой Н. В. и доц. Громак Е. В.

Для примера рассмотрим схематичное представление начального этапа алгоритма анализа числового ряда на сходимость (рис. 2).

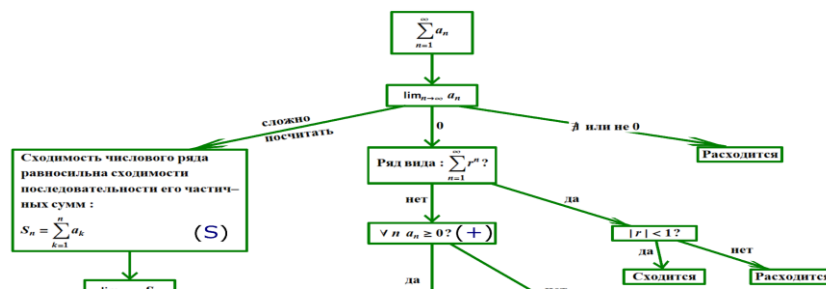


Рис. 2. Начальный этап схемы для анализа числовых рядов

На схеме от блока с необходимым условием отходят три ветви: если условие выполняется («0»), если оно не выполняется («Да или не 0») или если пользователю не удалось посчитать предел («сложно посчитать»),

см. рис. 2. Если ответ — «0», то анализ продолжается на основании методов, которые работают с последовательностью членов ряда. Если ответ — « \nexists или не 0», то на основании необходимого условия [3, ч. 1, с. 113] ряд расходится, и анализ завершен. Если ответ — «сложно посчитать», то вероятнее всего общий член ряда имеет слишком сложную структуру, и, возможно, проще будет работать с последовательностью частичных сумм ряда. Остальная часть схемы представляется по аналогии с представлением на рис. 2.

Также подобные схемы были разработаны для определения равномерной и поточечной сходимости функциональных рядов и последовательностей. Все схемы доступны на репозитории GitHub [4].

РЕАЛИЗАЦИЯ ЯДРА В СРЕДЕ WOLFRAM MATHEMATICA

Основной сущностью в системе является числовой ряд, компьютерное представление которого реализовано с помощью объекта `kmSeries`:

```
kmSeries[km, an_Function, {n, start_Integer?NonNegative,  $\infty$ }].
```

Объект `kmSeries` обладает следующими атрибутами:

- `km` – специальный символ, который позволяет отличать внутреннее представление от вызова объекта `kmSeries` как функции;
- `an` – функция, которая задает общий член ряда;
- список, содержащий переменную-индекс и пределы суммирования.

Для реализации алгоритма анализа числового ряда на сходимость согласно разработанной схеме были созданы независимые друг от друга функции проверки условий и утверждений схемы для объекта `kmSeries`. При построении системы были приняты следующие соглашения: отклики всех блоков были унифицированы, а именно «True» означает, что признак/условие выполняется; «False» – признак/условие не выполняется; «Indeterminate» – система не может определить выполнение признака/условия, или же сам признак не может дать однозначный ответ в данной ситуации. Также названия всех функций, реализующих блоки схемы, должны заканчиваться на «Test».

Для имитации прохождения системой схемы алгоритма было разработано две функции. Первая функция `kmMainProgram` последовательно выполняет шаги схемы и сохраняет конечный результат всего анализа. Вторая функция `kmMainProcess` предназначена для инициализации необходимых переменных, а также для контроля выполнения одного блока схемы на каждом шаге с последующим

анализом результатов, внесением соответствующих записей в «журнал» и навигацией по схеме.

Начальным шагом устанавливается проверка необходимого условия. После инициализации начинается основной этап работы системы, в течение которого `kmMainProgram` вызывает `kmMainProcess` для выполнения алгоритма текущего блока схемы шаг за шагом до тех пор, пока анализ ряда не будет завершен.

В качестве иллюстрации приведена часть «журнала» (рис. 3).

```

kmDisplay[Quiet@kmMainProgram[Sum[ $\frac{(n+1)^2}{2^n}$ , 1], "Plain"]

```

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ

Текущий ряд для анализа на сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (2^{-n})^2$.

Переходим к проверке необходимого условия...

НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ

Проверка выполнения необходимого условия: $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} (2^{-n})^2 = 0$.

Необходимое условие **выполняется**, так как $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

Переходим к определению геометрического ряда...

ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ

Проверка, является ли ряд геометрическим согласно виду общего члена ряда: $a_n = r^n$?

Ряд **не является** геометрическим.

Переходим к определению знакопостоянного ряда...

ЗНАКОПОСТОЯНСТВО

Проверка, является ли ряд знакопостоянным согласно виду общего члена ряда: $(\forall n \in \mathbb{N} \ a_n \geq 0) \vee (\forall n \in \mathbb{N} \ a_n \leq 0)$?

Ряд **является** знакопостоянным.

Переходим к определению обобщённо-гармонического ряда...

ОТДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ РЯДОВ

Проверка, является ли ряд обобщённо-гармоническим согласно виду общего члена ряда: $a_n = \frac{1}{n^p}$?

Ряд **не является** обобщённо-гармоническим.

Переходим к проверке общего члена ряда на наличие факториала...

Рис. 3. Пример программной реализации алгоритма

Все выше обозначенные алгоритмы в полном объеме, а также текущая версия ядра доступны на репозитории GitHub [4].

Библиографические ссылки

1. GitHub – Developed an interface for an electronic interactive math calculus tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/YaroslavSahechidze/DESIGNING-THE-INTERACTIVE-INTERFACE-OF-THE-ELECTRONIC-CALCULUS-TUTORIAL> – Дата доступа: 19.06.2023.
2. Плисюк Г. С., Сахечидзе Я. Г., Лаврова О. А. Разработка электронного интерактивного решебника по математическому анализу // Международная научно-практическая конференция «Трансформация механико-математического и IT-образования в условиях цифровизации», Минск, 26–27 апреля 2023 г., БГУ (принято к опубликованию).
3. Зверович Э. И. Вещественный и комплексный анализ : учеб. пособие для студ. мат. спец. учреждений, обеспеч. получение высш. образования : в 6 ч. – Минск: Вышэйшая школа, 2006–2008. 6 ч.
4. GitHub – Материалы по проекту интерактивного электронного решебника по мат. анализу для числовых рядов на Wolfram Mathematica [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/GregoryPlisiuk/CourseWork> – Дата доступа: 19.06.2023.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ К АНАЛИЗУ СИГНАЛОВ

В. В. Рудкевич

mmf.rudkevicVV@bsu.by;

*Научный руководитель — В. И. Чесалин, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Рассмотрено преобразование Фурье, которое является одним из наиболее важных методов анализа сигналов в различных областях науки и техники. Оно позволяет разложить сигнал на его частотные составляющие и получить информацию о спектральных характеристиках сигнала. В работе представлены свойства преобразования Фурье, а также переход к дискретному преобразованию Фурье и быстрому преобразованию Фурье, которые обеспечивают быструю и эффективную обработку сигналов. Более того, будет представлен пример практического применения преобразования Фурье для получения частотных характеристик сигналов при обработке звука.

Ключевые слова: преобразование Фурье; дискретное преобразование Фурье; анализ сигналов.

ВВЕДЕНИЕ

Преобразование Фурье – это интегральное преобразование, которое является полезным инструментом для решения задач не только математических задач, связанных с определенными типами дифференциальных уравнений, особенно, когда их решения в некоторой области затруднены, но и различных вычислительных задач, таких как обработка сигналов и изображений.

История применения преобразования Фурье к анализу сигналов начинается с работы французского математика Жан-Батиста Д جوزефа Фурье, который в начале XIX века разработал теорию разложения функций на тригонометрические ряды. Однако, наиболее важный этап в истории применения преобразования Фурье к анализу сигналов произошел в XX веке с развитием электроники и технического прогресса. В 1948 году американский инженер Клауд Шеннон в своей работе «Математическая теория связи» показал, что преобразование Фурье также может быть использовано для передачи и обработки сигналов, открыв новые горизонты для анализа и обработки сигналов.

С тех пор применение преобразования Фурье к анализу сигналов стало широко распространено в различных областях науки и техники. В обработке сигналов и изображений, преобразование Фурье используется для анализа спектральных характеристик сигналов, таких как амплитуда,

фаза и частота, что позволяет исследователям выявлять важные особенности сигналов и принимать решения на основе их спектрального анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Традиционно, сигнал – это физический процесс, отображающий некоторую информацию, и математически описывается некоторой функцией $f(t)$ на интервале $t \in [a, b]$. Чтобы обработать такой сигнал цифровыми методами, его необходимо дискретизировать. Для этого используется дискретизация с постоянным шагом $T = \Delta t$, получая отсчеты $f_n = f(n\Delta t)$, где $n = 0, \dots, N$. Таким образом, если преобразовать дискретный сигнал $\{f_k = f(k\Delta t)\}$ в решетчатую функцию $f(t) = \Delta t \sum f(k\Delta t)\delta(t - k\Delta t)$, аналоговый сигнал можно будет рассматривать в дискретные моменты времени. Для перехода к дискретизированному сигналу достаточно разделить шаг дискретизации на N частей. В результате получаем дискретное преобразование Фурье, которое может быть использовано в основе различных алгоритмов, однако для преобразования сигналов из временной в частотную используют быстрое преобразование Фурье, действующее по принципу “властуй и разделяй”.

Практическое применение быстрого преобразования Фурье достаточно разнообразно. При анализе сигналов быстрое преобразование Фурье является ключевым, так как именно он помогает получить частотную характеристику сигнала и дает возможность использовать их в различного рода предсказаниях. Например, можно построить классификатор жанров, который будет использовать метрики, вычисленные в частотной области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, математические основы преобразования Фурье позволяют представить сигнал в виде суммы гармонических колебаний, что позволяет более эффективно анализировать его спектральный состав и свойства. Быстрое преобразование Фурье, в свою очередь, является алгоритмом, позволяющим вычислять преобразование Фурье сигнала за значительно меньшее время, чем классические методы. Это достигается благодаря применению алгоритма “властуй и разделяй”, который позволяет разбить исходный сигнал на более мелкие части и проводить вычисления над ними параллельно. Таким образом, преобразование Фурье и БПФ находят широкое применение в обработке сигналов, как в

научных и исследовательских целях, так и в прикладных задачах, включая обработку звука и изображений, компрессию данных и многие другие.

Библиографические ссылки

1. *Антоневич А.Б., Радыно Я.В.* Функциональный анализ и интегральные уравнения. Минск: БГУ, 2006. С. 257–268.
2. Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/> – Дата доступа: 21.04.2023.
3. *Умняшкин С.В.* Основы теории цифровой обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2021. 551 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ И КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КЛИЕНТСКОЙ БАЗЫ ОРГАНИЗАЦИИ

А. О. Яблонская

anna.yablonskaya2002@yandex.ru;

*Научный руководитель — А. Э. Малевич, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Оценка степени благонадёжности клиента является важным фактором для принятия решений о дальнейшем финансовом сотрудничестве организации с клиентом. Это позволяет принимать более обоснованные решения при финансовом сотрудничестве, снижает риск финансовых потерь для организации, также может позволить определить потенциальные риски нарушения законодательства и принять соответствующие меры до возникновения проблем.

Ключевые слова: машинное обучение; степень благонадёжности; многоклассовая классификация; случайный лес; метрика F1-score; кластеризация; алгоритм Лейдена.

ВВЕДЕНИЕ

Организации в своих базах данных накапливают разнородную информацию о своих клиентах. Для решения конкретной задачи возникает необходимость разбить весь массив клиентов на отдельные категории. Сделать это можно, построив «модель» и обучив её, используя методы машинного обучения, на имеющихся в распоряжении организации данных о клиентах. Использование методов кластеризации в свою очередь позволяет выявлять скрытые или неочевидные взаимосвязи между клиентами.

ПРЕДОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Классификацию клиентской базы продемонстрируем на примере решения задачи определения степени благонадёжности клиента. Требуется построить модель, которая, получив на входе информацию о клиенте, должна определить степень его благонадёжности: низкая, средняя или высокая.

Прежде чем приступать к построению модели, необходимо провести первичный анализ имеющихся в наличии данных, сформировать из них обучающий набор и выбрать наиболее адекватный данным алгоритм классификации. В рассматриваемом примере в силу сильной неоднородности исходных данных было принято решение разбить всех клиентов организации на несколько групп, различающихся по наличию информации о клиентах. В каждой группе клиенты изначально разбиты на три класса: низкая, средняя и высокая степень благонадёжности.

Соответственно для каждой группы необходимо было построить отдельную модель машинного обучения.

Для некоторых групп клиентов не хватало данных для обучения модели. Их необходимо было добавлять. Дополнять датасет абсолютно случайными данными нельзя, поскольку тогда могут появиться ложные зависимости в данных, что может привести к недообучению модели машинного обучения, или же за счёт ложной информации в дальнейшем модель будет плохо обрабатывать новых клиентов. Дополнительные данные были сгенерированы с учётом изначального распределения исходных данных.

Помимо того, при работе с данными оказалось, что они являются несбалансированными, а также некоторые признаки высоко коррелируют друг с другом.

КЛАССИФИКАЦИЯ

Для каждой группы клиентов необходимо строить отдельную модель машинного обучения. Было принято решение рассматривать несколько методов классификации. Лучшими оказались алгоритмы: бустинг (XGBoost), решающие деревья (Decision Tree) и случайный лес (Random Forest) [1]. Поскольку в данных имеется высокая корреляция, а также несбалансированность классов, наиболее подходящим алгоритмом в итоге оказался случайный лес, так как он в силу своих особенностей хорошо справляется с данными проблемами.

Случайный лес – это алгоритм, который комбинирует несколько решающих деревьев и принимает окончательное решение с помощью голосования. В случае классификации это большинство голосов. Алгоритм называется случайным лесом, поскольку он использует: (а) при построении деревьев – случайные выборки обучающего набора; (б) при разделении узлов – случайные подмножества признаков.

Для оценки качества моделей была выбрана метрика F1-score. Достигнутое качество построенных моделей приведено в таблице.

Результаты обучения моделей для трех групп клиентов

Группа / Модель	XGBoost	Decision Tree	Random Forest
группа1	75,4%	63,3%	97,82%
группа2	62,5%	54,2%	98,37%
группа3	73,7%	60,2%	91,25%

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ

Применение методов кластеризации позволяет найти неочевидные связи между клиентами. В данной работе было использовано три метода кластеризации [2]: k -средних, иерархическая и графовая кластеризация алгоритмом Лейдена.

В случаях, когда количество кластеров заранее неизвестно, для его определения использовался метод силуэтов.

Также использовалась иерархическая кластеризация. В этом случае кластеры можно отобразить при помощи дендограммы (см. рис. 1). Она позволяет лучше увидеть разграничение кластеров и посмотреть, насколько кластеры отличаются друг от друга.

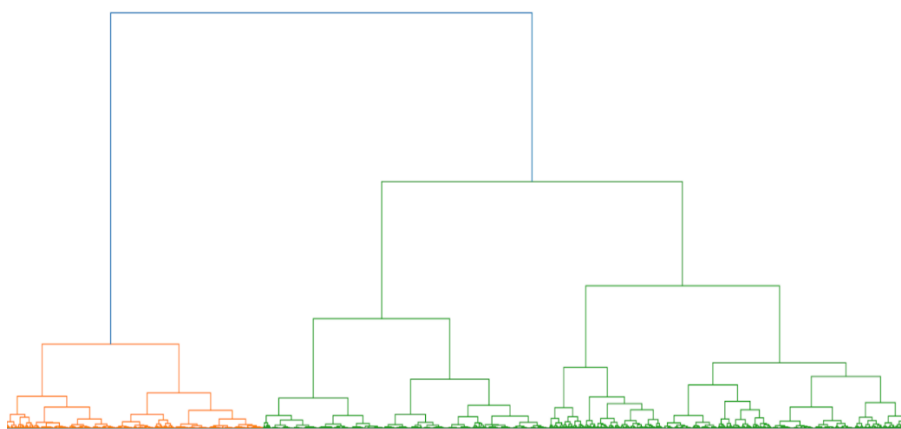


Рис. 1. Дендограмма, построенная на данных первой группы клиентов

Помимо того, был использован графовый метод кластеризации алгоритмом Лейдена [3]. Этот алгоритм разделяет узлы графа на непересекающиеся сообщества таким образом, чтобы максимизировать показатель модульности для каждого сообщества. Модульность в свою очередь максимизирует разницу между реальным количеством рёбер в сообществе и ожидаемым числом рёбер в сообществе.

Для данной задачи сначала необходимо из всех имеющихся данных составить граф. Вершинами графа должны быть клиенты, а рёбрами – любые связи между ними. Такие связи можно извлечь из информации о взаимодействиях между клиентами. Также можно связывать клиентов, исходя из каких-либо описательных критериев, например вида деятельности клиентов, их местоположения и т.п. (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге было построено несколько моделей машинного обучения для классификации клиентов по степени благонадёжности. Наилучшие результаты показала модель случайного леса (Random Forest). Также для нахождения новых скрытых взаимосвязей между клиентами были

применены методы кластеризации. Работа реализована на языке программирования Python с использованием библиотек: Pandas, numpy, Scikit-learn, Matplotlib и Seaborn.

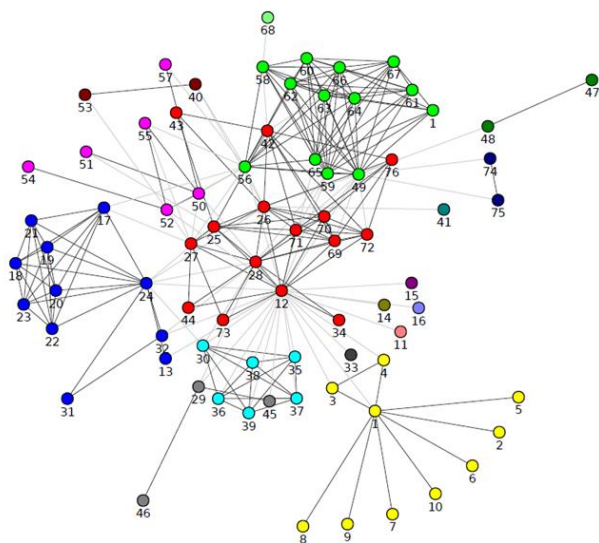


Рис. 2. Сообщества, выделенные в графе после применения алгоритма Лейдена

Библиографические ссылки

1. *Sruthi, E.R.* Understand Random Forest Algorithms With Examples (Updated 2023) [Электронный ресурс] / Analytics Vidhya, 2023. Режим доступа: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/> Дата доступа: 20.06.2023.
2. George Seif The 5 Clustering Algorithms Data Scientist Need to Know [Электронный ресурс] / Towards Data Science, 2018. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/the-5-clustering-algorithms-data-scientists-need-to-know-a36d136ef68> – Дата доступа: 20.06.2023.
3. *Traag, V.A., Waltman, L. & van Eck, N.J.* From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities // *Sci Rep* **9**, 5233 (2019). Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41695-z> – Дата доступа: 20.06.2023.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ ХЕЛАТОВ ОДНОВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ

К. А. Шинкарёв

shynkarou_bsu@mail.ru;

*Научные руководители — Н. Н. Костюк, кандидат химических наук,
Ю. М. Метельский, кандидат физико-математических наук,
доцент, Т. А. Дик, доктор физических наук*

Проведено исследование летучести множества хелатов одновалентных металлов, представленного в виде специального графа с различными типами рёбер. На основании предложенной формулы вычислены условные коэффициенты летучести β -дикетонатов. Показано, что полученные ряды по убыванию летучести хелатов соответствуют таковым, приведенным в литературе.

Ключевые слова: хемоинформатика; хелат; β -дикетонат; одновалентные металлы; летучесть; граф; моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в области развития высоких технологий крайне актуальны процессы, связанные с химической парофазной металлизацией (CVD-методом [1,2]), активно использующей летучие металлосодержащие химические соединения. Развитие метода в последние 15 лет привело к его активному внедрению в промышленные технологии выпуска массовой продукции [3]. Востребованы CVD-процессы и в области нанотехнологий [4].

Среди летучих соединений особую роль играют хелаты одновалентных металлов, используемые в качестве прекурсоров для синтеза более сложных летучих соединений переходных элементов [5].

В настоящее время насущны проблемы необходимости проведения больших объёмов экспериментальных работ при разработке новых типов прекурсоров и масштабировании процессов их получения. Для оптимизации затрат по времени и ресурсам необходимы разработка и внедрение в практику химических работ методов и приёмов моделирования процессов получения летучих соединений. Так же встаёт задача исчерпывающего изучения всех возможных вариантов теоретического существования соединений данного класса и выявления наиболее перспективных из них. Другими словами, необходимо построение химического пространства для хелатов одновалентных металлов, насчитывающих миллионы хелатных соединений. В данной работе мы ограничились β -дикетонатами одновалентных металлов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Летучесть любого хелата одновалентного металла может быть вычислена по предложенной формуле:

$$C_h = C_l - \frac{100M_h}{M_l} + (5n + n^2)$$

где C_h – условный коэффициент летучести хелата, C_l – условный коэффициент летучести лиганда, M_h – молекулярная масса хелата, M_l – молекулярная масса лиганда, n – количество атомов фтора, входящих в состав молекулы хелата металла.

Формула для вычисления значения условного коэффициента летучести разбивается на три слагаемых. Первым выступает коэффициент летучести лиганда (хелата), который был получен на основании данных по температурам плавления или кипения β -дикетонов, наиболее востребованных и изученных в настоящее время [6]. Вторым слагаемым является относительное увеличение массы хелата при вхождении металла-комплексобразователя в состав формируемого соединения. За счет увеличения общей массы при образовании хелата оно имеет отрицательное влияние на летучесть используемого лиганда. Влияние атомов фтора учитывает третье слагаемое. Как правило, наличие атомов фтора увеличивает летучесть хелата за счёт подавления межмолекулярного взаимодействия отдельных молекул.

Работоспособность предлагаемого подхода при расчёте летучести хелатов одновалентных металлов была проверена на основании экспериментальных данных, имеющихся в литературе [7-13].

Для реализации поиска летучести и вывода некоторых рядов соединений была написана программа на языке C++, интерфейс которой был реализован с помощью WindowsForms.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве периферийных групп рассматриваются 20 (CH_3 , C_2H_5 , C_3H_7 , C_6H_5 , C_4H_3S , C_4H_3Se , C_4H_3O , $(CH_3)_2CH$, $(CH_3)_2CHCH_2$, $(CH_3)_3$, а так же все их полностью фторированные версии, то есть CF_3 , C_2F_5 , C_3F_7 и т.д.) основных групп, а так же все их промежуточные фторированные версии.

На множестве рассматриваемых хелатов одновалентных металлов был построен граф, где в качестве вершин выступают хелаты, а рёбра проводятся в следующих случаях:

В случае виртуального синтеза с участием периферийных групп лигандов (рис 1).

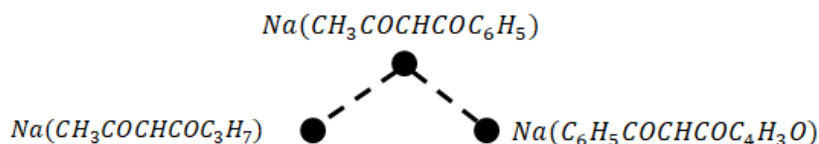


Рис. 1

1. В случае изменения металла в однотипных по лигандам соединениях (рис 2).

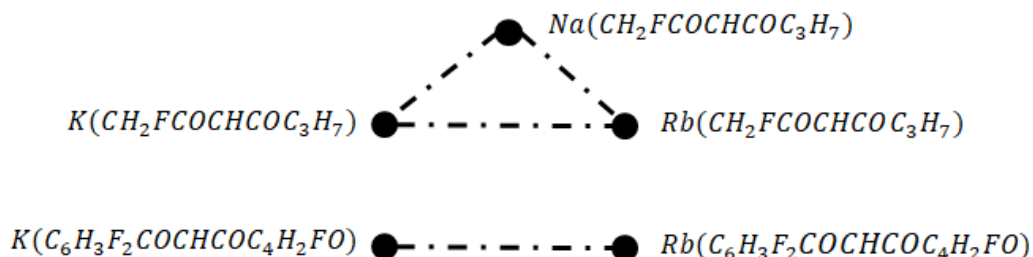


Рис. 2

2. В случае виртуального фторсинтеза.

Для удобства обозначим полным названием только правую верхнюю и левую нижнюю вершины, все остальные обозначим в виде $R^1 - R^2$

- а) случай 2 различных групп (рис.3):

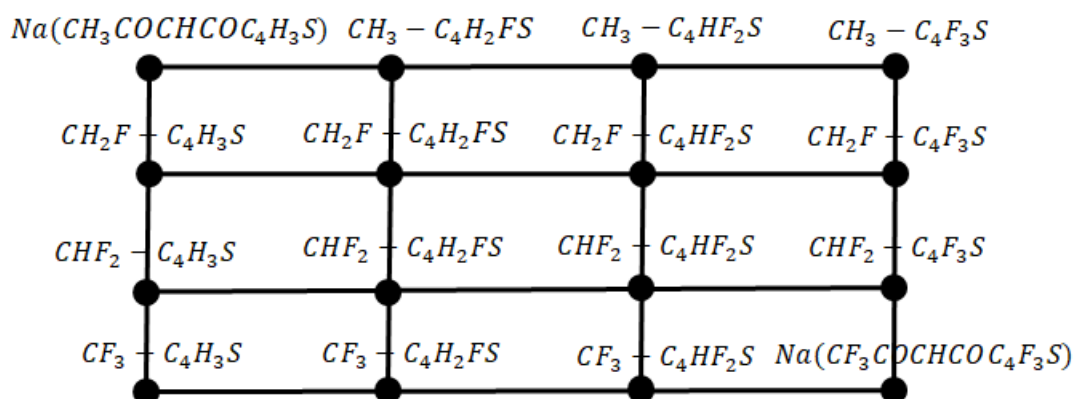


Рис. 3

- б) случай 2 одинаковых групп. Нижняя часть таблицы будет дублироваться с верхней $R^1 - R^2 = R^2 - R^1$, поэтому подграф будет выглядеть так (рис. 4):

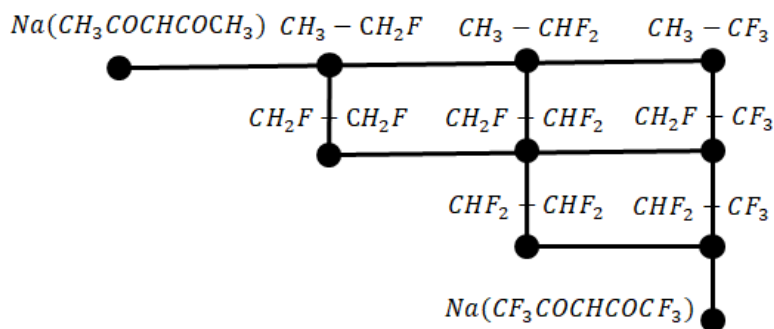


Рис. 4

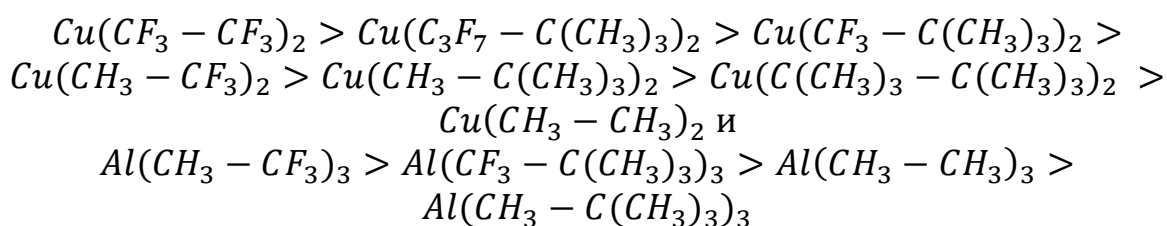
Полученный граф строится по принципу изоструктурной близости вершин – хелатов, т. е. если две вершины – хелаты имеют одно отличие в своем составе, то они соединяются ребром одного из трёх типов. Граф представляет из себя множество решёток, все угловые вершины которых соединены штриховыми рёбрами с другими, отличающимися лишь одной основной группой, вершинами-хелатами, и каждая вершина которых соединена множеством штрих-пунктирных рёбер со всеми вершинами, отличающимися лишь металлами.

Использование графа обусловлено не только тем, что оно структурирует множество хелатов и тем самым позволяет удобнее анализировать данное множество. Граф необходим для предложенной формулы расчёта летучести хелатов одновалентных металлов. Условные коэффициенты летучести лигандов C_l доступны, исходя из литературы, только для некоторых комбинаций основных групп. Для нахождения условного коэффициента летучести лигандов, являющихся комбинацией фторированных групп, используется граф. Так, для нахождения условного коэффициента летучести лиганда любой вершины определённой решётки необходимо выделить простую цепь длины $(n_1 + n_2)$, где n_1 и n_2 соответственно количество атомов водорода в первой и второй группах левой верхней вершины решётки. Данная цепь должна содержать рассматриваемую вершину, один из концов данной цепи должен быть левой верхней вершиной, а другой – правой нижней. Тогда условный коэффициент летучести считается по формуле:

$$C_l = C_{l1} + n \frac{C_{l2} - C_{l1}}{n_1 + n_2}$$

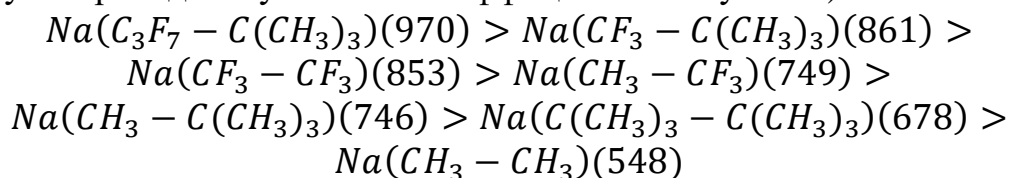
где C_{l1} , C_{l2} – условные коэффициенты летучести левой верхней и правой нижней вершин-хелатов соответственно, n – количество атомов фтора в рассматриваемой вершине-хелате.

Задача по определению летучести химических соединений является крайне сложной экспериментальной работой. Существующие методы определения давления паров дают разные по значениям результаты. Из литературных данных известно, что разброс значений, например, для бис-ацетилацетоната и бис-трифторацетилацетоната уранила лежит в интервале 133 – 0,1 Па. Кроме того, летучесть хелатов зависит от давления, при котором осуществляют эксперимент, температуры, как испарения, так и конденсации, чистоты исследуемого хелата и его надмолекулярной структуры. Наиболее изученными соединениями в данном вопросе являются хелаты меди и алюминия. Показано, что их относительную летучесть можно выразить следующими рядами:



Сомнения в правильности положения хелатов металлов подтверждаются расхождением их позиционирования для первых двух членов алюминиевого ряда по сравнению с аналогичными членами в ряду хелатов меди. Эти расхождения могут быть обусловлены как погрешностями эксперимента, так и различиями в его проведении. Вместе с тем, несмотря на недостатки, оба ряда относительной летучести β-дикетонатов меди и алюминия в целом правильно отражают существующее положение вещей: большей летучестью обладают наиболее фторированные соединения, а ацетилацетонаты уступают по летучести более разветвлённым пивалоилметанатам меди(II).

Аналогичные результаты были получены нами для ряда летучести хелатов одновалентных металлов на примере натрия (в скобках после формулы приведены условные коэффициенты летучести):



Хелаты, имеющие в своём составе фторированные группы, демонстрируют более высокие условные коэффициенты летучести. Первая четверка наиболее летучих хелатов замыкается трифторацетилацетонатом натрия, а в целом ряд завершается

ацетилацетонатом натрия, что совпадает с литературными экспериментальными данными для хелатов меди и алюминия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было построено химическое пространство хелатов одновалентных металлов, создано приложение с графическим интерфейсом, реализующее предложенный алгоритм нахождения летучести хелата одновалентного металла, а также рядов хелатов. Состоятельность данного подхода была продемонстрирована путем сравнения вычисленной в настоящей работе летучести β -дикетонатов натрия и приведённых в литературе рядов относительной летучести β -дикетонатов меди и алюминия. Фторированные хелаты металлов составили лидирующую по летучести группу, а все ряды замыкает ацетилацетонат металла.

Библиографические ссылки

1. Pushkarev A.P., Vochkarev M.N. Russ. Chem. Rev., 2016, V.85, № 12, p. 1338-1368
2. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическая парофазная металлизация. М.: Наука, 2000. 496 с.
3. <https://www.ionbond.com/technology/cvd>
4. О.Л.Хасанов, Э.С.Двилис, З.Г. Бигбаева и др. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий [электронный ресурс]. 2-е изд. (эл). Электрон.текстовые дан. (1 файл pdf: 272 с.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015, ISBN 978-5-9963-2929-8.
5. Костюк Н.Н., Дик Т.А. //Журнал общей химии. 2020. Т.90. № 11. С. 1773-1779.
6. Пешкова, В.М. β -Дикетоны / В.М. Пешкова, Н.В. Мельчакова. –М.: Наука, 1986.-200с.
7. Vertoprakhov V.N., Krupoder S.A. "Preparation of thin copper films from the vapour phase of volatile copper(I) and copper(II) derivatives by the CVD method" // Russ chem rev. 2000. V.69. N12. P.1057–1082.
8. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическая парофазная металлизация. М.: Наука, 2000. С. 397-398.
9. Седова Л.Г., Широкий В.Л., Костюк Н.Н., Андрианов Ю.А., Молотовщиков М.Б. Особенности термического поведения хелатокомплексов меди // Химическая физика. 1996. Т. 15. № 2. С. 98 – 103.
10. Цыганова, Е.И. Реакционная способность β -дикетонатов металлов в реакциях термораспада / Е.И. Цыганова, Л.М Дягилева // Успехи химии.- 1996. Т. 65, № 4С. 334-349.
11. Получение летучих триацетилацетонатов РЗЭ нагреванием их гидратов / Л.И. Мартыненко [и др.] // Изв. АН СССР, сер. хим. 1984. № 6. С.1207-1211.
12. Сидоренко, Г.В. Давление паров β -дикетонатов уранила / Г.В. Сидоренко, Д.Н. Суглобов, К.Г. Голодова // Радиохимия. 1984. Т. 26, № 4. С. 478-482.
13. Игуменов И.К. Изучение летучести некоторых β -дикетонатов меди(II) / И.К. Игуменов, Ю.В. Чумаченко, С.В. Земсков // Коорд. Химия. 1978. Т. 4, № 2. С. 163-169.

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ-ПОЛОСЫ С ВЫСОКОКОНТРАСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛА

Nguen Le

dinhnguyen081017@gmail.com;

Научный руководитель — Г. И. Михасёв, доктор физико-математических наук, профессор

Рассматривается изотропная трехслойная полоса с высококонтрастными упругими свойствами. Исходя из двухмерной теории упругости выведены уравнения, описывающие изгиб и динамику полосы-балки, а также уравнения типа Тимошенко-Рейсснера, описывающие длинноволновую динамику трехслойной балки-полосы под действием объемных сил.

Ключевые слова: трехслойная балка-полоса; высококонтрастные свойства; сдвиги; колебания; уравнение типа Тимошенко-Рейсснера.

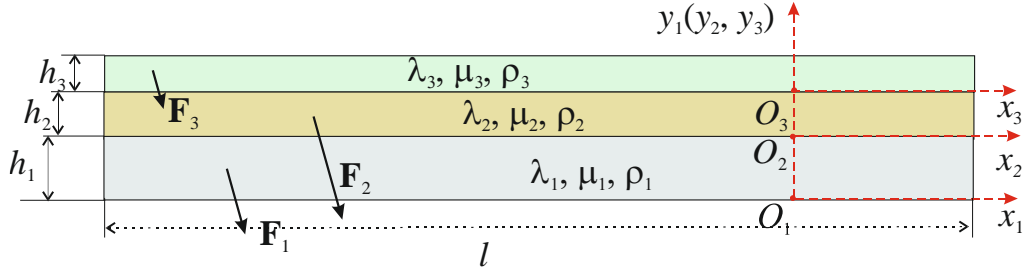
ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] методом асимптотического интегрирования двухмерных уравнений упругости по толщине с последующим осреднением всех переменных параметров, авторами получены уравнения, описывающие изгиб и динамику полосы-балки типа Тимошенко-Рейсснера с учетом поперечных сдвигов. Аналогичный асимптотический подход использован в статье [2] при исследовании низкочастотных колебаний двухслойной полосы-балки с высококонтрастными механическими свойствами, однако, в отличие от работы [1], авторами выполнено асимптотическое интегрирование по толщине обоих слоев с выполнением граничных условий неразрывности на интерфейсной поверхности. Целью данной работы является распространение методики, разработанной в [2], для вывода уравнений, описывающих низкочастотную динамику трехслойной полосы-балки, состоящей из жесткого ядра и двух «мягких» лицевых слоев.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим трехслойную полосу, состоящую из изотропного упругого жесткого ядра и двух изотропных относительно мягких слоев, жестко прикрепленных к заполнителю. Каждый слой толщиной h_k характеризуется константами Ламе λ_k, μ_k и плотностью материал ρ_k , где $k=1,3$ и $k=2$ соответствуют внешним мягким слоям и жесткому ядру, соответственно. В общем случае материал внешних слоев можно рассматривать как вязкоупругий с комплексными параметрами λ_j, μ_j ($j=1,3$).

Системы координат для каждой полосы приведены на рисунке, где $x_1 = x_2 = x_3 = x$ и $0 \leq y_k \leq h_k$. На балку-полосу действуют объёмные силы $F_k = (f_1^{(k)}, f_2^{(k)})$, где $f_\zeta^{(k)}(x_k, y_k)$ являются функциями продольной и поперечной координат x_k, y_k . Возможные внешние силы, действующие на мягкие облицовки, считаются слабыми и не учитываются



Трёхслойная балка-полоса под действием объёмных сил. Системы координат

Материал для каждого слоя предполагается изотропным и подчиняется классическому Закон Гука $s_{ij}^{(k)} = \lambda_k e_{ii}^{(k)} \delta_{ij} + 2\mu_k e_{ij}^{(k)}$.

Введем малый параметр и соотношение модулей упругости слоев:

$$\varepsilon = h/l, \quad h = h_1 + h_2 + h_3, \quad E_m' / E_2 = \varepsilon^2 \zeta_m, \quad \zeta_m \ll 1, \quad m = 1, 3. \quad (1)$$

Здесь E_2 – модуль Юнга упругого жесткого ядра, $E_m' = \Re E_m$ – действительная часть комплексного модуля Юнга для m -го мягкого слоя. Введем безразмерные переменные

$$x = l\xi, \quad y_k = h_k z_k, \quad \{u_1^{(k)}, u_2^{(k)}\} = h \{u^{(k)}, w^{(k)}\},$$

$$s_{ij}^{(k)} = E_k' \sigma_{ij}^{(k)}, \quad f_2^{(k)} = \frac{E_k'}{h_k} \hat{f}_2^{(k)}, \quad f_1^{(k)} = \frac{\varepsilon E_k'}{h_k} \hat{f}_1^{(k)}, \quad i, j, k = 1, 2. \quad (2)$$

Далее рассматриваем низкочастотные изгибные колебания с большим характерным размером деформации, для которых справедливы следующие асимптотические оценки [1,2]:

$$w^{(k)} = \varepsilon^{-4} W^{(k)}, \quad u^{(k)} = \varepsilon^{-3} U^{(k)}, \quad \sigma_{12}^{(k)} = \varepsilon^{-1} \tau^{(k)}, \quad \sigma_{22}^{(k)} = \sigma^{(k)} \quad (3)$$

где $W^{(k)}, U^{(k)}, \tau^{(k)}, \sigma^{(k)} \ll 1$ – безразмерные нормальное и тангенциальное перемещения, а также напряжение сдвига и нормальное напряжение, соответственно.

Уравнения равновесия двухмерной теории упругости, с учетом (1) – (3), можно свести к следующей системе дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial W^{(k)}}{\partial z} = -\varepsilon^2 \kappa_k c_v^{(k)} \frac{\partial U^{(k)}}{\partial \xi} + \varepsilon^4 \kappa_k c_3^{(k)} \sigma^{(k)},$$

$$\frac{\partial U^{(k)}}{\partial z} = -\kappa_k \frac{\partial W^{(k)}}{\partial \xi} + \varepsilon^2 \kappa_k c_g^{(k)} \tau^{(k)},$$

$$\frac{\partial \tau^{(k)}}{\partial z} = -\kappa_k c_0^{(k)} \frac{\partial^2 U^{(k)}}{\partial \xi^2} - \varepsilon^2 \kappa_k c_v^{(k)} \frac{\partial \sigma^{(k)}}{\partial \xi} + \varepsilon^2 \eta_k \frac{\partial^2 U^{(k)}}{\partial t^2} - \varepsilon^2 f_1^{(k)}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \sigma^{(k)}}{\partial z} = -\kappa_k \frac{\partial \tau^{(k)}}{\partial \xi} + \eta_k \frac{\partial^2 W^{(k)}}{\partial t^2} - f_2^{(k)}.$$

Граничные условия на лицевых поверхностях являются однородными, а на интерфейсных поверхностях ставим условия неразрывности деформаций.

УРАВНЕНИЕ ТИПА ТИМОШЕНКО-РЕЙССНЕРА

Решение уравнений (4) ищем в виде рядов по степеням малого параметра. Асимптотическое интегрирование уравнений (4) приводит к последовательности краевых задач на каждом слое. Решение краевых задач нулевого приближения с учетом граничных условий на лицевых и интерфейсных линиях, приводит к уравнению типа Бернулли-Эйлера, описывающее динамику эквивалентной однослойной балки-полосы.

Из рассмотрения первого приближения получаем модифицированное уравнение, предсказывающее динамику эквивалентной однослойной балки с учетом поперечных сдвигов и свойств мягких слоев:

$$I_r \frac{\partial^4 u_2^0}{\partial x^4} + J_r \frac{\partial^4 u_2^0}{\partial t^2} = E_2 F(x/l). \quad (5)$$

Где

$$I_r = \frac{1}{12} \left[\frac{E_2 h_2^3}{1 - \nu_2^2} + \frac{E_1 h_1}{1 - \nu_1^2} (4h_1^2 + 6h_1 h_2 + 3h_2^2) + \frac{E_3 h_3}{1 - \nu_3^2} (4h_3^2 + 6h_3 h_2 + 3h_2^2) \right], \quad (6)$$

$$\mathbf{J}_r = \sum_{k=1}^3 \rho_k h_k - \rho_2 h_2^3 \left[\frac{1}{5} + \frac{1 + \nu_2}{12(1 - \nu_2)} \right] \frac{\partial^2}{\partial x^2}.$$

Здесь, $F(x)$ – приведенная к исходной поверхности равнодействующая объемных сил, I_r – приведенная к исходной поверхности изгибная жесткость, а J_r – модифицированный дифференциальный оператор инерции [2]. Уравнение (6) учитывает сдвиги в твердом ядре и относится к модели типа Тимошенко-Рейсснера [1]. В отличие от модели, предложенной в [1] и основанной на осреднении всех характеристик по толщине балки/пластины, уравнение (6) может быть использовано для случая, когда упругие и вязкоупругие свойства составляющих слоев отличаются высокой контрастностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена трехслойная полоса, состоящая из изотропного упругого жесткого ядра и двух изотропных относительно мягких слоев, жестко прикрепленных к заполнителю. С использованием асимптотического интегрирования двухмерных уравнений упругости по толщине слоев, выведено дифференциальное уравнение, предсказывающее деформацию изгиба и свободные низкочастотные колебания балки-полосы, соответствующее модели типа Тимошенко-Рейсснера.

Библиографические ссылки

1. *Tovstik P, Tovstik T.* Generalized Timoshenko-Reissner models for beams and plates, strongly heterogeneous in the thickness direction // *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics.* 2017. Vol. 97 (3). P. 297–308.
2. *Mikhasev G., Le N.* Asymptotically Correct Analytical Model for Flexural Response of a Two-Layer Strip with Contrast Elastic Constants // *In: H. Altenbach, A. Berezovski, F. dell'Isola, A. Porubov (eds) Sixty Shades of Generalized Continua. Advanced Structured Materials.* 2023. Vol. 170. Cham: Springer. P. 517–540.

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

INTERNAL STRESS OF FCC AND BCC HIGH ENTROPY ALLOYS IRRADIATED BY HELIUM

P. Wang, X. Wang

uglov@bsu.by;

Supervisor — V. V. Uglov, Doctor of Science, Head of the Solid State Physics Department

In this paper, we explore the comparison of irradiation damage and ion concentration of face-centered cubic (FCC) phase and body-centered cubic (BCC) phase high entropy alloys. We conclude that the irradiation damage of FCC is higher than that of BCC phase HEAs. The change of residual stress and the dislocation density ratio of residual stress under different phases shows that the degree of distortion of BCC is higher than that of FCC phase HEAs under irradiation.

Key words: high entropy alloys; helium; microstress, macrostress; dislocation.

INTRODUCTION

The good performance of institutional materials under harsh conditions such as high temperature and high radiation is a guarantee of safe and reliable nuclear energy. Therefore, high-entropy alloys (HEAs) containing several major elements have emerged and have shown extremely high performance. The ability to accumulate lattice strain conferred radioresistance to HEAs.^[1] Lattice strain increases with increasing chemical complexity.^[2] This article compares the irradiation damage results of high entropy alloys under face centered cubic structure and body centered cubic structure, as well as the changes in residual stress and dislocation density of crystals before and after irradiation with fluence $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$.

RESULTS AND DISCUSSIONS

We have simulated the disordering dose and ion concentration of FCC and BCC under helium ion irradiation as a function of depth, respectively, using the SRIM program. As shown in the figure 1(a) and 1(b), the peak position of FCC and BCC-HEAs are almost the same, which is between 150-200nm. FCC-HEAs has higher atom displacement and thus higher irradiation damage, while the BCC-HEAs has higher ion concentration.

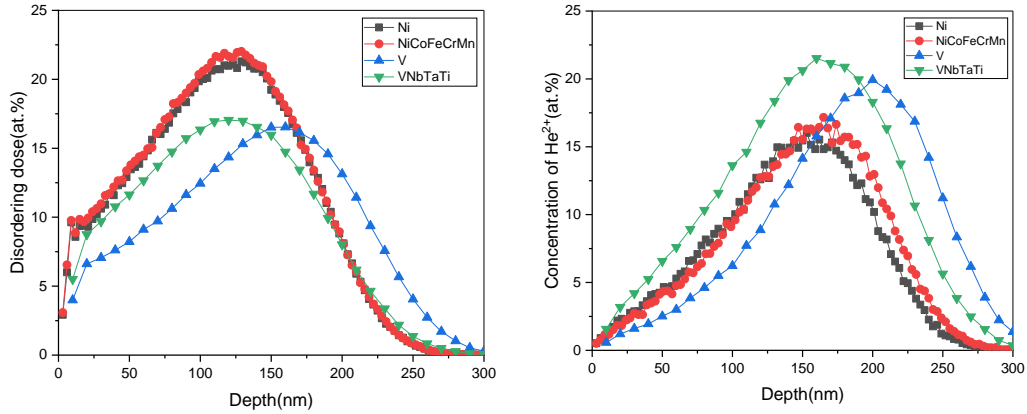


Fig. 1. The disordering dose and ion concentration of FCC and BCC-HEAs under helium ion irradiation as a function of depth, respectively

Using XRD and glancing X-ray diffraction (GXRD) methods, we obtained the changes in macrostress and density dislocation of FCC and BCC high-entropy alloys before and after helium ion irradiation. As shown in the figure, a positive value represents stretching and vice versa a negative value represents compression. As can be seen in Figure 2(a), the macrostress of the FCC-HEAs is in a tensile stress before irradiation, and irradiation leads to compression, which in turn shows negative values, and the “wall” becomes more effective with increasing of chemical complexity. For the BCC-HEAs, it is always in compression, and irradiation also enhances the effect of compression, and the alloy also has an increasing trend of compression effect before adding Ti elements again. In contrast, the compression effect of BCC after irradiation is significantly stronger than that of FCC.

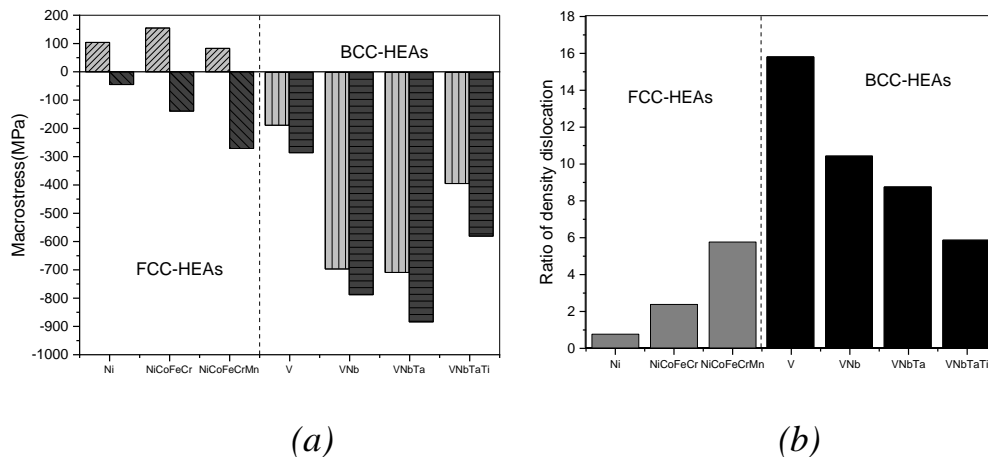


Fig. 2. (a) Macrostress of FCC and BCC HEAs; (b) The ratio of dislocation density for FCC and BCC-HEAs

Also, we explored the density of dislocation. In previous studies, it was found that the higher the irradiation dose (radiation damage), the higher the degree of radiation hardening of metal materials.^[3] For convenience, we performed

a post-irradiation to pre-irradiation ratio, as shown in Figure 2(b). We can see that for FCC high entropy alloys, the density of the ratio of dislocation increases with increasing elements, while for BCC it keeps decreasing. For the BCC phase, the increase in compositional complexity promotes the accumulation of the ratio of dislocations, but also enhances radiation resistance.^[1] So in Figure 2(b), as the elements increase, the ratio of the dislocation density after irradiation to the initial state dislocation density gradually decreases. From Figure 2(b), BCC solid solution will have higher strength compared to FCC solid solution. The difference in hardness of soft FCC alloys and hard BCC alloys can enable them to meet different needs respectively.

CONCLUSION

In this article, we focus on the difference on macrostress and density of dislocation between FCC and BCC-HEAs under irradiation with helium ions. By comparison we can conclude that FCC-HEAs suffer higher irradiation damage at the same dose of irradiation.

References

1. *B. P. Thirathipviwata, G. Songc, J. Bednarcikd,e, U. Kühn.* Compositional complexity dependence of dislocation density and mechanical properties in high entropy alloy systems[J].2020.
2. *M. Dias, S. Magalhães, F. Antão,* et al. Damage threshold of CuCrFeTiV high entropy alloys for nuclear fusion reactors[J].Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms,2022,529:49-55.
3. *Z. Cheng, J. Sun, X. Gao,* et al. Irradiation effects in high-entropy alloys and their applications[J].Journal of Alloys and Compounds,2023,930.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ЭКСПОНИРОВАНИЯ БЛИЖНЕГО И ДАЛЬНЕГО УФ-ДИАПАЗОНОВ

Д. А. Асиненко

fiz.asinenko@bsu.by;

*Научный руководитель — Л. С. Хорошко, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Лабораторная установка экспонирования ближнего и дальнего УФ-диапазонов содержит два источника УФ-излучения (365 и 275 нм) и предназначена для реализации экспериментов по фотокатализу, изучению влияния УФ-излучения на свойства материалов в зависимости от времени экспонирования, моделирования условий ускоренного фотостарения материалов в лабораторных условиях.

Ключевые слова: лабораторная установка; ультрафиолетовое излучение; фотокатализ; фотодеградация.

Большое количество экспериментов по исследованию свойств материалов может включать в себя облучение (экспонирование) образцов УФ-излучением различных диапазонов. Такого рода исследования могут проводиться для установления механизмов фотостарения и фотодеградации, влияния локального разогрева на свойства и миграцию дефектов, исследование УФ-стабильности солнечных элементов и материалов для них и т.д. Одной из наиболее масштабных сфер, в которой востребовано УФ-экспонирование, является фотокатализ, который может быть использован для очистки воды и воздуха, самоочистения поверхностей, антибактериальной обработки [1–3]. Классически, эксперимент по фотокатализу представляет собой экспонирование УФ или видимым излучением загрязненных водных растворов или поверхностей, содержащих образцы фотокатализатора. Экспонирование фотокаталитически активных образцов производится чаще всего при помощи ртутных УФ ламп, имеющих линейчатую спектральную характеристику с полосами в диапазоне длин волн от 254 нм до видимого, как правило ограниченную фильтрами. Наиболее часто при помощи таких фильтров для работы отбирается длина волны 365 нм, как наиболее интенсивная и слабо поглощаемая атмосферой и подходящей для большинства фотокаталитически активных широкозонных полупроводников. Несмотря на активные исследования в области сенсбилизации фотокатализаторов к видимой области излучения, УФ возбуждение остается по-прежнему распространенным и востребованным. При этом использование источников дальнего УФ-диапазона помимо собственного антибактериального эффекта также может способствовать эффективному возбуждению и переносу заряда с

глубоких уровней фотокатализатора, что может в разы повысить его эффективность.

Для постоянной работы с максимально широким кругом материалов ртутные УФ лампы и источники на их основе не являются оптимальными с точки зрения безопасности применения. Помимо этого, энергоэффективность таких источников на сегодняшний день оценивается как довольно низкая, регулировка мощности излучения и времени экспонирования в широком диапазоне значений для УФ ламп, как правило, невозможна или крайне сложно реализуется, а обеспечение эксплуатационной безопасности ртутной лампы требует соблюдения дополнительных мер предосторожности.

Совокупность этих факторов вкупе с развитием и улучшением характеристик УФ-светодиодов позволила предложить и создать рабочий прототип установки для экспонирования на основе светодиодных источников. Полученная установка предназначена для проведения автоматизированных серийных исследований образцов материалов-фотокатализаторов различного вида, но может быть использована для широкого спектра задач, связанных с исследованием ускоренного старения покрытий и материалов, исследованием деградации перовскитных материалов и иных устройств фотовольтаики, различных биологических и, в частности, бактериологических исследований, а также – для дезинфекции лабораторного оборудования.

Установка состоит из модуля экспонирования и модуля управления. Модуль экспонирования состоит из шести закрытых независимых камер с индивидуально регулируемыми блоками засветки и фотодатчиками, расположенных на общей подвижной платформе. Также на общей платформе расположена система активного охлаждения и привод платформы. Отдельно расположенный модуль управления обеспечивает питание и обмен данными между установкой и персональным компьютером при помощи разъемных проводных соединений.

Для обеспечения лучших эксплуатационных характеристик и достижения максимальной универсальности в конструкции установки применяются высокоинтенсивные светодиодные источники двух диапазонов УФ – 275 и 365 нм, характеризующиеся узкой полосой в области максимума люминесценции и обладающие возможностью управления интенсивностью излучения. Высокая скорость регулировки интенсивности необходима как для получения более точных экспериментах данных, так и для возможности работы с быстротекущими процессами, что невозможно или крайне затруднительно при использовании ртутных источников. Благодаря использованию наиболее совершенных светодиодов в составе установки можно предполагать также и значительно большее время наработки без значительного изменения характеристик, что наблюдается для УФ-ламп.

Также в конструкцию камер экспонирования включены фотодатчики, спектральная чувствительность которых откалибрована для получения одинаковой величины сигнала при одинаковой процентной мощности облучения. Работа фотодатчиков происходит в отраженном свете благодаря УФ-отражающему покрытию камер экспонирования и позволяет оценивать изменение прозрачности образцов непосредственно в процессе облучения. Помимо этого, датчики используются для обеспечения безопасности оператора установки в случае обнаружения открытия камеры в процессе работы. Благодаря цифровому управлению при помощи персонального компьютера, большому количеству калиброванных независимых каналов и высокой стабильности и скорости изменения характеристик облучения достигается хорошая повторяемость результатов и удобство как в проведении измерений, так и в обработке результатов эксперимента. При помощи специализированного программного обеспечения можно заранее задать программу эксперимента, получать и анализировать данные в процессе проведения измерений и сохранять записи значений, получаемых с датчиков, с временными метками.

Таким образом, разработанная установка экспонирования ближнего и дальнего УФ-диапазонов позволяет реализовывать непрерывное освещение исследуемых объектов (плёночных и/или порошковых фотокатализаторов, плёночных фоточувствительных структур, полимерных инкапсулянтов и др.) в течение заданного времени, осуществлять контроль светового потока и время экспонирования, выбирать режим экспонирования с использованием освещения ближним или дальним УФ-излучением, либо комбинированно. Использование данной установки будет способствовать расширению возможностей экспериментатора по исследованию фотокаталитической активности полупроводниковых катализаторов, использования соактивации УФ-излучением широкозонных полупроводниковых материалов, исследования фотодегradации материалов солнечной энергетики и фотовольтаики.

Библиографические ссылки

1. Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials / J. Schneider [et al.] // Chem. Rev. 2014. Vol. 114. P. 9919–9986.
2. Review on Undoped/Doped TiO₂ Nanomaterial; Synthesis and Photocatalytic and Antimicrobial Activity / S. Yadav [et al.] // J. Chinese Chem. Soc. 2017/ Vol. 64. P. 103–116.
3. Формирование иммобилизованного наноструктурированного диоксида титана, обладающего антибактериальными свойствами / А.В. Баглов [и др.] // Доклады НАН Беларуси. 2019. Т. 63, № 2. С. 157–163.

STUDY OF THE SURFACE LUMINESCENCE PROPERTIES OF DETONATION NANODIAMONDS WITH VARIOUS HEAT TREATMENTS

E. A. Eremenko

egor.eremenko.03@mail.ru;
Supervisor — G. Gusakov, PhD

The luminescent properties of detonation nanodiamonds with different surface layer compositions are investigated. The luminescence, Raman, and IR spectra of 4 samples were obtained and analyzed: initial, air-annealed, vacuum-annealed, and air-annealed with octadecylamine grafting. It was found that the luminescence of samples with a large amount of non-diamond carbon is higher, but this does not explain the sharp increase in luminescence in the sample with an octadecylamine graft.

Key words: nanodiamonds; surface chemistry of nanodiamonds; biomarkers; luminescence of nanodiamonds.

The luminescent properties of detonation nanodiamonds (NA) are widely used in modern science, medicine, and industry. In particular, they can act as markers in biomedical imaging, as a contrast agent for MRI, etc. Researchers distinguish 3 types of luminescence: intrinsic (surface layer luminescence), luminescence caused by defects in the diamond structure (NV, SiV, chromium-containing centres) and luminescence caused by grafting of dye molecules. The mechanism of intrinsic luminescence is not fully understood. According to the most widely accepted theory [1], this luminescence is associated with clusters of non-diamond carbon on the nanodiamond surface. In addition, it was shown in [1] that attaching octadecylamine (ODA) to the surface significantly (by 2 orders of magnitude) increases its intrinsic luminescence. The mechanism of the observed increase in luminescence is also not clear. Based on this, the aim of this work is to study the effect of the functional and phase composition of the surface of ND on its intrinsic luminescence.

The UDA-GO-SP (“Sinta” [2]) nanoparticles, which are a gray polydisperse powder with spherical particles, were used as an experimental material. The average ND particle size is 4-6 nm. In order to modify the functional and phase composition of the nanodiamond surface we use heat treatment of samples in air and vacuum [3]. Annealing in air was carried out at $T = 410$ °C for 10 hours. Annealing in vacuum (10^{-2} Pa) was performed at $T = 700$ °C for 1.5 hours. 4 samples were prepared for the research: initial (I), annealed in air (O), annealed in vacuum (T), and annealed in air with octadecylamine grafting

(C18). We use the NanofinderHigh-End analytical complex to record the luminescence and Raman spectra. IR spectra were obtained on a Vertex 70 Fourier transform spectrometer.

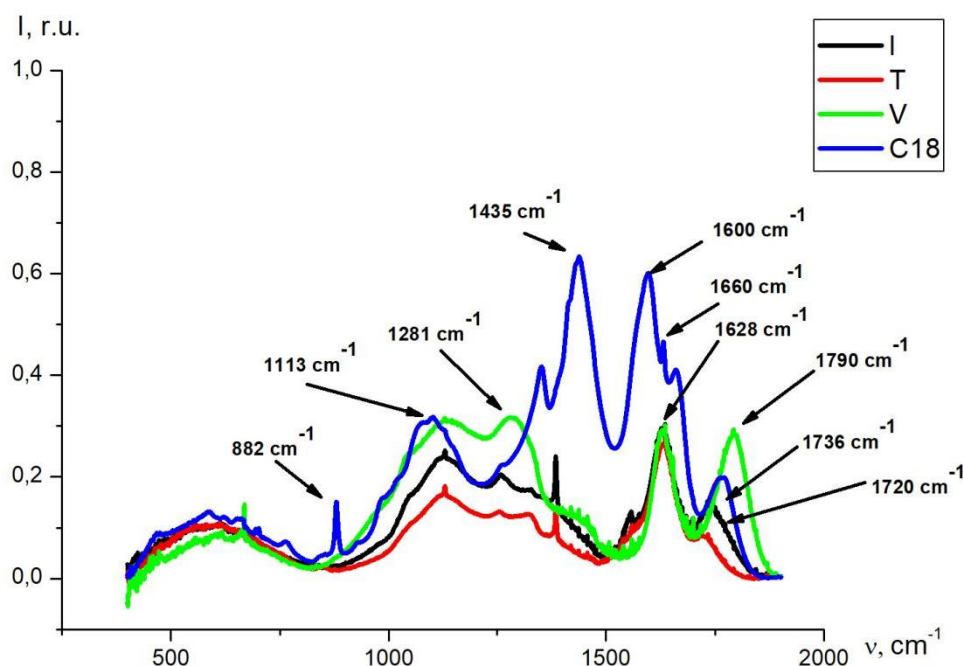


Fig. 1. IR absorption spectra of the studied samples

Let us first consider the infrared absorption spectra of the samples (Fig. 1). The analysis of the spectra was carried out on the basis of data from [4]. It can be seen that the composition of the surface layer of detonation ND is extremely diverse. The bands in the region of 1790-1720 cm^{-1} correspond to fluctuations of carbonyl C=O bonds included in ketone (1720 cm^{-1}), carboxyl (1736 cm^{-1}), lactone and anhydride (1790 cm^{-1}) functional groups (FG), respectively. Sample I contains mainly carboxyl groups. Annealing in vacuum leads to a significant decrease in the concentration of oxygen-containing FG on the ND surface and their conversion to the form of ketones. Annealing in air leads to oxidation of the ND surface, and most oxygen-containing FG are converted to the form of lactones and anhydrides. The formation of anhydrides during annealing in air is confirmed by the appearance of a wide band of 1281 cm^{-1} in the spectrum of sample V.

Let's take a closer look at sample C18. The first band of 1660 cm^{-1} determines the valence vibrations of C=O in primary amides; it indicates the covalent binding of ODA through the formation of peptide bonds. Covalent grafting is also indicated by a decrease in the intensity of the C=O band for C18 compared to V. Anhydride groups were involved in the formation of a peptide bond. Thus, we can talk about both covalently grafted and adsorbed ODA molecules. Two bands of 1600 cm^{-1} and 882 cm^{-1} are characteristic for deformation vibrations

of primary amines. The band 1435 cm^{-1} corresponds to the deformation vibrations of C-H bonds, which are numerous in ocadecylamine. The bands 1628 and 1113 cm^{-1} , which are common to all spectra, correspond to deformation vibrations of OH groups (adsorbed water) and carbon-oxygen bonds. In general, the smallest number of FG contains sample T, and the largest number contains samples V and C18.

Next we analyze the Raman spectra of the samples studied (Fig. 2). A typical Raman spectrum of ND consists of several overlapping bands belonging to different forms of carbon. The analysis used the decomposition of the spectra using several Lorentz functions.

The spectra of all the samples studied can be represented as a composition of 6 bands. The bands $1198.5\text{-}1204.9\text{ cm}^{-1}$ correspond to disordered diamond, $1316.3\text{-}1319.1\text{ cm}^{-1}$ are characteristic of nanocrystalline diamond, $1424.9\text{-}1428\text{ cm}^{-1}$ indicate the presence of polyene structures, $1525.5\text{-}1544.0\text{ cm}^{-1}$ specify the presence of amorphous carbon with a high content of sp^3 -bonds, $1568.4\text{-}1581.5\text{ cm}^{-1}$ show the presence of amorphous carbon with a high content of sp^2 -bonds, $1610.4\text{-}1626.3\text{ cm}^{-1}$ is determined by water (deformation vibrations-OH) [3]. The research shows that modification of the functional composition of the ND surface layer significantly affects its phase composition, since sample T has the largest amount of non-diamond carbon, sample V has the least polyene structures and nanocrystalline diamond, and sample C18 has the smallest amount of non-diamond carbon. Otherwise the composition of the samples is homogeneous.

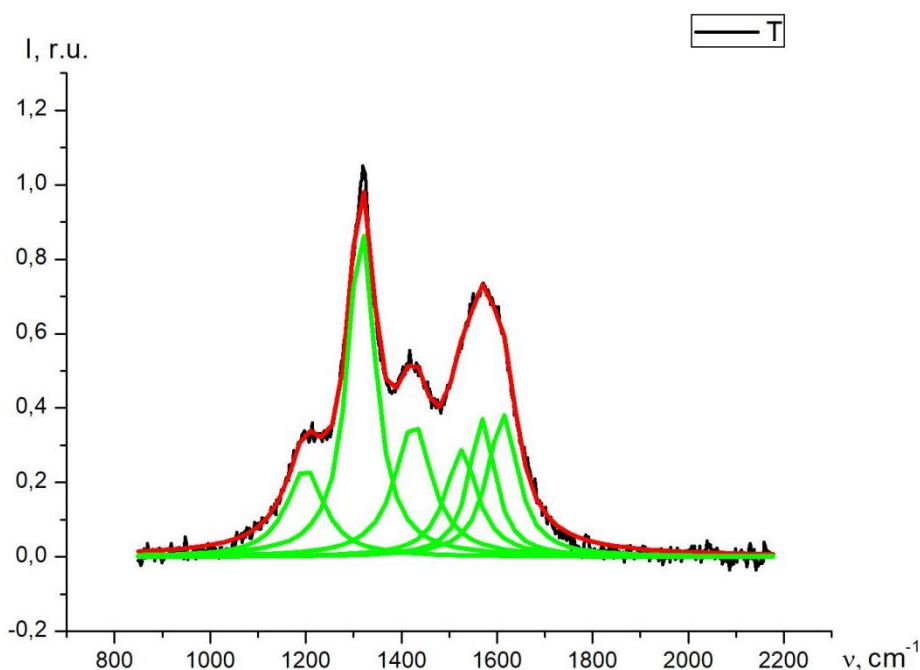


Fig. 2. Example of decomposition of Raman spectra for T sample

The luminescence spectra of the studied samples are shown in Fig. 3a. All spectra were normalized to the intensity of the diamond Raman signal (band 1316-1319 cm⁻¹). The integral luminescence intensity for sample C18 is 1573.4 rel. u., I – 689.7 rel. u., V – 826.0 rel. u., T – 1029.6 rel.u.

Analysis of the results of decomposition of the Raman and luminescence spectra shows that an increase in the amount of non-diamond carbon in the ND structure due to various heat treatments actually enhances the luminescent properties of the samples (see Fig. 3b). However, the insertion of an ODA does not increase the amount of amorphous carbon, which contradicts the assumption in [1]. Nevertheless, the C18 sample does show the highest luminescence intensity (the ratio for samples I and C18 at the peak is ≈ 2.3). This may be due to the polarization of bonds in non-diamond carbon clusters during the insertion of an ODA. For more accurate conclusions about this phenomenon additional research is needed.

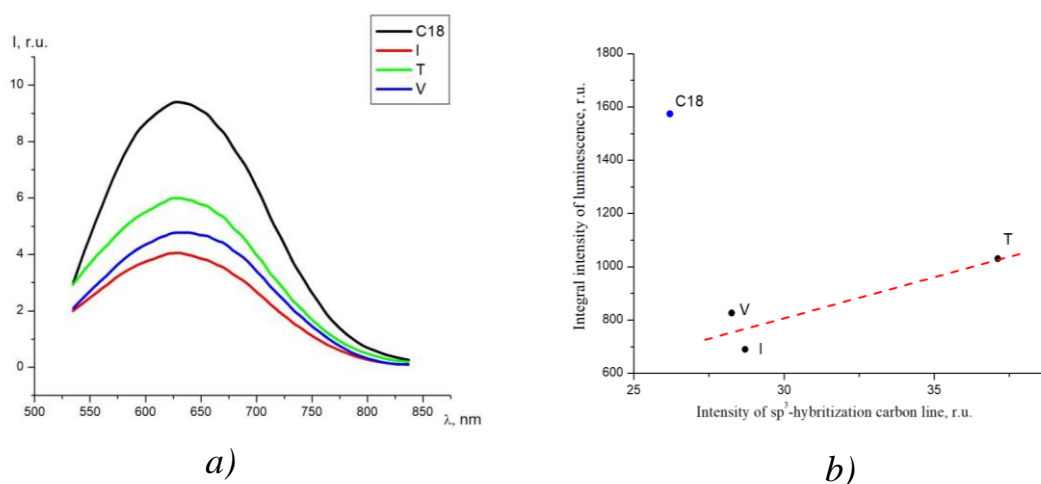


Fig. 3. Luminescence spectra of the studied samples: (a) and the dependence of the integral luminescence intensity on the amount of amorphous carbon with sp^3 -hybridization (b)

References

1. P. Reineck et.al. Effect of Surface Chemistry on the Fluorescence of Detonation Nanodiamonds // *ASC Nano*. 2017, №11, P. 10924-10934.
2. Nanodiamonds // "Sinta" URL: <https://sinta.biz/nanoalmazy> (accessed on 20.02.2023).
3. Gusakov G. A. et al. Modification of the surface of ultrafine diamonds during heat treatment in vacuum // *Journal of Applied Spectroscopy*. 2020, vol. 87, №. 1, P. 33-42.
4. Tarasevich B. N. IR spectra of the main classes of organic compounds. [Reference materials], Moscow: 2012, 55 p.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ САХАРОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА UV-VIS-NIR СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ИХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

П. С. Колодочка

kolodochka.p@gmail.com;

Научный руководитель — М. А. Ходасевич, кандидат физико-математических наук

Разработаны многопараметрические модели классификации рафинированных тростниковых и свекловичных сахаров по спектрам оптической плотности 25 % водных растворов в диапазоне длин волн от 200 до 1380 нм. Выбор спектральных переменных в порядке убывания среднего отклонения оптической плотности от усредненной величины позволил получить 100 % точность классификации сахаров с помощью метода построения классификационных деревьев, метода k ближайших соседей и иерархического кластерного анализа.

Ключевые слова: классификация сахара; спектральный анализ; метод главных компонент; PCA; CART; kNN; иерархический кластерный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Нерафинированные свекловичный и тростниковый сахара отличить не составит труда. Однако рафинированные продукты содержат в себе более 99 % сахарозы, по этой причине отличить их очень сложно. Стандартным в Европе методом определения вида сахара является релаксометрия ядерного магнитного резонанса – дорогостоящий и трудоемкий метод. Необходимо попытаться найти более простой и дешевый метод определения свекловичного и тростникового сахара или их фальсификации.

ЦЕЛЬ

Цель данной исследовательской работы заключается в том, чтобы с помощью UV-VIS-NIR спектроскопии разработать модель, основанную на применении метода главных компонент (PCA, Principal Component Analysis) [1] и методов кластерного анализа, для определения растительного источника рафинированных сахаров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Спектры оптической плотности 25 % водных растворов образцов сахара регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV-3101PC в диапазоне длин волн от 200 до 1380 нм с шагом 1 нм и шириной щели 1 нм. Работа состоит из двух частей. В первой части применялся PCA и кластерный анализ, а во второй – PCA с выбором спектральных

переменных и кластерный анализ. Для первой части работы использовались образцы сахара из 7 стран (Беларусь, Пакистан, Польша, Португалия, Россия, Румыния, Сербия). Из 102 исследованных образцов 55 являются растворами свекловичного сахара и 47 – тростникового. Для второй части работы были добавлены рафинированные тростниковые сахара из Кубы, Италии и России. Некоторые образцы (10 свекловичного сахара, 6 тростникового) были выделены для дополнительной проверки. Таким образом из 94 исследованных образцов 45 являются растворами свекловичного сахара и 49 – тростникового.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перед применением PCA спектры предварительно обрабатывали с помощью центрирования. Для улучшения моделей классификации было необходимо сузить спектральный диапазон. Таким образом, в первой части работы для применения PCA был выбран диапазон 350-1000 нм.

Классификационное дерево (CART, Classification and Regression Tree) [2] было построено на основе полученных главных компонент с применением 10-кратной кросс-валидации. Лучший результат был достигнут при выборе 6 главных компонент. Точность модели составила более 98 %.

Самая высокая точность классификации методом k ближайших соседей (kNN, k Nearest Neighbors) [3] была достигнута в пространстве 3 и 6 РС. Точность составила 94 % при учете 5 ближайших соседей.

При выборе спектрального диапазона 350-1000 нм точность модели, построенной с помощью иерархического кластерного анализа (НСА, Hierarchical Cluster Analysis), не была оптимальной. Для повышения точности выбран спектральный диапазон 200-350 нм и применен PCA. Лучший результат достигнут в пространстве 2 и 8 РС. Точность классификации составила 94 %.

Для второй части работы был использован весь доступный спектральный диапазон (200-1380 нм). Так же было изменено количество образцов. Матрица данных была снова центрирована. Вычислялся модуль средней по всем образцам величины разброса оптической плотности от усредненной величины для каждой спектральной переменной. В порядке убывания данных значений были выбраны 13 спектральных переменных (рис. 1). Такого количества достаточно для построения точных моделей.

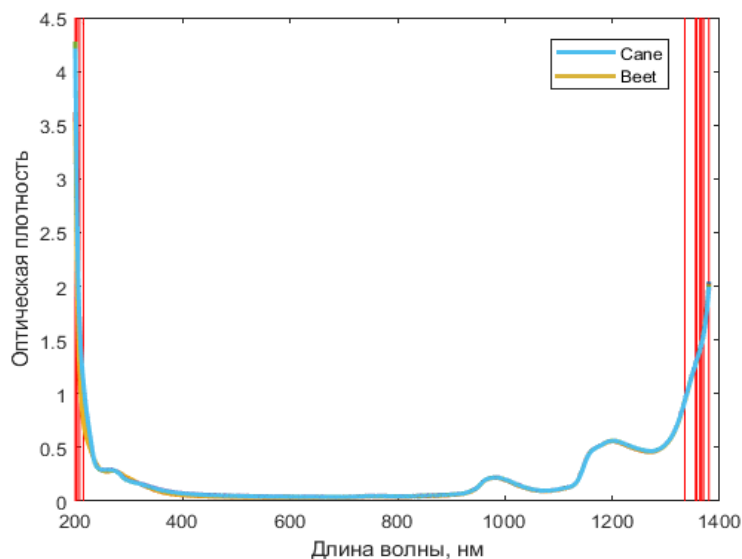


Рис. 1. Спектры оптической плотности сахаров и выбранные спектральные переменные

Для CART была достигнута 100 % точность при построении модели в пространстве 1, 2 и 4 компонент (рис. 2).

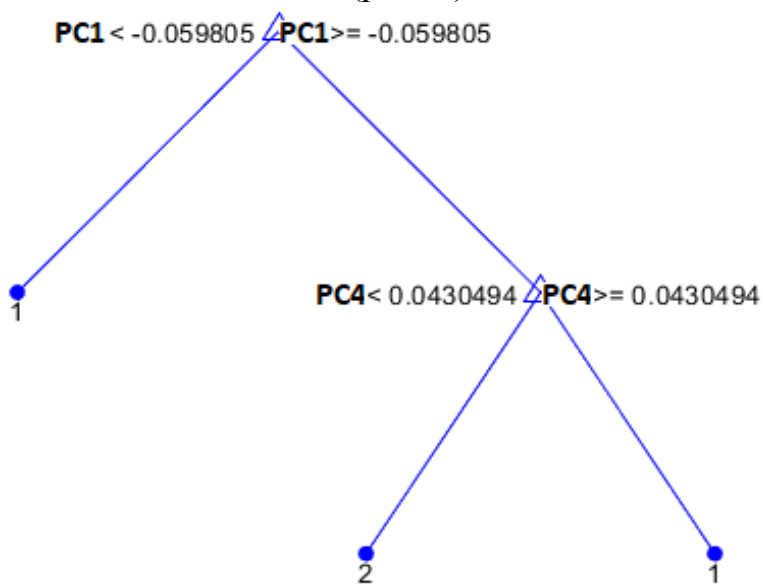


Рис. 2. Классификационное дерево для тростникового (1) и свекловичного (2) типов сахара с выбором спектральных переменных

Метод kNN показал 100 % точность классификации при использовании 1 и 2 компонент и учете 4 ближайших соседей (рис. 3).

100 % точность модели НСА [4] была достигнута при использовании 1, 2 и 4 компонент (корреляционная метрика).

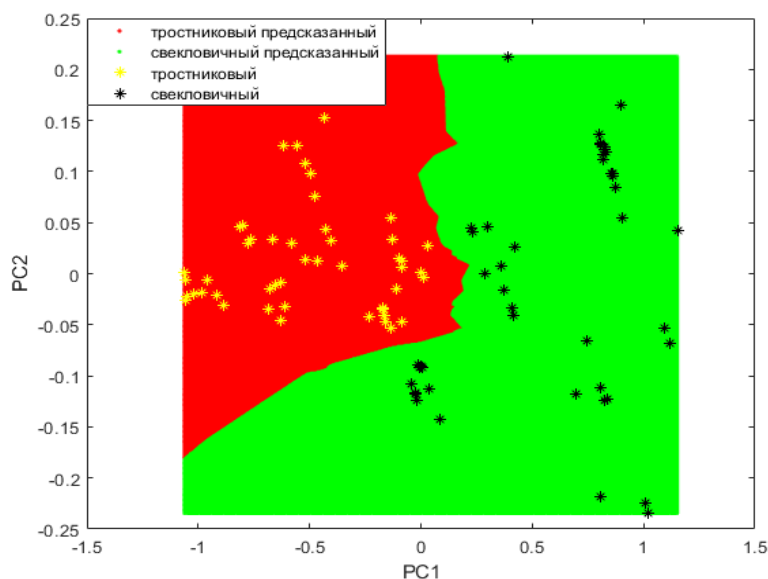


Рис. 3. График классификационной модели kNN с наложением графика счетов с выбором спектральных переменных

ВЫВОДЫ

Использование метода выбора спектральных переменных по уменьшению модуля средней по всем образцам величины разброса оптической плотности для выбора маломерного пространства главных компонент и применения CART, kNN и НСА в нем позволило достичь 100 % точности классификации образцов свекловичного и тростникового сахара.

Таким образом показана возможность замены стандартного дорогостоящего и трудоемкого метода релаксометрии ядерного магнитного резонанса на сравнительно дешевые и простые методы многопараметрического спектрального анализа для достоверной классификации растительного источника сахаров.

Библиографические ссылки

1. Bro R., Smilde A. K. Principal component analysis // *Analytical Methods*. 2014. V. 6. P. 2812–2831.
2. Brown S. D., Myles A. J. Decision Tree Modeling // *Comprehensive Chemometrics (Second Edition)* / ed.: S. Brown, R. Tauler, B. Walczak. Elsevier, 2020. P. 625-659.
3. Berrueta L. A., Alonso-Salces R. M., Héberger K. Supervised pattern recognition in food analysis // *Journal of Chromatography A*. 2007. V. 1158. P. 196–214.
4. Ходасевич М. А., Королько Д. А. Качественный и количественный многопараметрический спектральный анализ // VII конгресс физиков Беларуси. 2023. С. 105-106.

АНАЛИЗ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНОЙ МИКРОСКОПИИ

П. А. Леоник

otaimairon0@gmail.com;

Научный руководитель — А. Б. Михальчев, кандидат физико-математических наук

В работе исследован понятийный аппарат современной микроскопии, рассмотрены основные подходы и методики для реализации сверхразрешения и преодоления классического предела, возможность использования нелинейных свойств ап-конверсионной люминесценции в нанокристаллах. Создан алгоритм для реконструкции с последующим эмпирическим анализом, изучен способ построения матрицы информации Фишера и сделан вывод об эффективности применения данной методики для достижения сверхразрешения. Были смоделированы системы с несколькими точечными источниками и теоретически продемонстрирована эффективность использования ап-конверсионных наночастиц для создания нелинейного отклика.

Ключевые слова: нелинейная микроскопия; сверхразрешение; анализ разрешения; ап-конверсионная люминесценция.

ВВЕДЕНИЕ

Дифракция света ограничивает пространственное разрешение оптических микроскопов и препятствует их применению для анализа элементов, линейные размеры которых меньше длины волны видимого света. В работе предложены сверхразрешающие методики, цель которых – обойти классический предел разрешения в видимом свете. Среди этих методик сверхразрешающая микроскопия на основе флуктуаций [1] и квантовая микроскопия.

Целью данной работы является проведение анализа разрешения в оптической системе, в которой используются ап-конверсионные наночастицы.

РАЗРЕШЕНИЕ В ОПТИКЕ

Пространственное разрешение часто формулируется с помощью критерия Рэлея так: две точки считаются разрешенными, когда глубина «провала» между пиками функций рассеяния точки (ФРТ) каждой из них составляет более 80% их высоты.

Функция Гаусса проста и легко реализуема как модель ФРТ для аппроксимации (рис. 1):

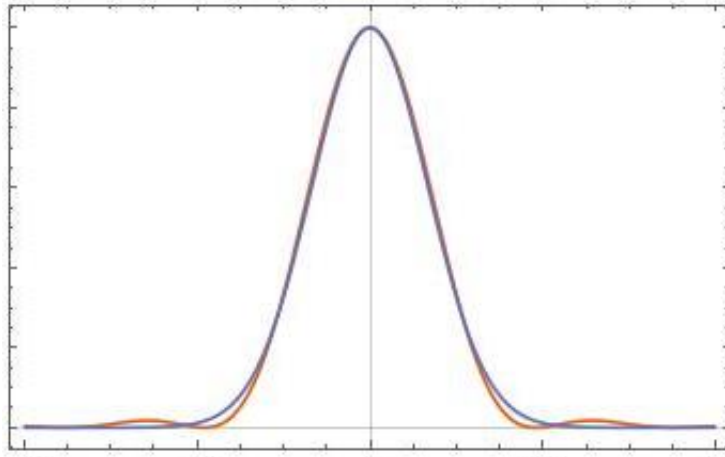


Рис.1. Схематическое изображение аппроксимации ФРТ гауссианом

$$\exp\left(-\frac{x^2}{2\omega_2^2}\right) \approx \left(\frac{2J_1(x/\omega_1)}{(x/\omega_1)}\right)^2,$$

где связь между параметрами ω_1 и ω_2 имеет линейный вид.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРЕЛЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ N-ГО ПОРЯДКА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШИРИНЫ ФРТ

Известно, что квантовая перепутанность является инструментом для повышения разрешения. В работе [2] было показано, что с использованием n перепутанных фотонов и измерения корреляций n -го порядка, можно уменьшить ширину ФРТ в \sqrt{n} раз и обойти дифракционный предел. Интерес представляют методы, основанные на работе с корреляционной функцией $G(n)$, общая идея применения которых сводится к тому, что в результате измерения отклика порядка n можно ожидать улучшение разрешения в \sqrt{n} за счет эффективного возведения в степень n . Таким свойством обладает модель, исследованная в данной работе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АП-КОНВЕРСИОННЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОТКЛИКА

Редкоземельные ионы имеют подходящую структуру электронных уровней для осуществления многофотонных преобразований. В статье 2013 года [3] было предложено исследовать возможность использования нелинейных свойств ап-конверсионной люминесценции в нанокристаллах, легированных редкоземельными элементами для повышения разрешения. Преобразование происходит за счет сложения

двух и более длинноволновых фотонов с низкой энергией в один, обладающий более высокой энергией.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

В основу модели легла схема оптической системы, представленная на рис.2.

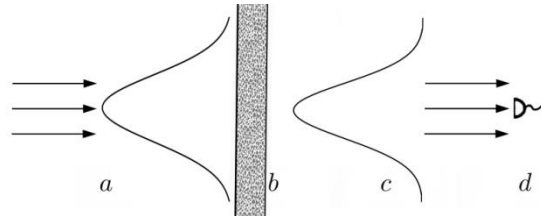


Рис. 2. Схема модельной системы:

a -- первоначальная интенсивность сигнала; *b* - бесконечно тонкий слой содержащий излучатели с нелинейным откликом на возбуждение; *c* - интенсивность сигнала в результате прохождения через слой; *d* - система детектирования

АНАЛИЗ РАЗРЕШЕНИЯ

Наглядно показано на рис. 3, что с повышением степени нелинейности в такой системе предел разрешения по Рэлею падает и опускается значительно ниже классического предела.

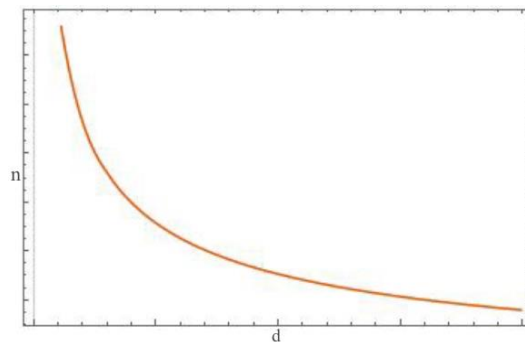


Рис. 3. Зависимость предела разрешения по Рэлею *d* от степени *n*

РЕКОНСТРУКЦИЯ

В рамках работы был разработан программный пакет для реконструкции положений источников излучения: последовательно перебираются квадраты разностей между предполагаемыми (с определенным шагом) положениями источников и картиной, которую необходимо реконструировать, пока не будет найден минимум этой разности.

Ошибку реконструкции определим следующим образом:

$$\Delta^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + (\Delta y_2)^2.$$

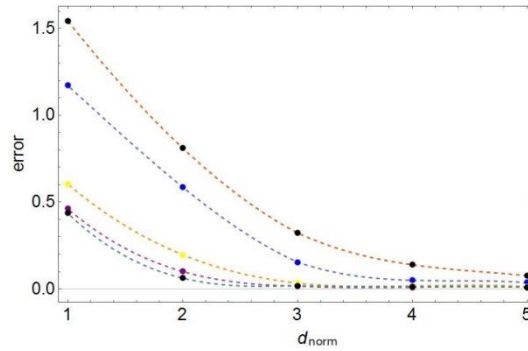


Рис. 4. Увеличение квадрата ошибки реконструкции при уменьшении расстояния между точечными источниками. Показаны случаи со степенями нелинейности от 1 (худший результат) до 5 (лучший)

Эмпирический предел разрешения определялся как точка излома графика при переходе к области, в которой преобладает шум (рис. 4).

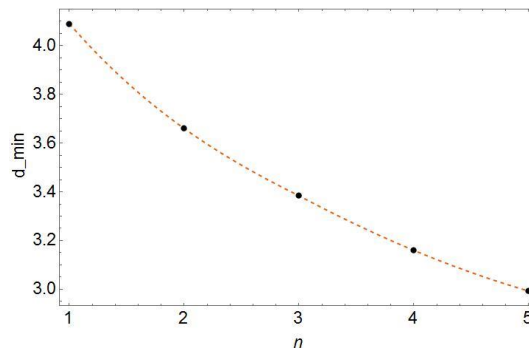


Рис. 5. Зависимость предела разрешения от степени нелинейности

Результаты оценки ошибки путем реконструкции с хорошей точностью совпадают с предсказанием на основе информации Фишера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были смоделированы системы с несколькими точечными источниками и теоретически продемонстрирована эффективность использования ап-конверсионных наночастиц для создания нелинейного отклика.

Библиографические ссылки

1. S. Vlasenko, A. B. Mikhalychev, I. L. Karuseichyk, D. A. Lyakhov, D. L. Michels, and D. Mogilevtsev. "Optimal correlation order in superresolution optical fluctuation microscopy" // Physical Review A. 2020.
2. Shih, Y. An introduction to quantum optics: photon and biphoton physics // Y. Shih. — CRC press, 2018.
3. Caillat, L., Hajj, B., Shynkar, V., Michely, L., Chauvat, D., Zyss, J., & Pellé, F. "Multiphoton upconversion in rare earth doped nanocrystals for sub-diffractive microscopy." // Applied Physics Letters, 2013.

OPTICAL CHARACTERISTICS OF SOLAR CELLS BASED ON STRAIGHT-BAND SEMICONDUCTORS WITH CHALCOPYRITE STRUCTURE

A. K. Mandryk

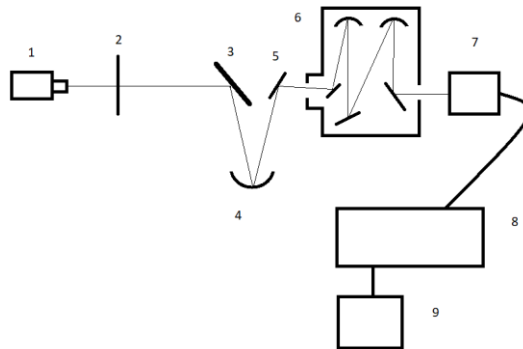
artik.mandrik@gmail.com
Supervisor — V. D. Zhivulko, PhD

Optical characteristics of solar cells based on straight-band semiconductors with chalcopyrite structure at different ratios of gallium and indium concentrations are investigated. Four photoluminescence spectra were obtained for $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ with different ratios of their components, where $x = [\text{Ga}]/([\text{Ga}]+[\text{In}])$. It was found that the right part of the peak of the spectrum is characterized by a sharper drop in intensity than the left part, which may be a consequence of the inhomogeneity of the admixture.

Key words: chalcopyrite; solar cells; average depth of fluctuations; photoluminescence.

Solar cells based on straight-band semiconductors with a chalcopyrite structure are a promising material for creating solar cells. This is due to a number of reasons: the possibility of changing the band gap from 1 eV to 2.4 eV, due to a change in the ratio of semiconductor components; high values of the light absorption index ($3 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$); high stability of characteristics; low cost; high efficiency (up to 23%) [1].

Measurements of the photoluminescence spectrum were carried out using the installation assembled according to Figure 1.



1 – solid-state neodymium laser with a wavelength of 532 nm with a power of up to 500 MW, 2 – modulator, 3 - cuvettes with the test sample, 4 – spherical mirror, 5 – flat mirror, 6 – MDR-23U monochromator, 7 – detector, 8 – amplifier, 9 – computer

Fig.1. Schematic drawing of a CIGS photoluminescence measurement unit

During the measurements, we obtained four photoluminescence spectra for $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ with different ratios of their components, where $x = [\text{Ga}]/([\text{Ga}]+[\text{In}])$, at a temperature of 4.2K. And for different samples x has the

following values: sample 1 $x \sim 0.19$ (figure 2); sample 2 $x \sim 0.21$ (figure 2); sample 3 $x \sim 0.25$ (figure 3); sample 4 $x \sim 0.27$ (figure 3). The BT (band to tail) is caused by the radiative recombination of free electrons with holes at the energy levels of acceptor-type defects that are strongly influenced by potential fluctuations in the crystal lattice of $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ solid solutions [2].

Then the contour of the photoluminescence band was processed, which is characterized by the following formula:

$$I(h\nu) = A \left[1 + \exp\left(-\frac{(h\nu-E_1)}{\gamma_1}\right) \right]^{-1} * \left(1 - \left[1 + \exp\left(-\frac{(h\nu-E_2)}{\gamma_2}\right) \right]^{-1} \right), \quad (1)$$

where A , E_1 , E_2 , γ_1 and γ_2 are variable parameters. The parameters E_1 and γ_1 describe the low-energy side of the band, and E_2 and γ_2 – high-energy γ_1 and γ_2 characterize the average depth of potential fluctuations in the crystal lattice of the studied samples.

The Asym2Sig function from Origin was used for processing, with the help of which the obtained spectra were approximated and the fitting parameters for each of the studied samples were found.

Table – Results of measurements of the average depth of potential fluctuations (γ_1 , γ_2), peak energy (E_{max}) and intensity (I_{max}) in the crystal lattice of various samples (N) $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$

N	E_{max} , meV	I_{max} , r.u.	γ_1 , meV	γ_2 , meV
1	1.039	5.732	1.733	0.969
2	1.127	6.016	2.037	0.877
3	1.145	2.875	2.920	0.742
4	1.154	2.856	2.336	7.530

The graphs show two curves, the curve of black circles is based on experimental data, and the red curve is based on formula 1.

Analyzing the results, we can draw the following conclusions:

1) According to the mathematical processing of the contour of the near-edge photoluminescence band, the average depth of potential fluctuations in the $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ crystal lattice was determined, amounting to $\gamma_1 = 1.733$ MeV for the first sample, $\gamma_1 = 2.037$ MeV for the second sample, $\gamma_1 = 2.920$ MeV for the third sample, $\gamma_1 = 2.336$ MeV for the fourth sample.

2) The right part of the peak is characterized by a sharper drop in intensity than the left part, which may be a consequence of the inhomogeneity of the admixture.

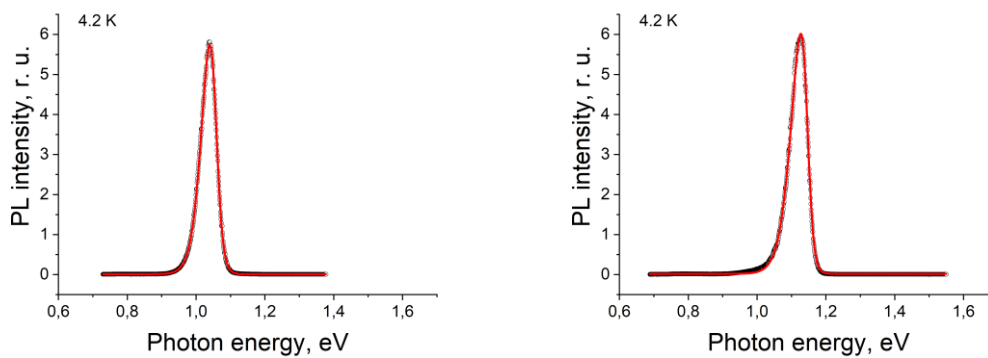


Fig. 2. The photoluminescence spectrum $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ for the first (left, where $x \sim 0.19$) and second (right, where $x \sim 0.21$) samples

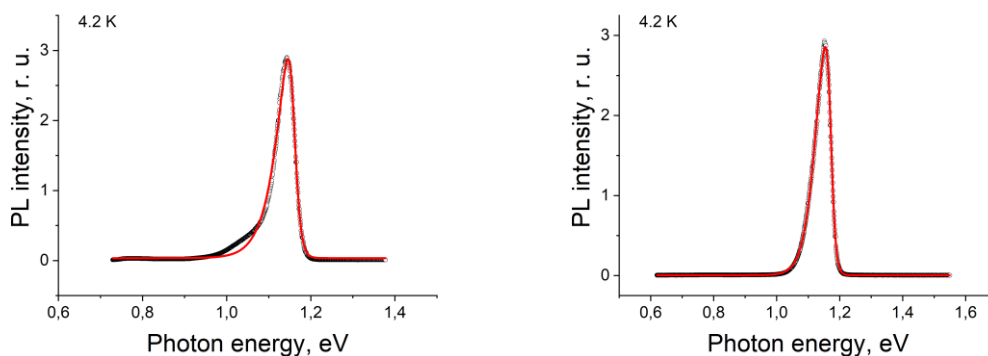


Fig. 3. The photoluminescence spectrum $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ for the first (left, where $x \sim 0.25$) and second (right, where $x \sim 0.27$) samples

References

1. В. Ф. Гременок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. - 1-ое изд. - Минск: Научно-технический центр «ТАТА», 2007. 222 с.
2. Rau, U. Electronic properties of $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ heterojunction solar cells - recent achievements, current understanding and future challenges / U. Rau, H.W. Schock // Appl. Phys. A: Materials Science & Processing. 1999. Vol. A 69. P. 131-147.
3. Rau, U. $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ Solar Cells / U. Rau, H.W. Schock // Series on Photoconversion of Solar Energy. 2001. Vol. 1. P. 277-345.

ФОТОХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ НИТРОФУРАНОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СИНЕГО СВЕТА

Н. Д. Прокопенко, А. Д. Свечко, О. Н. Дудинов

fiz.prokopenND@bsu.by

Научный руководитель — В. Ю. Плавский, кандидат физико-математических наук

Выполнены исследования фотохимической устойчивости фурацилина и фурасола, способных выступать в качестве фотосенсибилизаторов для антимикробной фотодинамической терапии при воздействии излучения синей области спектра. Показано, что облучение водных растворов указанных препаратов светом с длиной волны $\lambda = 405$ нм инициирует их фотодеструкцию. Выявлено, что более устойчивым к действию синего света является фурацилин.

Ключевые слова: антимикробная фотодинамическая терапия; антисептики; фотосенсибилизаторы; фурацилин; фурасол.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработка методов эффективного противодействия патогенной микрофлоре является важной проблемой медицины. Антимикробная фотодинамическая терапия (АФДТ) рассматривается в качестве многообещающего метода лечения локализованных инфекций. Известно, метод АФДТ основан на воздействии света на воспалительный очаг после его предварительной обработки красителем-сенсибилизатором. При фотовозбуждении сенсибилизатора генерируются активные формы кислорода, оказывающие деструктивное действие на патогены. Однако, для широкого применения методов АФДТ необходимы доступные, разрешенные к применению в медицинской практике фотосенсибилизаторы (ФС). При этом разработка технологии получения новых ФС и их медицинская сертификация – длительная, затратная и сложная процедура. Этим обусловлен интерес к лекарственным препаратам, разрешенным к применению в медицине, и которые были предложены ранее для использования в качестве фотосенсибилизаторов [1-3], – нитрофурановым антисептикам фурацилину и фурасолу.

ЦЕЛИ

Цель настоящей работы – исследование фотохимической устойчивости фурацилина и фурасола, и изучение механизма фотофизических и фотохимических процессов, определяющих их фотодеструкцию при воздействии синего света с длиной волны 405 нм,

соответствующей длинноволновым полосам спектра поглощения исследуемых нитрофуранов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены с использованием водных растворов синтетических медицинских препаратов: фурацилин (действующее вещество нитрофуран) концентрацией 0,12% и фурасол (фуразидин калия) производства OlainFarm (Латвия) концентрацией 0,001%. Использовали стандартные спектрофотометрические кюветы с длиной оптического пути 10 мм. Спектры поглощения регистрировали с помощью спектрофотометра SOLAR. Источником синего света при облучении служил полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda = 405$ нм. Плотность мощности оптического излучения на уровне передней стенки кюветы составляла $P = 50$ мВт/см², и контролировалась с помощью измерителя PM100D с фотодиодным датчиком S121C (Thorlabs GmbH, Германия). При проведении исследований закономерностей фотодеструкции фурацилина и фурасола их концентрация подбиралась таким образом, чтобы оптическая плотность на длине волны $\lambda = 405$ нм составляла $D = 0,30$. Исследования по выяснению механизмов фотохимических процессов выполнены с использованием следующих тушителей и перехватчиков АФК: пируват натрия (перехватчик перекиси водорода H_2O_2), *L*-гистидин (тушитель синглетного кислорода 1O_2), маннитол (перехватчик гидроксильных радикалов OH^\bullet) концентрациями 10 мМ, 100 мМ и 40 мМ соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунках 1, а, б представлены спектры поглощения буферных растворов фурацилина и фурасола. Коротковолновый максимум спектра поглощения фурацилина расположен при $\lambda_{max1} = 261$ нм, а длинноволновый – при $\lambda_{max2} = 375$ нм. Соответствующие максимумы спектра поглощения фурасола расположены при $\lambda_{max1} = 291$ нм и $\lambda_{max2} = 397$ нм, следовательно, фурасол характеризуется более длинноволновым поглощением света, чем фурацилин.

Снижение оптической плотности в каждой из полос поглощения в результате воздействия света, а также прирост поглощения на самом длинноволновом склоне полос поглощения фурацилина и фурасола свидетельствует о том, что облучение препаратов приводит к их частичной фотодеструкции.

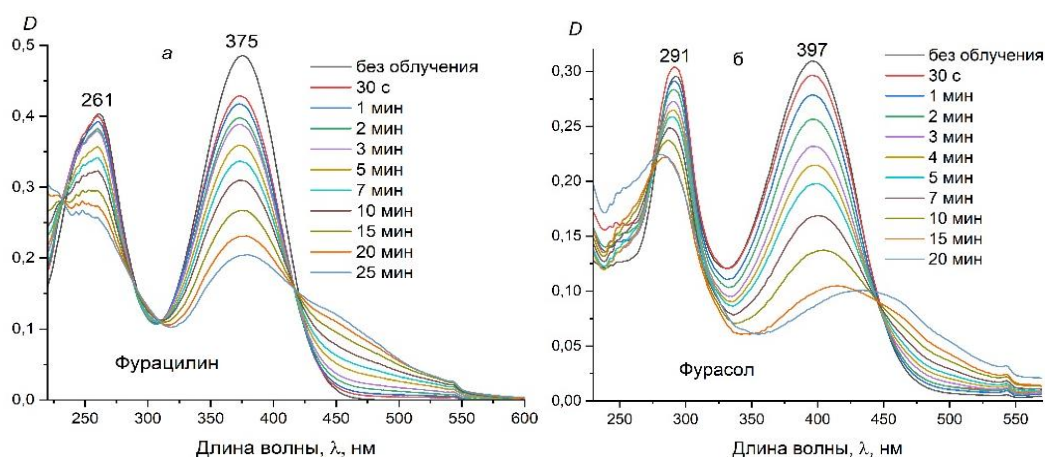


Рис. 1. Изменение спектров поглощения растворов фурацилина: (а) и фурасола; (б) в зависимости от времени воздействия лазерного излучения

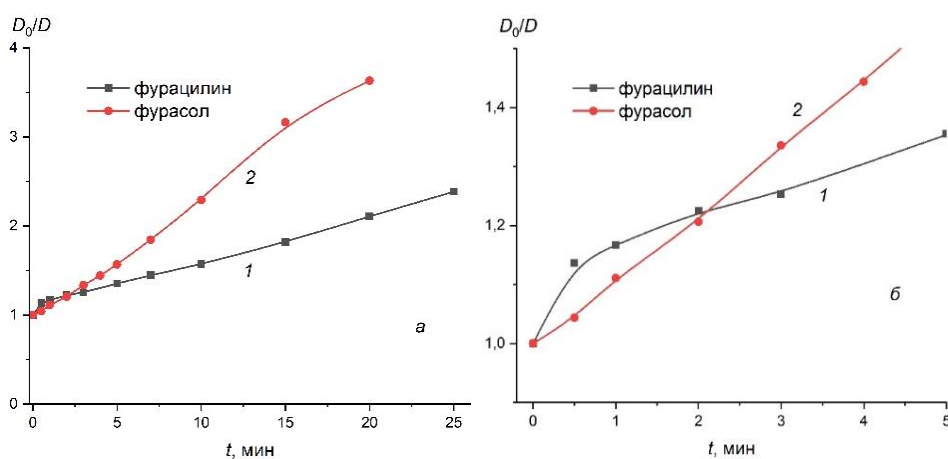


Рис. 2. Изменение величины относительной оптической плотности в максимуме спектра поглощения фурацилина (1) и фурасола (2). Диапазон изменения $t = 0,5-25$ мин (а) и $t = 0,5-5$ мин (б)

Для того, чтобы охарактеризовать фотохимическую устойчивость исследуемых препаратов, в качестве параметра выбрана величина D_0/D , где D_0 и D – оптические плотности растворов в длинноволновом максимуме спектров поглощения до облучения и после облучения в течение заданного времени. Зависимости величины D_0/D от времени облучения водных растворов фурацилина и фурасола представлены на рисунках 2, а, б. Из рисунка 2, а следует, что при длительном воздействии синего света на водные растворы сенсibilизаторов фотодеструкция фурасола происходит быстрее, чем фурацилина. На начальном этапе фотохимического процесса (рис. 2, б) наблюдаются существенные различия в кинетике светоиндуцированного изменения оптической плотности нитрофуранов. Причиной скачкообразного изменения величины $D_0/D = f(t)$ на начальном этапе является быстрая *цис-транс*-фотоизомеризация, характерная для нитрофуранов [4].

Для выяснения механизмов фотохимических процессов, определяющих деструктивное действие синего света на молекулы фурацилина и фурасола, исследовано влияние специфических тушителей активных форм кислорода (АФК) на скорость разрушения препаратов при внесении указанных тушителей в растворы перед их облучением. Выяснено, что такие тушители и перехватчики АФК как гистидин, пируват натрия и маннитол на начальном этапе фотохимического процесса практически не влияют на скорость фотодеструкции фурацилина и фурасола, что может свидетельствовать о неучастии вышеуказанных АФК в процессе светоиндуцированного разрушения нитрофурановых препаратов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, способность нитрофурановых фотосенсибилизаторов фурацилина и фурасола разрушаться под действием синего света следует учитывать при разработке методов антимикробной фотодинамической терапии. Важно отметить, что постепенное фотообесцвечивание верхних слоев препарата способствует более глубокому проникновению света в ткань, где локализованы патогенные микроорганизмы.

Библиографические ссылки

1. *Плавский, В. Ю.* Инновационные методы повышения противомикробной активности антибактериальных препаратов / *В. Ю. Плавский [и др.]* // Инновационные технологии в медицине. 2013 Т.1. С.127-137.
2. *Mikulich, A.V.* Potential of antifungal drugs as photosensitizers / *A.V. Mikulich [et al.]* // *KnE Energy & Physics*. 2018. P. 223–231.
3. *Плавский, В.Ю.* Сенсибилизирующее действие нитрофурановых антисептиков фурацилина и фурасола в отношении микроорганизмов и раковых клеток. / *В.Ю. Плавский [и др.]* // Лазеры в науке, технике, медицине. Сборник научных трудов. ISBN 978-5-902454-23-6, Том 33 /под ред. *В.А.Петрова*. М.: МНТОРЭС им. А.С.Попова, г. Москва, 2022. С. 123-127.
4. *Edhlund, B. L.* Aquatic photochemistry of nitrofurantoin antibiotics / *B. L. Edhlund, W. A. Arnold, K. McNeill* // *Environ. Sci. Technol.* 2006. Vol. 40(17). P. 5422-5427.

SPONTANEOUS SYNCHRONIZATION OF TRANSVERSE MODES. OCCURRENCE OF ANOMALOUS WAVES IN LASERS

A. V. Seliazniou

aleksejsel087@gmail.com;

Supervisor – I. S. Stashkevitch Igor, PhD, associate professor

In this paper, we present the results of a computer algorithm designed to test the hypothesis that the so-called hot spots in a laser beam can be a consequence of the interaction of the transverse modes of the resonator. The intensity distribution in the beam was studied with the interference of several Gauss - Hermite modes

Key words: rogue wave; hot spot; Gauss-Hermite mode; mode interaction.

The phenomenon of rogue waves has been known in laser physics for many years. It has been observed that in high-power lasers, the optical elements or the laser crystal itself can be damaged by spontaneously occurring hot spots of extremely high intensity. It has been suggested that such hot spots arise due to the spontaneous interaction of transverse and/or longitudinal laser modes. However, despite years of research, the underlying factors thought to influence the appearance of hot spots remain elusive. For example, it is now a generally accepted fact that non-linearity is not strictly necessary to observe an increased probability of RW occurrence, and heavy-tailed wave intensity distribution statistics have been reported in purely linear systems. Rather, it is the complex interaction of a large number of resonator modes that leads to an increased likelihood of a hot spot [1].

To test this assumption, the following model was proposed: We limited ourselves to 8 transverse modes (TEM₀₀, TEM₀₁, ..., TEM₂₂, TEM₃₂) and one longitudinal. During the simulation, it was required to set the generation wavelength, the frequency difference between adjacent horizontal and vertical modes, resonator length they are respectively equal to 815 nm, 100 MHz, 82 MHz, 1m these parameters, judging by the results of the study, do not affect the overall picture and will only determine the rate of change of the resulting interference pattern.

To obtain the distribution of the amplitude values of the energy of each mode in the resonator, the following formula was used[2]:

$$U_{m_l} = H_m H_l \exp[\pi/d\lambda(x^2 + y^2)],$$

where H_m and H_l are the Hermitian polynomials of order m and l , respectively, d is the resonator length (for a confocal resonator), λ is the generation wavelength, x and y - coordinates in the beam plane

For the reference point ($t = 0$), we set the moment of complete coincidence of the phases of all modes, while the created algorithm allows you to generate an interference pattern at any subsequent time splitting the modes in pairs and sequentially calculating the amplitudes of the resulting waves as:

$$A_r = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

where A_1 and A_2 are the amplitudes of two waves, and φ_1 and φ_2 are their phases, respectively. And the phase of the resulting wave is equal to the difference $\varphi_2 - \varphi_1$.

Next, the resulting image is divided into a grid of small equal squares, the intensity is measured in the center of each of them, and the average intensity over the entire picture is calculated. We create a diagram that reflects the distribution of these squares by intensities. Rogue wave can be identified by the presence of a long "tail" in this distribution (big kurtosis)[1].

Thus, at the moment of complete mode synchronization ($t = 0$) we obtain a typical hot spot:

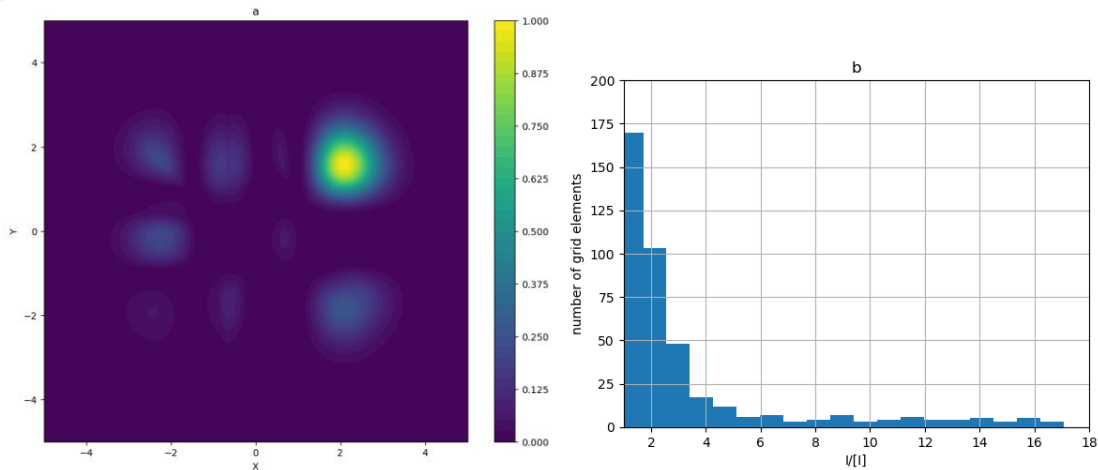


Fig. 1. intensity distribution in the plane of the beam (a), distribution of grid elements (its squares) by intensity, where I – intensity of the element, $[I]$ – average intensity(b)

We observe the outlines of the distribution pattern for the highest order mode (TEM_{32}), however, the intensity in almost all “nodes” of the pattern is extremely low, only in the upper right corner (coordinates (3,3)) we can observe a hot spot - a small region of space with abnormally high intensity. The kurtosis of the distribution shown is $K = 21.25$. Over time, the intensity distribution approached normal, it was still possible to distinguish the pattern characteristic of the TEM_{32} mode, the various nodes of which became brighter or dimmer in a random order, rogue waves were repeatedly observed after the initial moment of time. It is noteworthy that it was at $t=0$ that the kurtosis was the greatest, although it must be borne in mind that the search for hot spots was carried out

manually, and the algorithm needs to be refined to check this, but now it can be assumed that it is at the moment of complete phase synchronization that the hot spots most pronounced. It is also characteristic that hot spots were found only at corner nodes (this was also established using manual search - sequential study of the interference pattern at different points in time, therefore verification by a more advanced algorithm is required).

Next, we added higher order transverse modes (TEM_{33} , TEM_{34}). The processes already described above were observed, the only significant difference is that in this case, the brightness of the nodes of the TEM_{34} mode (higher order mode) dynamically changed over time. Several interference patterns will be shown below to visualize the described dynamics.

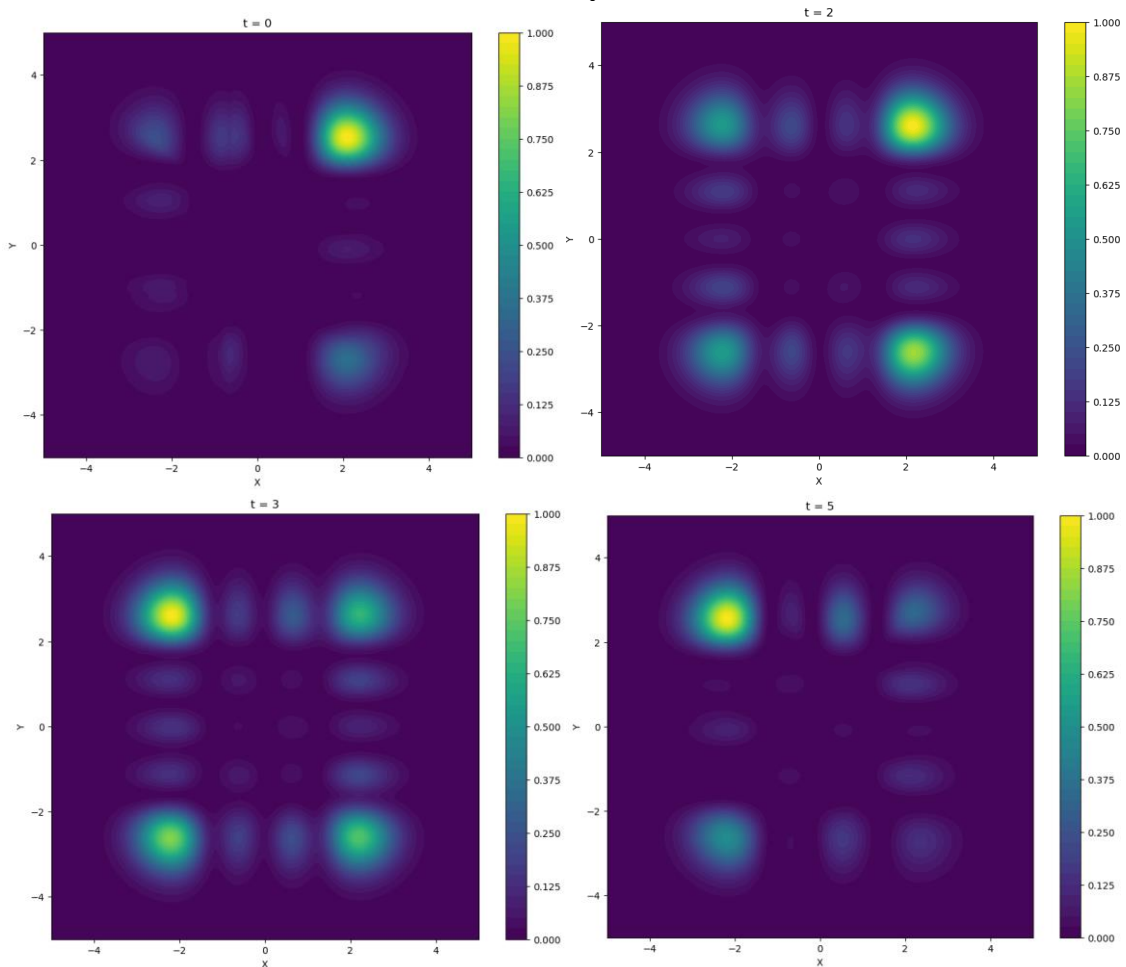


Fig. 2. intensity distribution in the plane of the beam at different points in time ($t = 0, 2, 3, 5$ ns after the moment of complete synchronization)

Also, during the simulation, some repeatability of the observed pattern was noticed, which may indicate periodicity (verification is required).

It is also worth studying the case of a small number of modes, for this we will work with the following configuration: TEM_{00} , TEM_{01} , TEM_{10} , TEM_{11} , TEM_{21} . It was suggested that with an insufficiently large number of interacting

modes, the observation of anomalous waves is impossible or unlikely. After a long study by manually searching for these phenomena, I can say that at the moment it is difficult to disagree with this assumption (I have not found hot spots). Initially, this assumption appeared due to the small size of the highest order mode in comparison with the size of its nodal peaks, this issue is worth investigating at other laser parameters. As already mentioned, with full mode locking, before that it was always possible to obtain a hot spot, and at this moment it was most pronounced, so we will present the distribution of the intensity of the interference pattern at this very moment ($K = 2.45$).

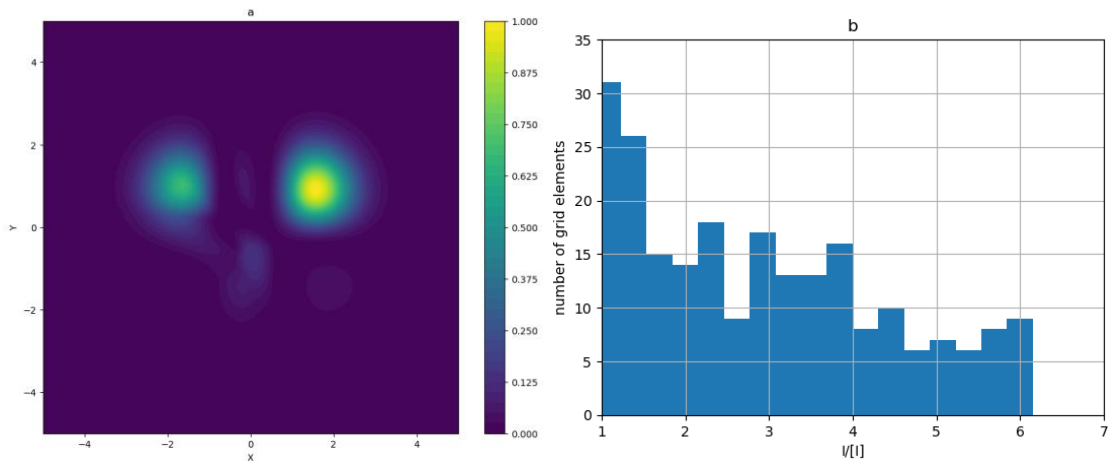


Fig. 3. intensity distribution in the plane of the beam (a), distribution of grid elements by intensity (b)

Based on the results of the work done, it can be concluded that the interaction and spontaneous synchronization of many transverse cavity modes can be responsible for at least some of the events associated with anomalous waves. Our model, limited only by mode interference, allowed us to register the appearance of “hot spots” many times. However, at the moment, the study remains purely qualitative, although it has been demonstrated that the developed algorithm and technique make it possible to investigate rogue waves, significant improvements are required to test the hypotheses put forward.

References

1. *Roza Navitskaya, Ihar Stashkevich, Stanislav Derevyanko, and Alina Karabchevsky*, "Experimental demonstration of spatial rogue waves in the passively Q-switched Nd:YAG laser," *Opt. Lett.* 46, 3773-3776 (2021)
2. *Svelto, O. (2010)*. Passive Optical Resonators. In: Principles of Lasers. Springer, Boston, MA. P. 163–203.

ИЗУЧЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ ЭТАЛОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

О. В. Соболева

soboleva.o.2000@gmail.com;

*Научный руководитель — М. Д. Дежурко, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В данной работе проводилось исследование прецизионных энергетических характеристик блока детектирования Canberra gc4018 на основе особо чистого германия с многоканальным анализатором типа dsa-lx. Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего совершенствования методики работы со спектрометром, используемом для контроля герметичности оболочек твэлов на БелАЭС.

Ключевые слова: германиевый спектрометр; спектры гамма излучения; аппроксимация; калибровочная функция.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение энергетических характеристик полупроводниковых спектрометров имеет большую важность для широкого спектра научных и практических областей, связанных с анализом гамма излучения. В частности, это касается медицинской диагностики, контроля радиационной безопасности в промышленности и науке, а также исследований в области ядерной физики.

Для достижения цели были получены эталонные спектры, построена калибровочная кривая и выявлены точностные характеристики определения значения энергии. Поэтапно проводилась идентификация пиков и расчет их характеристик, расчет калибровочных функций, с помощью которых осуществлялось моделирование спектров путем подбора аппроксимирующих полиномов различных степеней, выбор варианта калибровки с помощью критерия Фишера, а также оценка точности определения энергии с помощью выбранной калибровки.

ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В исследовании использовались следующие эталонные источники гамма-излучения: Am-241, Ba-133, Co-57, Co-60, Cs-137, Mn-54, Na-22. После получения экспериментальных спектров всех источников, были найдены аппроксимации линий каждого спектра. Для определения положения пика применялись различные методы, а именно: метод первых моментов, метод пяти каналов, метод линеаризированной функции, метод

параболизированной функции и визуальный метод [1, с. 101-108]. За итоговое значение положения пика принимается среднее арифметическое всех методов (табл. 1).

Таблица 1

Результаты аппроксимации спектров всех эталонных источников

Нуклид	Энергия	Первых моментов	Пяти каналов	Лианери зированной	Параболы зированной	Визуально	Среднее
Am-241	59,54	328,01	328,18	328,14	328,17	328,0	328,10
Ba-133	53,16	293,32	293,07	293,03	293,07	293,0	293,10
Ba-133	80,99	446,06	446,28	446,24	446,27	446,0	446,17
Ba-133	160,61	884,43	884,36	884,33	884,38	884,5	884,40
Ba-133	223,23	1229,29	1229,03	1229,04	1229,03	1229,0	1229,08
Ba-133	276,40	1521,57	1521,58	1521,58	1521,58	1521,5	1521,56
Ba-133	302,85	1667,18	1667,17	1667,16	1667,17	1667,0	1667,14
Ba-133	356,01	1959,74	1959,70	1959,70	1959,70	1960,0	1959,77
Ba-133	383,85	2112,90	2112,87	2112,86	2112,87	2113,0	2112,90
Cs-137	661,66	3641,73	3641,62	3641,63	3641,62	3641,5	3641,62
Mn-54	834,85	4594,75	4594,61	4594,60	4594,64	4594,5	4594,62
Na-22	511,01	2812,52	2812,56	2812,58	2812,57	2812,5	2812,55
Na-22	1274,53	7014,11	7013,97	7013,95	7013,99	7014,0	7014,00
Co-57 (1)	122,06	672,22	672,28	672,26	672,27	672,0	672,21
Co-57 (1)	136,47	751,58	751,59	751,59	751,60	752,0	751,67
Co-57 (1)	692,41	3808,42	3808,57	3808,37	3808,64	3808,0	3808,40
Co-57 (2)	122,06	672,24	672,30	672,29	672,29	672,0	672,22
Co-57 (2)	136,47	751,59	751,61	751,61	751,62	752,0	751,69
Co-57 (2)	692,41	3808,41	3809,79	3808,80	3809,47	3809,0	3809,09
Co-60	1173,24	6456,44	6456,41	6456,42	6456,35	6456,5	6456,42
Co-60	1332,501	7333,00	7332,81	7332,80	7332,87	7333,0	7332,90
Co-60*	1173,237	6456,64	6456,26	6456,26	6456,20	6456,5	6456,37
Co-60*	1332,501	7332,93	7332,75	7332,68	7332,83	7333,0	7332,84

Точность определения энергии зависит от точности определения положения пиков. Наибольший разброс в определении положения пиков составляет 0,3 канала, что в пересчёте в энергию дает примерно 60 эВ.

Критических отклонений от прямой не наблюдается. Однако, поскольку небольшой разброс имеется, вопрос об аппроксимации квадратичной функцией остается открытым.

АППРОКСИМАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Полученные данные были аппроксимированы методом наименьших квадратов с использованием полиномов 1-ой, 2-ой и 3-ей степеней (табл.2).

Таблица 2

Коэффициенты полинома различных степеней

Степень полинома	a_0	a_1	a_2	a_3
1	-0,113	0,181730	0	0
2	-0,095	0,181710	2,621E-09	0
3	-0,084	0,181690	1,031E-08	-7,16E-12

Коэффициент a_2 ~ в миллиард раз меньше коэффициентов a_0 и a_1 . То есть поправка настолько ничтожная, что изобразить ее не предоставляется возможным. А значит, можно сделать вывод о том, что появление квадратичного, так же, как и параболического членов незначительна.

ВЫБОР ВАРИАНТА КАЛИБРОВКИ ПРИ ПОМОЩИ КРИТЕРИЯ ФИШЕРА

Была принята доверительная вероятность в 5% и вычислены степени свободы для каждой степени полиномов. В результате с достоверностью в 95%, выбиралось критическое значение. Если расчетное значение будет превышать критическое, то гипотеза о том, что квадратичная функция для аппроксимации лучше линейной, верна. [2, с. 96-102]. На (табл. 3) изображены полученные расчетные значения критериев Фишера.

Таблица 3

Значения критериев Фишера

Степень полинома	Сумма квадратов отклонений, εB^2	Количество степеней свободы	Случай	$F_{расч}$	$F_{критич}$
1	0,0050	15	Отношение линейной к квадратичной	1,655	2,3463
2	0,0030	14			
3	0,0026	13	Отношение линейной к кубической	1,910	2,533

Результаты вычислений показали, что критерий Фишера так же, как и величины коэффициентов a_2 , a_0 и a_1 показывают, что линейной функции для аппроксимации данных вполне достаточно.

ВЫВОДЫ

Из проделанной работы можно заключить, что блок детектирования Canberra gc4018 на основе особо чистого германия с многоканальным анализатором типа dsa-1x обладает практически линейной шкалой. Энергетическую калибровку достаточно проводить в виде линейной функции. Однако, поскольку небольшая нелинейность все же присутствует, квадратичную функцию лучше использовать при необходимости очень высокой точности определения положения пика. Также при помощи этой энергетической калибровки можно вычислять погрешность определения энергии, которая в нашем случае составляет 40 эВ.

Библиографические ссылки

1. *Дуглас Р, Норберт Э, Хэйстингс С, Крайнер С.* Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. Справочник. Пер. с англ. М.: ВНИИА, 2007.
2. *Худсон Д.* Статистика для физиков. М: Издательство Мир, 1970.

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК АНТИМОНИДА ИНДИЯ, ИОНАМИ КРИПТОНА С ЭНЕРГИЕЙ 145 МЭВ

Е. В. Тетеруков, Е. А. Колесникова

teterukov67@mail.ru;

Научный руководитель — В. В. Углов, доктор физико-математических наук

В работе рассматриваются результаты исследования структуры и электрических свойств гетероэпитаксиальных пленок антимонида индия, синтезированных методом взрывного термического испарения на подложках арсенида галлия. Пленки были облучены ионами криптона с энергией 145 МэВ и флюенсами 10^{12} и $5 \cdot 10^{12}$ см⁻². Установлено, что в процессе облучения увеличивается величина макронапряжений (59,4 МПа и 506 МПа при флюенсах 10^{12} см⁻² и $5 \cdot 10^{12}$ см⁻² соответственно), что связано с возникающими вдоль границы трека напряжениями. Изменение электрических свойств обусловлено амфотерной природой дефектных комплексов.

Ключевые слова: антимонид индия; эпитаксиальные пленки; ионное облучение; макронапряжения; электрические свойства; постоянная Холла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гетероэпитаксиальные пленки толщиной $(2,20 \pm 0,05)$ мкм InSb были синтезированы методом взрывного термического испарения монокристаллического порошка InSb на полуизолирующие пластины GaAs [1]. Пленки облучались при комнатной температуре ионами Kr с энергией 145 МэВ и флюенсом 10^{12} и $5 \cdot 10^{12}$ см⁻². Для исследования структуры использовалась высокоразрешающая рентгеновская дифракция. Электрические свойства (удельное электросопротивление и эффект Холла) исследовали четырехконтактным методом. Величина макронапряжений определяется сдвигом положения основного дифракционного пика InSb (100) в исходном образце относительно облученного и рассчитывается по соотношению:

$$\sigma = -\frac{E d - d_0}{\nu d_0}, \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние облученного образца, d_0 – межплоскостное расстояние исходного, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены кривые качания исходной пленки и образцов пленок, облученных ионами Kr^+ энергией 145 МэВ дозами 10^{12} $см^{-2}$ и $5 \cdot 10^{12}$ $см^{-2}$.

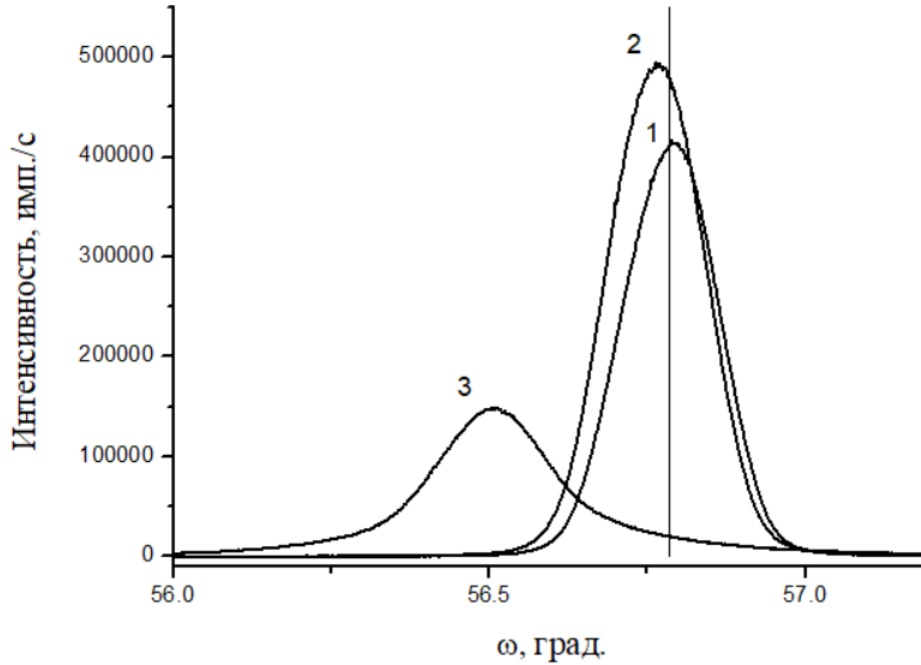


Рис. 1. Кривые качания образцов пленок InSb(100):

1 – исходный; 2 – 10^{12} $см^{-2}$,
3 – $5 \cdot 10^{12}$ $см^{-2}$

Гистограмма изменения величины макронапряжений в зависимости от дозы облучения высокоэнергетическими ионами криптона представлена в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость величины макронапряжений от дозы облучения

Доза, $см^{-2}$	Макронапряжения, МПа
10^{12}	59,4
$5 \cdot 10^{12}$	506

Из полученных данных видно, что при облучении пленок InSb ионами криптона с энергией 145 МэВ наблюдается рост макронапряжений на 59,4 МПа и 506 МПа при флюенсах 10^{12} $см^{-2}$ и $5 \cdot 10^{12}$ $см^{-2}$ соответственно. Предполагается, что рост величины макронапряжений в исследуемых пленках обусловлен взаимодействием поврежденного слоя, индуцированного вдоль треков, и остальной пленкой [2].

В таблице 2 представлены дозовые зависимости удельного сопротивления, концентрации носителей заряда, коэффициента Холла и коэффициента чувствительности пленок InSb при комнатной температуре.

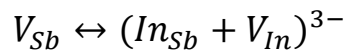
Таблица 2

Электрические свойства пленок InSb, облученных ионами Kr с энергией 145 МэВ: удельное сопротивление (ρ), концентрации (n) носителей заряда, коэффициент Холла (R_H) и холловская чувствительность к магнитному полю (γ)

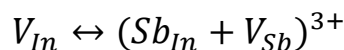
Доза, см ⁻²	ρ , 10 ⁻⁵ Ом·м	n , 10 ¹⁷ см ⁻³	R_H , 10 ⁻⁵ м ³ Кл ⁻¹	γ , мВ·Тл ⁻¹
Исходный	1,64±0,04	2,23±0,02	2,80±0,03	128±2,6
10 ¹²	56,2±0,10	0,55±0,01	11,4±0,10	518±9,9
5·10 ¹²	40,5±0,10	24,2±0,20	0,26±0,01	11,8±0,2

В общем случае сопротивление пленок является интегральной характеристикой, определяемой несколькими параметрами. Одним из таких параметров является концентрация носителей заряда, которая зависит от концентрации и природы радиационных дефектов в пленке. Согласно модели амфотерных дефектов, тип доминирующих дефектов определяется положением уровня Ферми E_F относительно положения уровня в эталоне E_{FS} [3]. Когда $E_F > E_{FS}$ энергия образования акцепторных дефектов уменьшается, поэтому образование собственных дефектов акцепторного типа становится энергетически выгодным.

Из полученных экспериментальных исследований удельного электросопротивления и концентрации носителей заряда в пленках антимонида индия следует, что в процессе облучения в пленке формируются вакансии атомов сурьмы V_{sb} . При условии $E_F > E_{FS}$ такие дефекты релаксируют с переходом атома индия в вакансию V_{sb} и, следовательно, образуется вакансия атома индия:



Такой тип дефекта является акцептором, образование которых приводит к уменьшению концентрации носителей заряда при облучении ионами криптона с энергией 145 МэВ и флюенсом 10¹² см⁻². При этом стоит учитывать, что положение E_F в процессе облучения нестабильно и при достижении некоторой концентрации дефектов становится устойчивым [3]. Увеличение флюенса до 5·10¹² см⁻² при облучении ионами криптона приводит к смещению E_F ниже эталонного уровня E_{FS} . При этом образование донорных комплексов типа:



становится энергетически выгодным, и как вследствие, наблюдается рост концентрации носителей заряда.

Из данных таблицы 2 следует, что облучение пленок флюенсом 10^{12} см⁻² приводит к резкому увеличению чувствительности холловского напряжения к магнитному полю. В частности, это связано с увеличением коэффициента Холла. Уменьшение концентрации носителей заряда при облучении флюенсом до 10^{12} см⁻² приводит к тому, что на торцах пленки скапливается меньший статический заряд, электрическое поле которого компенсирует силу Лоренца, смещающую электроны в магнитном поле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальное исследование кристаллической структуры пленок после облучения с помощью высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии показало рост величины макронапряжений на 59,4 МПа и 506 МПа при флюенсах 10^{12} см⁻² и $5 \cdot 10^{12}$ см⁻² соответственно. Предполагается, что это связано с наличием поврежденного слоя, индуцированного вдоль траектории иона.

Измерения удельного электросопротивления и эффекта Холла показали, что при всех дозах наблюдается значительное накопление радиационных дефектов, что приводит к значительному уменьшению подвижности носителей заряда. С другой стороны, рекомбинационное действие дефектов, обусловленное их амфотерной природой, привело к уменьшению концентрации носителей заряда и, как следствие, увеличению постоянной Холла и чувствительности к магнитному полю γ . Но интенсивное образование донорных дефектов, обусловленное положением уровня Ферми относительно положения в эталонном образце, привело к росту концентрации носителей заряда и резкому уменьшению чувствительности к магнитному полю.

Библиографические ссылки

1. Uglov V. V., Drapezo A.P., Kuleshov A.K., Rusalsky D.P., Kolesnikova E.A. Effect of explosive thermal evaporation conditions on the phase composition, crystallite orientation, electrical and magnetic properties of heteroepitaxial InSb films on semi-insulating GaAs (100). *High Temperature Material Processes* 2021. 25(1): 71-80.
2. Anisotropic plastic deformation by viscous flow in ion tracks / T. van Dillen [et al.] // *Physical Review. B: Condensed Matter and Materials Physics*. 2005. Vol. 71. P. 024103.
3. Walukiewicz, W. Intrinsic limitations to the doping of wide-gap semiconductors / W. Walukiewicz // *Physica B*. 2001. Vol. 302. P. 123–134.

ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОВЫХ НАНОПЛАСТИНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДНК, НА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЙ pH НЕЙТРОФИЛОВ

М. С. Язлыев

yazlyyew909@gmail.com;

Научный руководитель — Е. И. Коваленко, кандидат биологических наук, доцент

В работе с применением флуоресцентного зонда 2',7'-бис(2-карбоксиитил)-5(6)-карбоксифлуоресцеина тетракис-(ацетоксиметилового) эфира изучено изменение pH цитоплазмы нейтрофилов при воздействии графеновых нанопластинок, нековалентно связанных с ДНК. Установлено, что в результате длительного воздействия на нейтрофилы графеновых частиц в высокой концентрации происходит закисление цитозоля нейтрофилов и повреждение клеток.

Ключевые слова: флуоресцентный анализ; графеновые нанопластинки; нейтрофилы; внутриклеточный pH; дезоксирибонуклеиновая кислота.

ВВЕДЕНИЕ

Материалы на основе графена имеют множество перспективных применений. Графен биосовместим и может быть использован в медико-биологических технологиях как компонент биосенсоров, имплантатов, носителей лекарственных веществ, матриц для выращивания культур клеток [1, 2]. Для повышения диспергируемости в водных средах графеновые частицы подвергают ковалентной или нековалентной модификации. Было показано, что графеновые нанопластинки, нековалентно связанные с полианионными молекулами ДНК (ГНП-ДНК), проявляют невысокую токсичность, но в больших концентрациях могут вызывать изменения свойств клеток крови [3]. Функцией иммунных клеток крови нейтрофилов является устранение из организма чужеродных частиц путем их захвата в ходе фагоцитоза или нетоза и разрушения по кислород-независимым механизмам или опосредовано через усиление генерации активных форм кислорода, хлора и азота ферментами НАДФН-оксидазой, миелопероксидазой (МПО), NO-синтазой. Показано, что активация ферментов нейтрофилов, наблюдаемая при проявлении функциональной активности этих клеток, ассоциирована с изменением внутриклеточных значений *pH* [4]. При патологиях и нарушении клеточного функционирования может происходить повреждение систем, отвечающих за регуляцию *pH* внутриклеточной среды. В данной работе поставлена цель изучить влияние ГНП-ДНК на *pH* цитоплазмы нейтрофилов при длительном воздействии в высоких концентрациях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы графеновые нанопластины (ГНП): чешуйки с толщиной до 100 нм, имеющие размер в латеральном направлении от 500 нм до 50 мкм. Для получения ГНП-ДНК частицы ГНП помещали в раствор денатурированной ДНК и озвучивали 30 мин при частоте ультразвука 44 кГц. Нейтрофилы изолировали из крови доноров градиентным центрифугированием с применением гистопака (плотность 1077 кг/м³) и суспензировали в буферной среде Эрла при pH 7,35. В образцы клеток вносили ГНП-ДНК в различных концентрациях и инкубировали в течение 1–3 ч при 37 °С. Контрольные образцы содержали ДНК без ГНП. Затем в образцы добавляли флуоресцентный зонд 2',7'-бис(2-карбоксит-этил)-5(6)-карбокситфлуоресцеина тетраакис (ацетоксиметилловый) эфир (VCECF-AM, $pK_a = 7$) и инкубировали 30 мин. Далее клетки переводили в свежую среду Эрла и в полученных образцах с помощью флуориметра SM2203 («СОЛАР», РБ) регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 531 нм при возбуждении на длинах волн 440 нм (I^{440} , изобестическая точка) и 503 нм (I^{503} , растет с ростом pH). Значения pH рассчитывали по формуле, приведенной в [5]:

$$pH = pK_a - \lg \left[\frac{\left(I^{503} / I^{440} - I_{\text{кисл}}^{503} / I_{\text{кисл}}^{440} \right) \cdot \frac{I_{\text{кисл}}^{440}}{I_{\text{щел}}^{440}}}{\left(I_{\text{щел}}^{503} / I_{\text{щел}}^{440} - I_{\text{кисл}}^{503} / I_{\text{кисл}}^{440} \right)} \right]$$

Для калибровки клетки, загруженные VCECF-AM, разрушали и выполняли титрование с использованием HCl и NaOH, определяя предельные значения параметров в сильно кислой среде с HCl ($I_{\text{кисл}}^{440}$, $I_{\text{кисл}}^{503}$) и сильно щелочной среде с NaOH ($I_{\text{щел}}^{440}$, $I_{\text{щел}}^{503}$).

Статистический анализ полученных данных выполняли в программе Excel. Рассчитывались средние значения и доверительные интервалы (вероятность 95 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обнаружено, что в результате инкубирования нейтрофилов в присутствии ГНП-ДНК в течение длительного времени (1–3 часа) происходит снижение значений pH в цитоплазме клеток по сравнению с контролем, не содержащем ГНП. На рис. 1 приведены данные, характеризующие уменьшение pH при увеличении концентрации ГНП, усредненные для нейтрофилов различных доноров. Статистически достоверные отличия pH наблюдаются при концентрациях ГНП-ДНК 90 и 180 мкг/мл, но не 30 мкг/мл (рис. 1). Ранее было выявлено, что ГНП-

ДНК в высоких концентрациях (десятки и сотни мкг/мл) приводит к начальной гиперстимуляции нейтрофилов, после которой происходит подавление активности клеток. Полученные в настоящей работе данные могут свидетельствовать о повреждении клеток и нарушении регуляции pH .

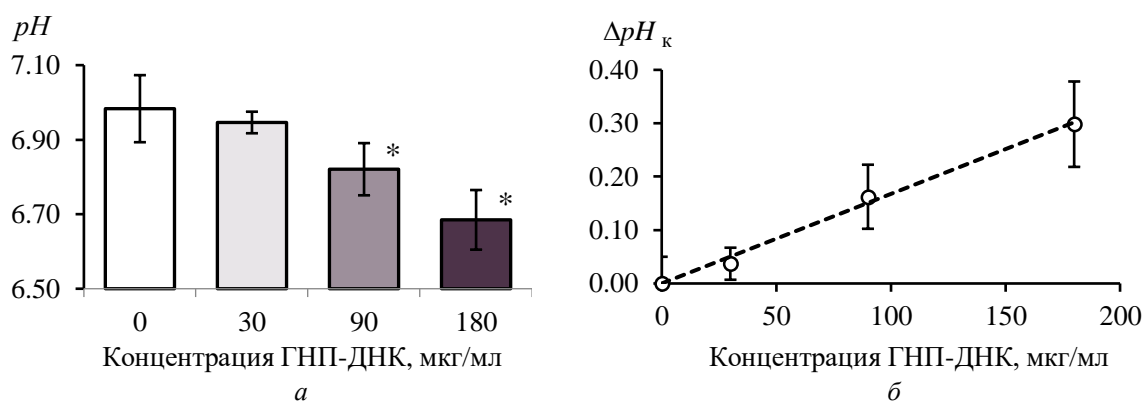


Рис. 1. Значения pH в цитозоле нейтрофилов, инкубированных в течение 2 ч в присутствии ГНП-ДНК в различных концентрациях:
 а – уровень pH в цитозоле; б – отклонение значений цитоплазматического pH в образцах от контрольных значений

Для того, чтобы оценить сохранили ли нейтрофилы способность к функциональному отклику после длительного воздействия ГНП-ДНК, нами изучена реакция клеток на стимулятор формил-метионил-лейцил-фенилаланин (фМЛФ). Этот агент является аналогом пептида бактерий и может вызывать хемотаксис нейтрофилов, дегрануляцию, генерацию супероксида НАДФН-оксидазой, причем время реакции – всего несколько минут. На рис. 2 и 3 показано фМЛФ-индуцированное изменение значений pH в цитоплазме нейтрофилов (время измерения – 10 мин). Из рис. 2 видно, что клетки реагируют на фМЛФ, и при этом наблюдается первоначальное повышение pH в цитозоле всех образцов нейтрофилов – контрольных и подвергнутых предварительному воздействию ГНП-ДНК.

Повышение pH при стимулирующем действии фМЛФ может быть связано с активацией НАДФН-оксидазы [4], и, как следует из рис. 2, проявляется тем сильнее, чем больше было содержание ГНП-ДНК в суспензии нейтрофилов (кривые 3, 4). Как видно из рис. 2, на более поздних этапах скорость повышения значений pH во всех образцах уменьшается, что может быть следствием работы МПО, генерирующей кислоту НОС1 [4]. На рис. 3 приведены значения pH в цитоплазме нейтрофилов спустя 10 мин после внесения фМЛФ. Установлено, что после развития отклика клеток на фМЛФ цитоплазматические значения pH снижены в нейтрофилах, подвергавшихся воздействию ГНП-ДНК 90–180 мкг/мл.

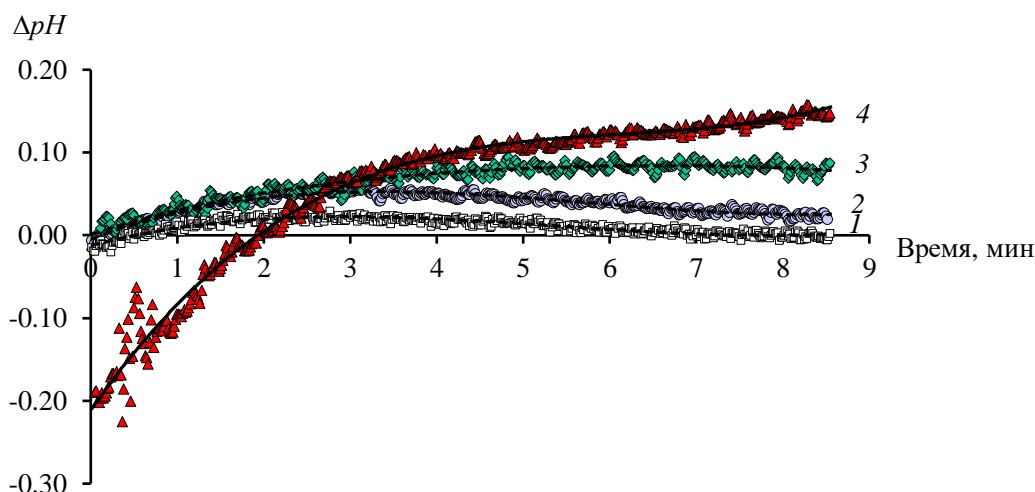


Рис. 2. Кинетические зависимости изменения pH в цитоплазме нейтрофилов, стимулированных фМЛФ, для клеток, подвергнутых воздействию ГНП-ДНК в концентрации (мкг/мл):

1 – 0 (контроль); 2 – 30; 3 – 90; 4 – 180; параметр ΔpH рассчитан по отношению к исходному уровню pH (до момента внесения фМЛФ в суспензию клеток)

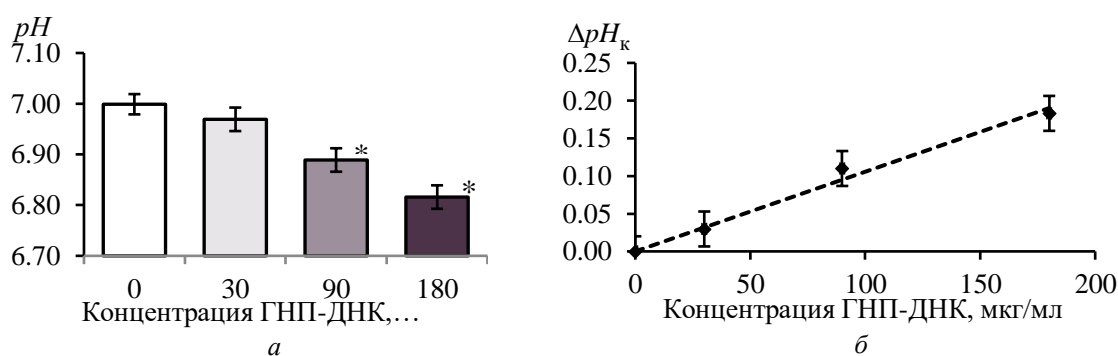


Рис. 3. Значения pH в цитозоле нейтрофилов спустя 10 мин после внесения фМЛФ в суспензии клеток, подвергнутых длительному инкубированию в присутствии ГНП-ДНК; в различных концентрациях:

a – уровень pH в цитозоле; b – отклонение значений цитоплазматического pH в образцах от контрольных значений

Таким образом, в результате длительного воздействия на нейтрофилы ГНП-ДНК в высоких концентрациях выявляются нарушения работы систем регуляции pH в клетках, происходит закисление цитоплазмы, что может быть следствием усиления продукции кислот (например, МПО) и может обуславливать механизмы повреждения и гибели клеток.

Библиографические ссылки

1. Singh S., et al. Graphene nanomaterials: the wondering material from synthesis to applications // Sensors Int. 2022. V. 3. P. 100190.

2. *Yusaf T., et al.* A comprehensive review on graphene nanoparticles: preparation, properties, and applications // *Sustainability*. 2022. V. 14. P. 12336.
3. *Соболевская Е. М., Коваленко Е. И., Кулагова Т. А.* Изменение активности нейтрофилов под действием углеродных наночастиц, функционализированных ДНК // Сб. тез. VII Всерос. конф. молодых ученых «VolgaMedScience», Н. Новгород : НГУ, 2021. С. 113–115.
4. *Foote J. R.* Imaging the neutrophil phagosome and cytoplasm using a ratiometric pH indicator // *J. Vis. Exp.* 2017. V. 122. P. 55107.
5. *Lanz E., Slavik J., Kotyk A.* 2',7'-bis-(2-carboxyethyl)-5(6)-carboxyfluorescein as a dual-emission fluorescent indicator of intracellular pH suitable for argon laser confocal microscopy // *Folia Microbiol.* 1999. V. 44 (4). P. 429–434.

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

И. В. Барышева

baryshevaiolanta@gmail.com;

*Научный руководитель – К. В. Василевский, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Рассматривается метод градиентного бустинга для прогнозирования временного ряда, состоящего из цен на криптовалюту Ethereum. Выявляются достоинства и недостатки применения этого метода для решения данной задачи. Проводится сравнительный анализ результатов прогнозирования, полученных с помощью регрессора градиентного бустинга, и результатов прогнозирования модели линейной регрессии. В результате вычислительного эксперимента с обучением моделей градиентного бустинга и линейной регрессии были получены значения метрик, демонстрирующих качество полученных предсказаний.

Ключевые слова: прогнозирование временных рядов; машинное обучение; градиентный бустинг; линейная регрессия; язык программирования Python.

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозирование временных рядов – это специфическая задача для машинного обучения, так как набор данных временных рядов принципиально отличается от типичной концепции обучающих данных для моделей машинного обучения. Время для такой задачи представляет собой новое измерение, выступающее в роли дополнительной информации для обучения. Поэтому, имея данные, демонстрирующие прошлые и настоящие тенденции, мы получаем возможность предсказывать и будущие тенденции. Таким образом, алгоритмы, использующиеся для предсказания временных рядов, должны обладать важным свойством экстраполяции шаблонов за пределы домена обучающих данных.

В данной работе предлагается изучить новаторский подход к прогнозированию временных рядов – градиентный бустинг. Градиентный бустинг – это продвинутый алгоритм машинного обучения, хорошо зарекомендовавший себя для решения задач классификации и регрессии, однако для задачи прогнозирования временных рядов этот алгоритм стали использовать лишь недавно. Данный метод строит ансамбль из слабых предсказывающих моделей – решающих деревьев. Общая идея алгоритма

заключается в том, что каждая последующая модель стремится свести ошибку предыдущей к минимуму.

Результаты прогнозирования, полученные моделью градиентного бустинга, будут сравниваться с результатами, полученными с помощью линейного регрессора. Для данной работы использовались регрессор градиентного бустинга из библиотеки XGBoost и линейный регрессор из библиотеки Sklearn.

ОПИСАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ

Задача заключается в том, чтобы предсказать временной ряд цен на криптовалюту Ethereum по курсу ETH/USDT, поэтому в этой работе использовались данные с финансовой платформы Binance за 5 лет с однодневным интервалом. Платформа Binance предоставляет финансовые данные в виде OHLCV списка данных, который, в свою очередь, представляет собой список из пяти наиболее важных для финансового анализа типов информации – цену открытия, максимум движения цены, минимум движения цены, цену закрытия и объем торгов за выбранный период.

В данной работе предсказывались значения цены закрытия, а в качестве обучающей выборки данных использовались финансовые индикаторы КАМА (адаптивная скользящая средняя Кауфмана) и VIDYA (скользящая средняя с динамическим периодом усреднения) для цен открытия, максимума движения цен, минимума движения цен и объема торгов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве функции потерь при обучении моделей использовалась метрика MSE (среднеквадратичная ошибка). Такие параметры, как скорость обучения, глубина деревьев и число деревьев, для регрессора градиентного бустинга подбирались автоматически с помощью инструмента GridSearchCV.

Результаты прогнозирования на тестовой выборке представлены в виде следующего графика.

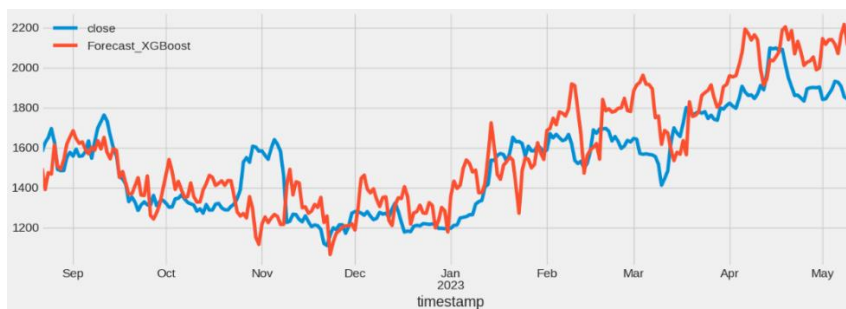


Рис. 1. Результаты прогнозирования алгоритма градиентного бустинга

Таким же образом для дальнейшего сравнительного анализа представлены и результаты прогнозирования модели линейной регрессии.

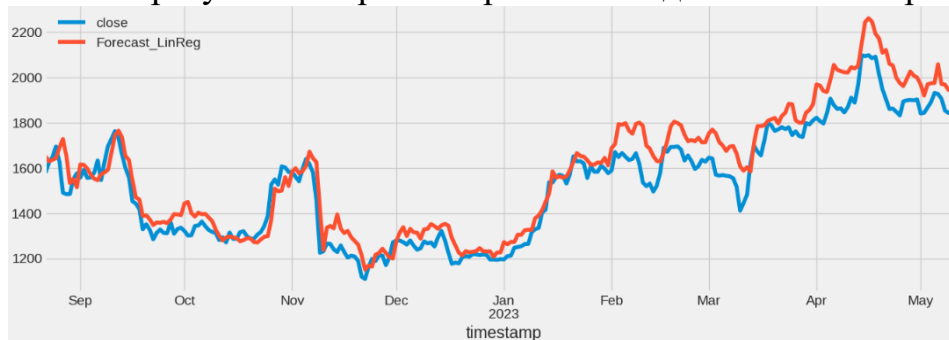


Рис. 2. Результаты прогнозирования модели линейной регрессии

Для оценки качества полученных используемыми моделями результатов использовались ошибки RMSE (корень из среднеквадратичной ошибки) и MAE (средняя абсолютная ошибка).

Значения ошибок, полученных регрессором градиентного бустинга XGBoost и линейным регрессором

Ошибка	Регрессор градиентного бустинга XGBoost	Линейный регрессор
RMSE	168,18	90,83
MAE	134,19	74,14

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Судя по результатам, наилучшие предсказания временного ряда были получены линейной регрессией. Проведя анализ используемых этими моделями алгоритмов, в этой работе были сделаны выводы, что для решения данной задачи прогнозирования более целесообразным является использование модели линейной регрессии, нежели модели из деревьев решений.

Алгоритм градиентного бустинга хорошо выявляет сложные нелинейные зависимости между входными и выходными данными, а также отлично справляется с теми ситуациями, когда необходимо интерполировать в домене уже известных данных. Однако данная задача временного прогнозирования – совершенно не такой случай. Зависимость между входными и выходными данными в той постановке задачи, которая представлена в этой работе, скорее линейная, чем нелинейная, и, как было отмечено ранее, для алгоритмов, используемых в прогнозировании временных рядов, важно свойство экстраполяции за пределы домена обучающей выборки, а алгоритм градиентного бустинга данным свойством не обладает, следовательно, его не стоит применять в решении

задач прогнозирования нестационарных временных рядов. Именно поэтому в данной задаче алгоритм градиентного бустинга потерпел неудачу.

Библиографические ссылки

1. *Николенко С., Кадурич А., Архангельская Е.* Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2020. 480 с.: ил. - (Серия «Библиотека программиста»).
2. *Шакла Нишант.* Машинное обучение и TensorFlow. - СПб.: Питер, 2019. 336 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»).
3. *Нильсен Э.* Практический анализ временных рядов: прогнозирование со статистикой и машинное обучение / Э. Нильсен. – Москва: Вильямс, 2021. 544 с.
4. *Афанасьев В.Н.* Анализ временных рядов и прогнозирование / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. Москва: Финансы и статистика, 2001. 228 с.

КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА В ПРОИЗВОЛЬНЫХ ДВУМЕРНЫХ ОБЛАСТЯХ

А. А. Брезгунова

brezgunova2001@gmail.com;

*Научный руководитель — М. М. Чуйко, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В данной работе реализован метод конечных разностей решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона в сложных двумерных областях с использованием криволинейных координат. Исходная область отображается в прямоугольную расчетную область в пространстве обобщенных координат. Краевая задача записывается в криволинейных координатах и аппроксимируется на равномерной сетке в расчетной области.

Ключевые слова: эллиптические уравнения; смешанные производные; задача Дирихле; метод конечных разностей; разностные сетки; аппроксимация; обобщенные криволинейные координаты.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА В ОБОБЩЕННЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КООРДИНАТАХ

Рассмотрим уравнение Пуассона в нерегулярной двумерной области Ω_{xy} с граничными условиями Дирихле

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y), \quad (x, y) \in \Omega_{xy}, \quad (1)$$

$$u(x, y)|_{(x,y) \in \partial\Omega_{xy}} = u_B(x, y). \quad (2)$$

Введем обобщенные криволинейные координаты с помощью преобразований общего вида [1]

$$\xi = \xi(x, y), \quad \eta = \eta(x, y), \quad (x, y) \in \Omega_{xy}, \quad (3)$$

отображающие область Ω_{xy} в прямоугольник $\Omega_{\xi\eta} = \{(\xi, \eta) : 0 \leq \xi, \eta \leq 1\}$.

В пространстве обобщенных координат $(\xi, \eta) \in \Omega_{\xi\eta}$ задача Дирихле (1) – (2) примет следующий вид

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(B_{11} \frac{\partial u}{\partial \xi} + B_{12} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(B_{21} \frac{\partial u}{\partial \xi} + B_{22} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) = |J^{-1}| f(x, y), \quad (4)$$

$$u(\xi, \eta) \Big|_{(\xi, \eta) \in \partial \Omega_{\xi\eta}} = u_B(x(\xi, \eta), y(\xi, \eta)), \quad (5)$$

где

$$B_{11} = \frac{g_{22}}{|J^{-1}|}, \quad B_{12} = B_{21} = -\frac{g_{12}}{|J^{-1}|}, \quad B_{22} = \frac{g_{11}}{|J^{-1}|},$$

$$g_{11} = \left(\frac{\partial x}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \xi} \right)^2, \quad g_{12} = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta}, \quad g_{22} = \left(\frac{\partial x}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta} \right)^2,$$

$$|J^{-1}| = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi}.$$

Задача (4) – (5) является краевой задачей для эллиптического уравнения со смешанными производными, в которой роль коэффициентов при смешанных производных играют метрические коэффициенты преобразования (3).

ПОСТРОЕНИЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ

В прямоугольной области $\Omega_{\xi\eta}$ введем разностную сетку $\bar{\omega} = \bar{\omega}_{h_\xi} \times \bar{\omega}_{h_\eta}$ с постоянными шагами h_ξ, h_η .

Построим разностный аналог задачи (4) для эллиптического оператора со смешанными производными на семиточечных шаблонах [2]

$$\Lambda^+ u = |J^{-1}| f(\xi_i, \eta_j), \quad i = \overline{1, N-1}, \quad j = \overline{1, M-1}, \quad (6)$$

$$\Lambda^- u = |J^{-1}| f(\xi_i, \eta_j), \quad i = \overline{1, N-1}, \quad j = \overline{1, M-1} \quad (7)$$

и на девятиточечном шаблоне [3]

$$\Lambda^\pm u = |J^{-1}| f(\xi_i, \eta_j), \quad i = \overline{1, N-1}, \quad j = \overline{1, M-1}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} \Lambda^+ u &= (\Lambda_{11} + \Lambda_{12}^+ + \Lambda_{21}^+ + \Lambda_{22}) u = \\ &= (\beta_{11} u_{\bar{\xi}})_{\xi} + \frac{1}{2} [(\beta_{12} u_{\eta})_{\xi} + (\beta_{12} u_{\bar{\eta}})_{\bar{\xi}}] + \frac{1}{2} [(\beta_{21} u_{\xi})_{\eta} + (\beta_{21} u_{\bar{\xi}})_{\bar{\eta}}] + (\beta_{22} u_{\bar{\eta}})_{\eta}, \\ \Lambda^- u &= (\Lambda_{11} + \Lambda_{12}^- + \Lambda_{21}^- + \Lambda_{22}) u = \\ &= (\beta_{11} u_{\bar{\xi}})_{\xi} + \frac{1}{2} [(\beta_{12} u_{\bar{\eta}})_{\xi} + (\beta_{12} u_{\eta})_{\bar{\xi}}] + \frac{1}{2} [(\beta_{21} u_{\bar{\xi}})_{\eta} + (\beta_{21} u_{\xi})_{\bar{\eta}}] + (\beta_{22} u_{\bar{\eta}})_{\eta}, \\ \Lambda^\pm u &= (\Lambda_{11} + \Lambda_{12}^\pm + \Lambda_{21}^\pm + \Lambda_{22}) u = (\beta_{11} u_{\bar{\xi}})_{\xi} + \frac{1}{2} [(\beta_{12}^- u_{\bar{\eta}})_{\xi} + (\beta_{12}^- u_{\eta})_{\bar{\xi}} + (\beta_{12}^+ u_{\eta})_{\xi} + \\ &+ (\beta_{12}^+ u_{\bar{\eta}})_{\bar{\xi}}] + \frac{1}{2} [(\beta_{21}^- u_{\bar{\xi}})_{\eta} + (\beta_{21}^- u_{\xi})_{\bar{\eta}} + (\beta_{21}^+ u_{\xi})_{\eta} + (\beta_{21}^+ u_{\bar{\xi}})_{\bar{\eta}}] + (\beta_{22} u_{\bar{\eta}})_{\eta}, \\ \beta_{\alpha\gamma}^+ &= \frac{1}{2} (\beta_{\alpha\gamma} + |\beta_{\alpha\gamma}|) \geq 0, \quad \beta_{\alpha\gamma}^- = \frac{1}{2} (\beta_{\alpha\gamma} - |\beta_{\alpha\gamma}|) \leq 0, \quad \alpha, \gamma = 1, 2, \quad \alpha \neq \gamma. \end{aligned}$$

Разностные схемы (6), (7), (8) аппроксимируют (4) со вторым порядком. Краевые условия Дирихле в граничных узлах аппроксимируются точно $u_{ij} = \tilde{u}_B(\xi_i, \eta_j)$.

Аппроксимация (6) является монотонной и используется в случае знакоположительных, (7) – знакоотрицательных, а (8) – знакопеременных коэффициентов при смешанных производных.

Для решения полученных систем семи и девятиточечных разностных уравнений использован модифицированный сильно неявный метод MSIM [4].

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Проверка алгоритма проводилась на точном решении

$$u(x, y) = \sin\left(\frac{2\pi x}{L_1}\right) \cos\left(\frac{2\pi y}{L_2}\right),$$

где L_1 и L_2 – размер области Ω_{xy} по x и y . Правая часть и краевые условия определялись из вида точного решения.

Начальное приближение решения во всех узлах задавалось нулевым. Критерием окончания итерационного процесса в MSIM является выполнение условия

$$\left|u_{ij}^{m+1} - u_{ij}^m\right| < \varepsilon_1 \left|u_{ij}^m\right| + \varepsilon_2, \quad \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 10^{-7},$$

где m – номер итерации.

На рис. 1 приведены физическая Ω_{xy} и расчетная $\Omega_{\xi\eta}$ области с введенной разностной сеткой 32×32 , а на рис. 2 – численное решение.

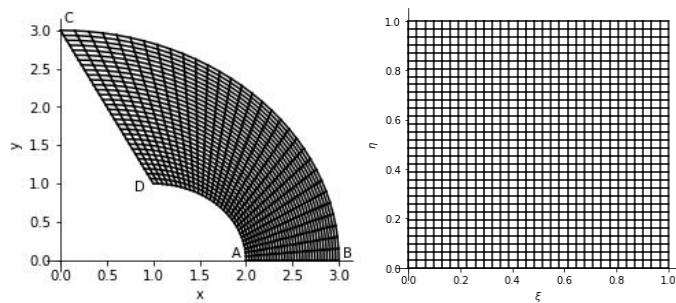


Рис. 1. Разностная сетка 32×32 в физической области Ω_{xy} и расчетной области

$\Omega_{\xi\eta}$

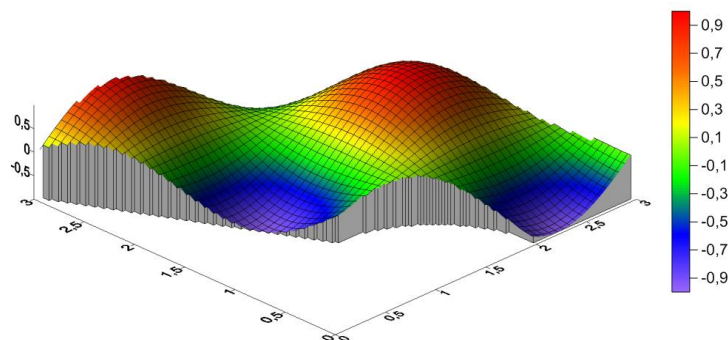


Рис.2. Численное решение на сетке 32×32 в области Ω_{xy}

В таблице представлены количество узлов разностной сетки, значение погрешности разностного решения и количество итераций.

Погрешность численного решения и количество итераций в физической области

$N \times N$	$\max u_{ij} - u_{ex}(x_{ij}, y_{ij}) , \text{ it}$					
	Разностная схема 1		Разностная схема 2		Разностная схема 3	
16×16	0.030414	37	0.008692	42	0.008692	42
32×32	0.007687	129	0.001989	149	0.001989	149
64×64	0.001898	456	0.000486	531	0.000486	531
128×128	0.000458	1608	0.000131	1870	0.000131	1870

Данные, приведенные в таблице, подтверждают второй порядок аппроксимации задачи Дирихле для уравнения Пуассона в нерегулярной области. Исследовалось влияние монотонности и шагов используемых разностных схем на число итераций метода MSIM.

Библиографические ссылки

1. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей / К. Флетчер. М.: Мир, 1991. 799 с.
2. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. М: Физматлит, 1997. 552 с.
3. Rybak, I. V. Monotone and conservative difference schemes for elliptic equations with mixed derivatives // Math. Model. Anal. 2004. Vol. 9, № 2. P. 169 – 178.
4. Schneider G. E., Zedan M. A modified strongly implicit procedure for the numerical solution of field problems // Numerical Heat Transfer. 1981. Vol. 4, №. 1. P. 1 – 19.

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ

Т. В. Голод

fpm.golodtv@bsu.by;

Научный руководитель – В. И. Малюгин, доктор экономических наук, доцент

В статье рассматривается задача прогнозирования однопериодных приращений курсов финансовых активов. Для решения задачи предлагается метод моделирования и прогнозирования временных рядов на основе алгоритма декомпозиции SEEMDAN временных рядов и ансамбля эконометрических моделей ARIMA. Алгоритм SEEMDAN раскладывает исходный временной ряд на отдельные компоненты (моды), для каждой из которых строится прогноз с использованием моделей ARMA и ARIMA. Итоговый прогноз представляет собой комбинацию прогнозов на основе полученного ансамбля моделей. Приводятся результаты сравнительного анализа точности прогнозов на основе используемого метода и альтернативных типов моделей, которые говорят о том, что предлагаемый метод позволяет значительно улучшить точность прогнозов.

Ключевые слова: Декомпозиция временных рядов; алгоритмы декомпозиции SEEMDAN и EMD; модели ARMA и ARIMA; ансамбль моделей.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, основной принцип торговли на финансовом рынке определяется «золотым правилом инвестирования»: «покупай дешево, продавай дорого» [1]. Данный принцип создает необходимость в проведении анализа рынка, целью которого является прогнозирование будущих значений курсов торгуемых активов.

Можно выделить два подхода к моделированию рыночных данных: моделирование самих нестационарных курсов либо же переход к стационарным доходностям или однопериодным приращениям и их последующее моделирование. В рамках второго подхода так или иначе все методы предполагают использование наблюдаемой в финансовых временных рядах автокорреляции.

Альтернативный подход, заключающийся в моделировании нестационарных временных рядов курсов, не может опираться на подходы, основанные на использовании линейных закономерностей динамики нестационарных временных рядов, поскольку для нестационарных временных рядов автокорреляция стремится к единице. Это обуславливает необходимость использования иных нелинейных моделей и комплексных подходов, которые способны раскрыть сущность сложной динамики.

В данной статье предлагается и исследуется метод моделирования и прогнозирования однопериодных изменений исходного временного ряда. В основе данного метода лежит идея использования ансамбля моделей на основе декомпозиции исходного временного ряда для задачи моделирования курсов, описанная в [2]. Он использует алгоритм CEEMDAN (*Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise*), который осуществляет декомпозицию исходного временного ряда на осциллирующие компоненты, различных порядков частот, называемые модами. По результатам разложения высокочастотные компоненты являются очевидно стационарными, что позволяет использовать классические статистические методы для их моделирования, в частности модель ARMA. Часть низкочастотных компонентов, которые в некотором смысле описывают кривую тренда, очевидно не являются стационарными и требуют моделирования с помощью других нелинейных методов. В частности, авторы статьи [2] предлагают для их моделирования использовать нейронную сеть архитектуры LSTM. Сумма прогнозов по всем компонентам образует комбинированный прогноз ансамбля моделей для исследуемого временного ряда курса.

Можно заметить, что устройство описанного подхода концептуально безразлично к статистической природе временного ряда. С помощью данного метода могут моделироваться и нестационарные курсы, что предлагается и исследуется в работе [2], и стационарные однопериодные приращения курсов. На практике с моделированием нестационарных компонентов сопряжены основные недостатки описанного подхода. Большое количество нестационарных компонентов ухудшает качество совокупного прогноза вследствие низкой точности возможного прогноза нестационарных компонентов. В связи с этим точность прогнозирования при анализе однопериодных приращений курсов будет выше, чем точность прогнозирования при анализе самих курсов, поскольку количество нестационарных компонентов в разложении стационарных однопериодных приращений курсов меньше, чем в разложении нестационарных курсов, а их динамика и форма проще. Помимо этого, по результатам экспериментов известно, что качество прогноза нейронной сети LSTM для нестационарных компонентов незначительно хуже качества прогноза модели ARIMA. При этом использование и обучение модели ARIMA значительно быстрее использования и обучения нейронной сети LSTM. Таким образом, незначительно теряя в точности возможно достичь существенного прироста в скорости работы алгоритма, что является существенным в контексте использования в реальных приложениях.

Учитывая характер недостатков метода, предложенного в статье [2], и специфику их устранения был разработан собственный метод моделирования временных рядов однопериодных приращений курсов с использованием модели ARMA для моделирования стационарных компонентов и ARIMA для моделирования нестационарных компонентов разложения рассматриваемого временного ряда.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ

Разработанный метод состоит из двух этапов: декомпозиция временного ряда с помощью алгоритма SEEMDAN и построения комбинированного прогноза ансамбля моделей ARMA и ARIMA для полученных компонентов разложения.

Алгоритм разложения SEEMDAN основан на использовании процедуры EMD (*Empirical Mode Decomposition*). Процедура EMD декомпозиции временных рядов заключается разложении временного ряда в функции внутренних мод IMF (*Intrinsic Mode Function*). Функции IMF удовлетворяют следующим свойствам [3]:

1. Количество локальных минимумов и максимумов функций IMF должно быть равно количеству пересечений функцией нуля, либо отличаться не больше чем на единицу.
2. В любой точке среднее значение между огибающей линией по локальным минимумам и огибающей линией по локальным максимумам должно быть равно нулю.

Такие свойства функций IMF обеспечивают им в отдельности наличие более сильной автокорреляции в сравнении с исходным временным рядом, что гарантирует высокую эффективность прогнозов, основанных на данном свойстве. За счет этого совокупный прогноз по компонентам разложения является более точным, чем прогноз по исходному временному ряду.

Алгоритм декомпозиции EDM является итеративным и включает в себя следующие шаги [3]:

1. Определяются локальные минимумы и максимумы анализируемого временного ряда. Они соединяются линией кубического сплайна, образуя 2 огибающие линии, для которых находится средняя линия m_1 .
2. Определяется первый компонент процедуры “просеивания”: $h_{01} = x - m_1$.
3. Процесс итеративно повторяется пока k -ый компонент не станет функцией IMF: $h_{1k} = h_{1(k-1)} - m_{1k}$.
4. k -ый компонент процесса “просеивания” становится компонентом разложения: $c_1 = h_{1k}$.

5. Определяется ряд остатков: $r_1 = x - c_1$.
6. Процесс повторяется начиная с первого пункта для ряда остатков r_1 .

Такой алгоритм позволяет разложить исходный временной ряд в компоненты разных порядков частот, при этом сохраняя его изначальную структуру. Подхода EMD обладает некоторыми проблемами [4]: в рамках одного компонента могут присутствовать осцилляции существенно различающихся амплитуд, в свою очередь подобные осцилляции могут наблюдаться в различных компонентах, что называется “смешением мод” (*mode mixing*). Описанные проблемы декомпозиции могут быть решены с помощью построения ансамбля алгоритмов разложения и добавления адаптивного шума в начале каждой итерации к рассматриваемому временному ряду. Такой алгоритм называется SEEMDAN, особенности его работы представлены в работах [4, 5].

По результатам работы алгоритма временной ряд однопериодных приращений курса может быть представлен как сумма компонентов разложения и ряда остатков:

$$x = \sum_{n=1}^N c_i + r_N.$$

Второй этап предложенного метода заключается в построения прогноза с помощью ансамбля моделей ARMA-ARIMA. Полученные компоненты и ряд остатков по отдельности моделируются. Как было замечено ранее, компоненты IMF в общем случае могут быть нестационарными, хотя на практике в большинстве случаев нестационарными являются лишь низкочастотные компоненты. В качестве критерия стационарности используется статистический тест стационарности временных рядов ADF. Стационарные компоненты моделируются с помощью модели ARMA, нестационарные компоненты моделируются с помощью модели ARIMA.

С помощью каждой из моделей строится прогноз на s шагов вперед, результаты прогнозирования для всех компонентов и ряда остатков складываются, образуя прогноз для исходного временного ряда.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОНДОВОГО РЫНКА И РЫНКА КРИПТОВАЛЮТ

Следуя предложенному методу, был проведен анализ однодневных приращений фондовых индексов DJIA (Dow Jones Industrial Average), RUT (Russell 2000), IXIC (NASDAQ Composite), а также криптовалюты BTC (Биткойн). Был построен пятишаговый прогноз, контрольный прогноз

строился с помощью модели ARMA. Качество прогноза оценивалось с помощью метрики MSE (*Mean Squared Error*), которая рассчитывается как среднеквадратичное отклонение прогнозных значений от реальных. Значения метрики MSE для прогнозов каждого из методов для каждого из рассматриваемых временных рядов приведены в таблице.

Значения метрики MSE для прогнозов каждого из методов для фондовых индексов и биткоина

	DJIA	RUT	IXIC	BTC
Ансамбль моделей	173.65	61.74	123.67	569976.84
ARMA	183.13	103.71	148.05	728738.03

По результатам экспериментов разработанный метод оказался точнее в каждом из случаев, что подтверждает его эффективность.

Библиографические ссылки

1. *Малюгин, В.И.* Рынок ценных бумаг: Количественные методы анализа / *В.И. Малюгин*. Москва: Дело, 2003. 320 с.
2. *Pin, L.* Stock Index Prediction Based on Time Series Decomposition and Hybrid Model / *P. Lv, Q. Wu, J. Xu, Y. Shu* // *Entropy*. 2022. v. 24. p. 146-163.
3. *Huang, N.E.* The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis / *N.E. Huang, Z. Shen, S.R. Long, M.C. Wu, H.H. Shih, Q. Zheng, N. Yen, C. Tung, H.H. Liu* // *Proc. The Royal Society*. 1998. v. 454. p. 903-995.
4. *Torres, M.E.* A complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise. / *Torres, M.E.; Colominas, M.A.; Schlotthauer, G.; Flandrin, P.* // *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 2011. p. 4144–4147.
5. *Wu, Z.* Ensemble empirical mode decomposition: A noise-assisted data analysis method / *Z. Wu, N.E. Huang* // *Advances in Adaptive Data Analysis*. 2009. v. 1. №. 1. p. 1–41.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ FLASK И PYTHON, МИКРОСЕРВИСНАЯ И ОБЛАЧНАЯ АРХИТЕКТУРА

А. Д. Гончаренко

fpm.gonchareAD@bsu.by;

Научный руководитель – М. И. Давидовская, старший преподаватель

Статья посвящена разработке структуры и архитектуры веб-приложения с механизмом поиска статей, спроектированного на основе микросервисной архитектуры. Содержимое сайта пополняется по расписанию из материалов, опубликованных на новостных сайтах в интернет после их синтаксического разбора. Для решения проблемы поиска новостной статьи внедрен механизм поиска Elasticsearch. В качестве механизма синтаксического разбора текстов применяется библиотека BeautifulSoup. Область применения — моделирование автоматизированного новостного источника с помощью средств разработки веб-приложений.

Ключевые слова: Python; Flask; Django; MySQL; Terraform; Kubernetes; ORM; Elasticsearch.

Новостные ресурсы могут быть классифицированы по географическому признаку, по направлению деятельности и способу наполнения материалами. Ресурс, аккумулирующий статьи профильных новостных ресурсов, предоставляет интерфейс для доступа к новостям из разных источников за счет автоматизированного синтаксического разбора текста, получения обновления новостей популярных сайтов по расписанию и их публикации в базу.

Проектирование веб-приложения состоит из нескольких этапов. На первом этапе сформулирована постановка задачи, разработаны функциональные и нефункциональные требования и выполнен анализ решений для разработки приложения.

Согласно постановке задачи требуется разработать новостной сайт с механизмом поиска статей, автоматическим добавлением статей, который агрегирует материалы других ресурсов. Выделены следующие функциональные требования [1]:

- Сохранение входа в систему при обновлении страницы;
- Корректное отображение текста после синтаксического разбора;
- Просмотр информации о создателях и правах;
- Возможность полнотекстового поиска;
- Отсутствие регистрации через сайт, только получение учетных данных от администратора;
- Синтаксический разбор других сайтов;

- Нефункциональные требования описывают характер поведения системы. И к ним относятся [1]:
- Быстродействие сайта.
- Удобство использования интерфейса просмотра статей ;
- Интуитивно понятный интерфейс.

В качестве механизма, облегчающего процесс разработки веб-приложений, применяются готовые решения в виде библиотек (веб-фреймворков). Для реализации основного проекта сайта был выбран фреймворк Flask. Flask поддерживает гибкую настройку и не требователен к ресурсам.

Для хранения данных используем систему управления базами данных (СУБД) MySQL. В качестве архитектуры проекта выбрана микросервисная архитектура для развертывания приложения на нескольких вычислительных узлах в публичном облаке. В контексте микросервисной архитектуры выбранная СУБД может быть представлена в виде отдельного сервиса, упакованного в контейнер.

Важным фактором при разработке архитектуры является обеспечение ее безопасности. Чтобы избежать таких уязвимостей, как SQL-инъекции, XSS атаки, SSTI и другие, используется механизм шаблонизации Jinja2. Этот механизм поддерживает удобный язык для создания HTML-страниц на основе шаблона и для отображения динамических страниц с выбором источника данных.

Одной из наиболее распространенных уязвимостей, связанных с базами данных, является SQL-инъекция. Например, если используем обычные SQL-запросы для доступа к базе данных, то пользователь может ввести SQL-запрос вместо своих данных. В результате могут быть получены данные всех пользователей. Для исключения таких проблем используется механизм объектно-реляционного отображения (Object Relational Mapping — ORM), например SQLAlchemy. Для применения SQLAlchemy необходимо подключить библиотеку flask_sqlalchemy и настроить конфигурацию (см. рис. 1):

```

app = Flask(__name__, template_folder="templates", static_folder="static")
secret_key = secrets.token_urlsafe(32)
app.config.update(
    DEBUG=True,
    SECRET_KEY=secret_key,
    ELASTICSEARCH_URL=os.environ.get('ELASTICSEARCH_URL')
)
app.elasticsearch = Elasticsearch([app.config['ELASTICSEARCH_URL']] \
    if app.config['ELASTICSEARCH_URL'] else None

cred = pars_cred.init_cred()

host = os.environ.get('MYSQL_HOST')
app.config['SQLALCHEMY_DATABASE_URI'] = f'mysql+pymysql://{cred[0]}:{cred[1]}@{host}:3306/blog'
app.config['SQLALCHEMY_TRACK_MODIFICATIONS'] = False
db = SQLAlchemy(app)

```

Рис. 1. Конфигурация приложения и подключение к базе данных

Для работы с базой данных используем классы Article и User (Рис. 2). В них описаны поля и их свойства. Для хранения изображений используется поле с типом данных Integer, но в базе данных оно хранится с типом Blob. Учетные данные пользователей хранятся в зашифрованном виде.

```
class Article(db.Model):
    __searchable__ = ['intro']
    id = db.Column(db.Integer, primary_key=True)
    title = db.Column(db.String(100), nullable=False)
    intro = db.Column(db.String(300), nullable=False)
    text = db.Column(db.Text, nullable=False)
    date = db.Column(db.DateTime, default=datetime.utcnow)
    ImageID = db.Column(db.Integer, nullable=True)

    def __repr__(self):
        return '<Article %r>' % self.id

class User(db.Model, UserMixin):
    id = db.Column(db.Integer, primary_key=True)
    login = db.Column(db.String(128), nullable=False, unique=True)
    password = db.Column(db.String(255), nullable=False)
```

Рис. 2. Моделирование таблиц Article и User

Для полнотекстового поиска записей по сайту был выбран Elasticsearch. Elasticsearch индексирует быстро меняющиеся данные менее, чем за 1 секунду [2]. Так как в проекте база данных постоянно изменяется, то выбор такого механизма ускорит обработку поисковых запросов.

Одним из преимуществ микросервисной архитектуры является принцип, который говорит о том, что при остановки работы одного сервиса остальные продолжают свою работу корректно. Следовательно, для синтаксического разбора статей и последующей обработки было разработано отдельное приложение на Python, схема работы которого представлена ниже:

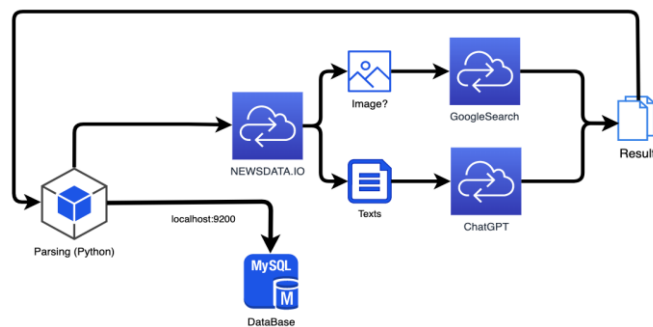


Рис. 3. Локальное представление работы сервиса

Чтобы желаемая архитектура развертывания в облаке была правильной и автоматизированной будем использовать Terraform для описания инфраструктуры, Kubernetes — для описания кластеров.

Перед тем, как развертывать инфраструктуру, необходимо создать конфигурационные файлы, описывающие Docker контейнеры. Такие файлы содержат правила создания образа будущего контейнера. Для хранения образов и дальнейшего взаимодействия с ним используем DockerHub.

Далее для описание инфраструктуры облачных вычислений применим методологию Iaas. Для ее реализации используются файлы конфигурации Terraform, в которых описывается сервисы: VPC (Virtual private cloud), EKS (Elastic kubernetes service), Compute Cloud и др.

После того, как была спроектирована облачная инфраструктура и созданы образы контейнеров, необходимо настроить сам оркестратор, который будет управлять работой контейнеров, взаимодействием с сервисами из вне и внутри кластера Kubernetes. Чтобы обеспечить защищенный доступ к сервисам, используем Hashicorp vault, который создает отдельные узлы с секретными данными. Авторизованные сервисы используют эти данные для взаимодействия с базой данных и внешними сервисами.

Согласно поставленной задаче были разработаны функциональные и нефункциональные требования. Спроектирована архитектура базы данных. Разработаны веб-приложение и схема его развертывания. Проект представляет собой приложение на основе микросервисной архитектуры и оптимизировано для развертывания в облачной инфраструктуре. Приложение адаптировано для мобильных устройств.

Данные технологии рекомендуется использовать для создания отказоустойчивых и масштабируемых сервисов за счет преимуществ развертывания в облаке. Облачная инфраструктура обладают большим количеством доступных ресурсов, выделением их по требованию и гарантией отказоустойчивости.

Библиографические ссылки

1. *Гончаренко А. Д., Давидовская М. И.* ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ FLASK И PYTHON // Сетевое издание “Научные исследования XXI века”. 2023, Т. 21. № 1. С. 40–44. УДК 004.415.2.
2. Powering Uber Marketplace’s Real-Time Data Needs with Elasticsearch / ON-DEMAND WEBINAR [Electronic resource]. URL: <https://www.elastic.co/elasticon/conf/2017/sf/powering-uber-marketplace-real-time-data-needs-with-elasticsearch> (date of access: 08.10.2022).
3. *Rehan H.* Web API Development with Python. A begginer’s guide using Flask and FastAPI (First Edition). CloudBytes, 2021.

РАЗРАБОТКА МАСШТАБИРУЕМОЙ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕДИАДАННЫХ

П. Д. Гордей, А. А. Петров

fpm.petrovAA@bsu.by;

*Научный руководитель — Е. А. Левчук, кандидат технических наук, доцент;
Н. А. Карпович, старший преподаватель*

Статья посвящена проектированию и разработке высоконагруженной и масштабируемой системы с использованием вычислительных ресурсов облачной платформы AWS, способной по требованию передавать преобразованный по протоколу HLS медиapotок и воспроизводить его с помощью разработанного кросс-браузерного медиапроигрывателя.

Ключевые слова: модель клиент-сервер; микросервисная архитектура; облачная платформа; потоковая передача данных; адаптивный битрейт; Media Source Extension (MSE); HTML5 медиапроигрыватель.

ВВЕДЕНИЕ

В основе всех современных мультимедийных сервисов лежит принцип потоковой передачи данных от сервера на клиент. Простейшая система потоковой передачи состоит из сервера потокового медиа и клиента, в роли которого как правило выступает медиапроигрыватель.

Потоковое вещание начинается с кодирования медиаданных, которое представляет собой процесс сжатия медиафайла, что позволяет уменьшить размер и оптимизировать его передачу по сети. Для работы системы адаптивной потоковой передачи необходимо предварительно закодировать медиафайлы с различными настройками скорости передачи потока данных по каналу (битрейт) (200, 500 и 1000 кбит/с) и сохранить на сервере потоковой передачи или в системе доставки контента.

Чтобы получить информацию о различных версиях медиафайлов и соответствующих им битрейтах для управления процессом загрузки и воспроизведения используется специальный манифест файл. С помощью него современные протоколы потоковой передачи могут регулировать качество передаваемых медиаданных в зависимости от пропускной способности сети, тем самым реализуя адаптивность потоковой передачи.

Популярные мультимедийные платформы, использующие потоковую передачу медиаданных, обслуживают десятки тысяч активных пользователей, что делает актуальным вопрос масштабируемости системы. В статье рассматриваются основные принципы и технологии,

используемые при проектировании таких систем и медиапроигрывателей для них.

СЕРВЕРНАЯ ЧАСТЬ И ИНФРАСТРУКТУРА

Вся система спроектирована и разработана согласно архитектурному стилю REST, который определяет набор принципов и ограничений, используемых для взаимодействия отдельных компонентов распределенной системы. При таком подходе основной концепцией является модель клиент-сервер.

Серверная часть в свою очередь спроектирована с использованием микросервисной архитектуры на основе шаблона API-шлюз, где ключевыми службами являются сервисы данных и авторизации. В качестве шлюза выступает ресурс облачной платформы Amazon – Application Load Balancer, обладающий механизмом маршрутизации запросов между микросервисами, а также функцией равномерного распределения нагрузки между вычислительными серверами AWS EC2 внутри каждого из сервисов. Машины каждого микросервиса располагаются в собственной группе автоматического масштабирования (Amazon Autoscaling group), что позволяет увеличивать либо уменьшать количество используемых серверов в зависимости от текущей нагрузки. При этом процессы масштабирования двух микросервисов являются полностью независимыми друг от друга, гарантируя вместе с этим оптимальное использование ресурсов. Использование отдельных баз данных для каждого сервиса делает их самостоятельными, что увеличивает гибкость и отказоустойчивость всей системы.

Для преобразования исходного видеофайла в формат, который поддерживает потоковую передачу данных, использовался сервис Amazon MediaConvert. При загрузке файла в хранилище медиаданных (Amazon S3) срабатывает внутренний механизм событий, что позволяет передать метаданные события создания объекта для формирования нужной конфигурации конвертации в управляемый сервис Amazon Lambda. Уже преобразованный видеопоток передается на сторону клиента при помощи сети доставки контента (Amazon CloudFront), основной функцией которого является кэширование данных на промежуточных узлах глобальной инфраструктуры AWS, что позволяет уменьшить время отклика и увеличивает производительность всей системы в целом.

КРОСС-БРАУЗЕРНЫЙ МЕДИАПРОИГРЫВАТЕЛЬ

Для воспроизведения потокового видео в веб-браузере обычно требуется медиапроигрыватель, который должен быть совместим с используемой потоковой технологией.

Архитектура разработанного медиапроигрывателя основана на принципе модульного подхода к проектированию программных систем. Важно отметить, что данный подход применяется не только к логике проигрывателя, но и к слою представления, что обеспечивает независимость компонентов системы, иерархическое использование структур и разделение пользовательского интерфейса на отдельные компоненты представления.

Для реализации поддержки адаптивного медиапотока с использованием различных технологий воспроизведения уровень логики проигрывателя и уровень технологии обработки и воспроизведения медиапотока должны быть независимыми и зависеть от абстракций, предоставляемых программными интерфейсами. Это достигается путем размещения реализации технологии воспроизведения в отдельном модуле, используя систему внешних расширений. Такой подход позволяет управляющему уровню проигрывателя и уровню технологии воспроизведения не быть связанными друг с другом. Вместо этого они зависят от абстракций, определяющих общие интерфейсы и ожидаемое поведение. Такая архитектура облегчает замену или добавление новых технологий воспроизведения без внесения изменений в логику проигрывателя и позволяет выбирать оптимальную технологию воспроизведения в зависимости от контента и факторов.

В контексте разработки медиапроигрывателя возникает проблема обеспечения гибкости и важности изменения как цветовой схемы и базовых стилей медиапроигрывателя, так и его разметки, а также замены или добавления новых элементов управления. Одним из решений является создание элементов управления проигрывателя в виде отдельных заменяемых компонентов пользовательского интерфейса, которые передаются базовому компоненту проигрывателя – макету. Макет является корневым элементом пользовательского интерфейса и содержит базовую разметку, нативный HTML медиа-элемент проигрывателя и блочный элемент, который будет служить сеткой для дочерних компонентов.

Сетка определяется с помощью CSS свойства «display: grid», что позволяет гибко управлять разметкой проигрывателя, изменяя только некоторые CSS свойства, такие как «grid-template-area», «grid-template-columns», «grid-template-rows» и «gap». Для задания именной области в сетке элементу управления нужно указать в корневом элементе CSS свойство «grid-area» со значением, соответствующим имени элемента управления. Таким образом, путем определения шаблона сетки можно изменять разметку без необходимости переписывания CSS стилей, их

полной замены или создания пользовательского интерфейса проигрывателя с нуля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выполнения исследования был достигнут приемлемый уровень масштабируемости системы, позволяющий развернуть необходимое количество дополнительных вычислительных серверов в течение пяти минут с момента, как уровень нагрузки на центральное процессорное устройство превысил 50%. Также использование сети доставки контента позволило уменьшить среднее время отдачи видеопотока с нескольких секунд до сотых долей секунды.

Разработанный медиапроигрыватель представляет собой ряд пакетов, содержащих EcmaScript модули, которые были опубликованы в пакетном менеджере npm, входящего в состав Node.js. Исходя из проведенного анализа существующих решений и разработанных пакетов, можем сделать вывод, что в сравнении с существующими решениями, разработанные пакеты являются более легковесными и позволяют модифицировать не только стилизацию, но и разметку пользовательского интерфейса проигрывателя под нужды разрабатываемого сервиса. Однако стоит понимать, что разработанный проигрыватель обладает лишь базовыми функциональными возможностями и не имеет такого количества функций и плагинов, как у существующих решений. Несмотря на это, наличие удобного программного интерфейса для расширения функциональных возможностей позволяет проигрывателю стать хорошим решением, учитывая требования проекта к набору функциональности.

Таким образом, представленные подходы к разработке мультимедийных сервисов и медиапроигрывателей для них являются универсальными и могут быть использованы при разработке любых других систем для достижения подобного результата.

Библиографические ссылки

1. *Burnett, Steve M.* AWS for Beginners: The Ultimate Guide to the Fundamentals of AWS / *Steve M. Burnett* — Independently published, 2021. 54 p.
2. *Wolenetz, M.* Media Source Extensions / *M. Wolenetz, M. Watson* // W3C [Electronic resource]. 2022. Mode of access: <https://www.w3.org/TR/media-source-2>. Date of access: 30.05.2023.

ПОНИЖЕНИЕ СТЕПЕНЕЙ МНОГОЧЛЕНОВ ПРИ АЛГЕБРАИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Ф. Б. Дасько

fpm.dasko_FB@bsu.by;

Научный руководитель – С.В. Агиевич, кандидат физико-математических наук

Дискретные преобразования, которые используются в криптографии, могут быть описаны алгебраически – в виде систем многочленов над конечным полем. Как правило, речь идет о поле из двух элементов \mathbb{F}_2 . При описании важно добиться, чтобы а) число многочленов системы было невелико и б) многочлены системы имели небольшую степень. Системы, удовлетворяющие требованиям а) и б) мы называем компактными. В настоящей работе предлагаются методы построения компактных систем над \mathbb{F}_2 .

Ключевые слова: дискретное преобразование; S -блок; система алгебраических уравнений; базис Грёбнера; алгоритм Бухбергера.

Пусть V_n – векторное пространство над \mathbb{F}_2 размерности n и пусть F – дискретное преобразование, которое ставит в соответствие векторам $x = (x_1, \dots, x_n) \in V_n$ векторы $y = (y_1, \dots, y_m) \in V_m$. Пусть S – система уравнений вида $f(x, y) = 0$, где f – многочлен над полем \mathbb{F}_2 . Далее мы отождествляем уравнения и многочлены их левых частей, считая, что S – это также система многочленов.

Определение 1. Система S является *описанием* F , если решения S из множества V_{n+m} – это векторы $(a, F(a))$, $a \in V_n$, и только они.

Определение 2. Система S является *компактным описанием* F , если:

- S является описанием F ;
- если S' – еще одно описание F , то $\max_{p' \in S'} \deg(p') \geq \max_{p \in S} \deg(p)$;
- всякая подсистема $S'' \subset S$ не является описанием F , т.е. среди решений S'' есть векторы V_{n+m} вне множества $\{(a, F(a)) : a \in V_n\}$.

Пример. Простейшее (будем называть его *базовым*) алгебраическое описание F имеет следующий вид:

$$y_i + p_i(x_1, \dots, x_n) = 0, \quad i = 1, \dots, m.$$

Число многочленов в описании невелико, однако степени многочленов p_i могут быть большими (вплоть до n) и поэтому описание не обязательно является компактным.

Компактное описание можно построить следующим образом:

1. Построить базис Грёбнера [1, стр. 30] системы S , используя градуированный мономиальный порядок [1, стр. 26]. Обозначить построенный базис через G .
2. Найти минимальное d такое, что подсистема $G_d = \{p \in G: \deg(p) \leq d\}$ является описанием F .
3. Последовательно исключать многочлены из подсистемы G_d , такие, что после исключения G_d остается описанием F .

На шаге 1 возможно использование различных алгоритмов для вычисления базиса Грёбнера с градуированным порядком, например алгоритм Бухбергера [2] или алгоритмов переходов между базисами Грёбнера с различными мономиальными порядками [3, 4]. Какой именно градуированный порядок использовать – значения не имеет. Минимальность и редуцированность базиса Грёбнера на данном шаге значения не имеет, но рекомендуются для использования на шагах 2 и 3.

На шагах 2 и 3 для проверки того, что система G_d описывает преобразование F , можно сравнить минимальные редуцированные базисы Грёбнера G_d и S . На шаге 3 каждый многочлен G_d можно проверять на возможность исключения только один раз.

Отметим следующее: решение систем алгебраических уравнений обычно определяется в алгебраическом замыкании поля, над которым заданы уравнения. Поскольку нас интересуют только решения, лежащие в V_{n+m} , систему можно дополнить специальными уравнениями вида $x_i^2 + x_i = 0$, $y_i^2 + y_i = 0$. Они называются *уравнениями поля*, поскольку обязывают координаты решения лежать в \mathbb{F}_2 .

Все решения системы S , дополненной уравнениями поля, лежат в V_{n+m} и, следовательно, количество таких решений конечно. Количество решений системы может быть использовано для определения того, что система является описанием преобразования F .

Утверждение 1. Если S – описание F , то ее подсистема $S' \subseteq S$ также является описанием F тогда и только тогда, когда $[S] = [S']$.

Для определения $[S]$ можно вычислить базис Грёбнера S с некоторым мономиальным порядком. Количество всевозможных мономов, которые не делятся ни на один старший моном многочленов базиса Грёбнера, совпадает с $[S]$. Вычисление базиса Грёбнера для системы S может быть трудоемким. Для более эффективного подсчета числа решений, предлагается разбить множество решений на части и подсчитать число решений в каждой из частей.

Утверждение 2. Пусть $\{Q_1, \dots, Q_t\}$ – набор систем таких, что любой вектор $\alpha \in V_{n+m}$ является решением ровно одной системы набора. Тогда $[S] = \sum_i [S \cup Q_i]$.

Для определения того, что система S является описанием F , предлагается выбрать $k \leq n$, пробежать различные векторы $a_1, \dots, a_{2^k} \in V_k$ и для i -го вектора составить систему

$$Q_i = \begin{cases} x_1 + a_{i,1} = 0, \\ \vdots \\ x_k + a_{i,k} = 0. \end{cases}$$

где $a_{i,j}$ — j -ая координата a_i . После построения Q_i составить системы $S \cup Q_i$, вычислить базисы Грёбнера систем, по вычисленным базисам определить $[S \cup Q_i]$, а затем $[S]$ с помощью Утверждения 2. Система S описывает преобразование F тогда и только тогда, когда сумма общего числа решений построенных систем равняется 2^n .

Предложенный подход к построению компактного описания был применен к S -блоку блочной криптосистемы AES ($n = m = 8$). В результате, в сравнении с базовым описанием S -блока AES, число уравнений увеличилось с 8 до 13, однако степени уравнений уменьшились с 7 до 2 (см. рис. 1 и 2). Суммарное количество мономов уменьшилось с 1021 до 488. Таким образом, построенная компактная система проще описывает S -блок AES.

$$\begin{cases} y_1 + x_1 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_1 + 1 = 0, \\ y_2 + x_1 x_2 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_1 + 1 = 0, \\ y_3 + x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_2 + x_1 = 0, \\ y_4 + x_1 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_2 x_3 + x_1 = 0, \\ y_5 + x_1 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_2 + x_1 = 0, \\ y_6 + x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_1 x_2 x_3 + 1 = 0, \\ y_7 + x_1 x_2 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_4 + 1 = 0, \\ y_8 + x_1 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 + \dots + x_3 = 0, \end{cases}$$

Рис.1. Естественное описание S -блока AES

$$\left\{ \begin{array}{l} x_6 y_3 + x_5 y_3 + \dots + x_2 + x_1 = 0, \\ x_6 x_7 + x_5 y_5 + \dots + x_6 + x_1 = 0, \\ x_5 y_4 + x_5 y_3 + \dots + x_3 + x_1 = 0, \\ x_6 x_8 + x_5 y_5 + \dots + x_3 + x_2 = 0, \\ x_7 y_3 + x_5 y_2 + \dots + x_1 + 1 = 0, \\ x_7 y_1 + x_5 y_3 + \dots + x_4 + x_1 = 0, \\ x_5 y_7 + x_5 y_5 + \dots + x_3 + 1 = 0, \\ x_6 y_7 + x_4 y_6 + \dots + x_7 + x_4 = 0, \\ x_6 y_2 + x_5 y_3 + \dots + x_1 + 1 = 0, \\ x_7 y_2 + x_5 y_5 + \dots + x_1 + 1 = 0, \\ x_7 x_8 + x_5 y_5 + \dots + x_1 + 1 = 0, \\ x_6 y_6 + x_5 y_5 + \dots + x_4 + x_2 = 0, \\ x_6 y_5 + x_5 y_5 + \dots + y_2 + x_6 = 0, \end{array} \right.$$

Рис. 2. Компактное описание S-блока AES

Библиографические ссылки

1. Аржанцев И. В. Базисы Грёбнера и системы алгебраических уравнений. М.: МЦНМО, 2003. 68 с.
2. Бухбергер Б. Алгоритмический метод в теории полиномиальных идеалов // Компьютерная алгебра. Символьные и алгебраические вычисления. — М.: Мир, 1986
3. Collart S., Kalkbrener M. and Mall D.; Converting Bases with the Grobner Walk // J. Symbolic Computation (1997) 24, 465–469
4. J. C. Faugere, P. Gianni, D. Lazard, and T. Mora. Efficient Computation of Zero-Dimensional Gröbner Bases by Change of Ordering. Journal of Symbolic Computation, 16(4), pp. 329–344, 1993.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ИЗОМОРФНЫХ ПОДГРАФОВ В ПОМЕЧЕННЫХ ГРАФАХ

Д. И. Денгалёв

ddengalev@gmail.com;

*Научный руководитель — В. И. Сарванов, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Работа посвящена проблема поиска изоморфных индуцированных подграфов в помеченных графах. Лучшими алгоритмами для решения данной задачи для больших и разреженных графов являются алгоритмы серии VF [1]. В настоящей работе предложено улучшение алгоритмов VF3 [2] и VF3-light [3] с использованием машинного обучения.

Ключевые слова: граф; алгоритм; изоморфизм; изоморфное вложение; индуцированный подграф; машинное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

В задаче поиска изоморфных подграфов необходимо найти изоморфные вложения одного графа (паттерна) в другой (датаграф).

Задачи поиска изоморфных подграфов имеют чрезвычайно широкое применение. Они возникают, в частности, при анализе социальных сетей, графовых структур в биоинформатике, обработке изображений и проектировании микросхем.

Алгоритмы серии «VF» входят в число основных алгоритмов решения этой NP -трудной задачи. Например, алгоритм VF2 включен в качестве солвера в библиотеки NetworkX и Boost.

Алгоритмы серии VF, как и большинство других алгоритмов решения указанной задачи базируется на схеме поиска с возвратом и отсечениями (бэктрекинге). Наряду с отсечениями ключевую роль в таких алгоритмах играет упорядочение вершин паттерна, т.е., порядок в котором вершины паттерна включаются в бэктрекинг. Выбор «хорошего» (в идеале оптимального) упорядочения позволяет повысить производительность алгоритма. В настоящей работе предлагается новый подход к выбору «хорошего» упорядочения, использующий технику машинного обучения.

ЭФФЕКТИВНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ

Необходимо найти такой порядок вершин $V' = v_1, v_2, \dots, v_n$, где n — число вершин графа, который эффективно уменьшает время работы программы, задаваемое функцией $F: V' \rightarrow R$. Эффективное уменьшение означает, что время работы программы на этом порядке значительно

меньше, чем среднее время работы программы при случайном порядке вершин.

Введем вектор весов $\omega = (\omega_1, \dots, \omega_k)$, который отвечает за то, в какой степени каждое значение в векторе представлений вершин графа будет влиять на ее позицию в упорядочении.

Для первых трех координат вектора представлений возьмем критерии из алгоритма VF3-light:

1. Число ребер, исходящих из рассматриваемой вершины и ведущих вершины, которые уже упорядоченные.
2. Число вершин в датаграфе, которые имеют такую же или большую степень и ту же метку, что и рассматриваемая вершина паттерна.
3. Степень вершины в паттерне

Остальные координаты вектора представления берутся из специальных представлений вершин в графе. Например, Struc2Vec [4], Role2Vec [5].

Таким образом, алгоритм эффективного упорядочения вершин графа заключается в следующем:

1. Строится набор графов, на которых будем подбирать вектор весов ω (обучающая выборка).
2. К каждому паттерну из этого набора применяем алгоритм представления вершин, заранее выбранный для всех графов из набора (например, Role2vec). Полученные представления сохраняем.
3. При помощи генетического алгоритма или алгоритма «имитации отжига» подбираем вектор весов ω . Для этого решается задача минимизации функции F .
4. Используем полученные на шаге 3 веса для эффективного упорядочения вершин других графов. Упорядочиваем вершины паттерна по возрастанию значений скалярного произведения вектора весов ω и вектора представления вершин паттерна.

Полученное эффективное упорядочение может быть использовано в алгоритме VF3 и VF3-light в качестве порядка вершин паттерна в бэктрекинге.

В настоящей работе предлагается следующий эвристический алгоритм для подбора вектора весов ω :

Алгоритм состоит из k шагов. Шаг этого алгоритма состоит в следующем:

- Генерируются q случайных векторов ω . Из них выбирается лучший, т.е. тот, на котором суммарное время работы алгоритма на обучающей выборке минимально.

- Выполняются t итераций для этого шага, на каждой итерации генерируется случайный вектор ω_{random} :

а) Выбирается случайное число s от 0 до n . На s позициях генерируется ненулевое значение, в остальных позициях генерируется нулевое. Вектор ω заменяется на вектор $\omega + \omega_{random}$ тогда и только тогда, когда суммарное время работы алгоритма на обучающей выборке для вектора весов $\omega + \omega_{random}$ меньше, чем для вектора весов ω .

В конце алгоритма выбирается вектор ω , лучший среди векторов, полученных на всех шагах алгоритма. Полученный вектор является локально оптимальным при достаточно большом числе шагов алгоритма.

На практике алгоритм хорошо работает когда в собранном для подбора ω наборе графов и в наборе графов, на котором алгоритм применяется, один и тот же паттерн. Таким, образом неявно определяется эффективное упорядочение для паттерна, которое в дальнейшем может использоваться для задач с другим датаграфом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В эксперименте производился подбор векторов ω на одном наборе датаграфов и замерялось время работы программы на другом наборе. Полученные результаты представлены в виде таблицы.

Ускорение времени работы в зависимости от размера датаграфов и выбранного алгоритма

Размер обучающих датаграфов	Размер тестовых датаграфов	Алгоритм для поиска изоморфных подграфов	Ускорение, в процентах
5000	5000	VF3	7.2%
10000	10000	VF3	13.4%
20000	20000	VF3	6.1%
5000	5000	VF3-light	6.7%
10000	10000	VF3-light	23%
20000	20000	VF3-light	13.2%

В таблице представлено среднее ускорение алгоритмов VF3 и VF3-light в зависимости от размера обучающих и тестовых датаграфов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы проделано следующее:

1. Изучены и проанализированы алгоритмы серии VF и их программные реализации.
2. Проведен анализ алгоритмов специального представления вершин графа, связанного с машинным обучением.

3. Программно реализованы два классических алгоритма эвристической оптимизации. Предложен и программно реализован новый алгоритм эвристической оптимизации.
4. Разработан и программно реализован новый алгоритм решения задачи эффективного упорядочения вершин паттерна. Этот алгоритм использует методы машинного обучения, что представляет собой новый подход к решению данной задачи.
5. Предложены новые модификации алгоритмов VF3 и VF3-light и их программных реализаций, использующие эффективное упорядочение вершин паттерна

Библиографические ссылки

1. *Carletti V., Foggia P., Saggese A., Vento M.* Challenging the time complexity of exact subgraph isomorphism for huge and dense graphs with VF3 // *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence.* 2018. Vol. 40, №. 4. P. 804-818
2. *Carletti V., Foggia P., Saggese A., Vento M.* Introducing VF3: A New Algorithm for Subgraph Isomorphism // *Graph-Based Representations in Pattern Recognition.* 2017.
3. *Carletti V., Foggia P., Greco A., Vento M., Vigilante V.* VF3-Light: A lightweight subgraph isomorphism algorithm and its experimental evaluation // *Pattern Recognition Letters.* 2019. Vol. 125. P. 591-596,
4. *Ribeiro, L., Saverese, P.H., Figueiredo, D.R.* struc2vec: Learning Node Representations from Structural Identity // *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.* 2017. P. 384-394.
5. *Ahmed N., Rossi R., Lee J., Kong X., Willke T., Zhou R., Eldardiry H.* Learning Role-based Graph Embeddings. // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering.* 2022. Vol. 34, №. 5. P. 2401-2415.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ГЕНЕРАЦИИ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ДИФФУЗИОННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

М. С. Жидович

maksim.zhidovich@gmail.com;

Научный руководитель — В. А. Ковалев, кандидат технических наук

Одной из главных проблем при использовании искусственного интеллекта в медицине является недостаточное количество данных для обучения моделей. Современные подходы в машинном обучении требуют сотни тысяч анализов и изображений для достижения высокого качества. В данный момент не представляется возможным подготовить такое количество данных. Альтернативным решением может стать генерация подобных данных с помощью нейронных сетей. В данной работе описана разработка экспериментальных средств генерации КТ-изображений с помощью диффузионных нейронных сетей, а также сравнение с ранее полученными результатами.

Ключевые слова: генерация медицинских изображений; КТ-изображения; диффузионные нейронные сети; DDPM; нейронные сети.

ДИФФУЗИОННЫЕ МОДЕЛИ

Идея моделей данного типа состоит в определении диффузии как обратимого стохастического процесса, в котором структура распределения данных систематически и медленно разрушается посредством итеративного процесса прямого распространения. Затем изучается процесс обратного распространения, который восстанавливает структуру данных. В случае с изображениями прямой итеративный процесс представляет собой добавление шума по известному гауссовскому закону $q(x)$, обратный - удаление шума по некоторому неизвестному обратному гауссовскому закону $p(x)$. Этот закон предлагается аппроксимировать с помощью нейронной сети.

Таким образом, опишем процесс генерации изображений с помощью диффузионной модели: структура исходного изображения постепенно разрушается путем добавления шума, а затем восстанавливается с использованием нейросети. Повторяя описанные действия достаточное количество раз, модель обучается оценивать распределение исходных данных. Затем на вход подаётся случайный шум, который с помощью обратного процесса преобразуется в новое изображение. Отметим тот факт, что итеративность процесса позволяет проводить контролируемое обучение на каждом временном шаге.

Существует несколько основных видов диффузионных моделей. Основное различие между ними заключается в разной организации

итерационного процесса. В данной работе использовалась DDPM (Denoising Diffusion Probabilistic Model) [1]. Описанный ранее процесс здесь представляется в виде цепи Маркова с конечным количеством шагов. Такое решение негативно влияет на время работы, однако позволяет существенно улучшить качество генерируемых образцов. Восстановление изображения сводится к предсказанию добавленного шума на временном шаге t по изображению с шага $t+1$. Размерность шума совпадает с размерностью изображения. Как следствие, в качестве модели использовался UNet, реализованный в соответствии с [2].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходный датасет состоял из 100000 изображений. Было принято решение сконцентрироваться на одном классе – КТ-срезы на уровне сердца. Исходный размер изображений: 512×512 . Затем он был уменьшен с помощью бикубической интерполяции. Данный вид интерполяции часто используется для масштабирования изображений и видео, так как позволяет сохранять детали намного лучше, чем простой билинейный алгоритм. Размеры изображений, используемые в ходе экспериментов: 64×64 , 128×128 .



Рис. 1. Примеры исходных изображений

ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛИ. РЕЗУЛЬТАТЫ

Обучение нейросети для генерации изображений в разрешении 128×128 происходило на сервере DeepLab(Tesla V100 16Gb) в течение 40 часов. Количество шагов в цепи было равно 1000. Такой выбор позволяет соблюдать баланс между качеством генерации и её временем. В качестве планировщика дисперсий использовалась линейная сетка. Далее рассмотрим примеры генерации с помощью DDPM:

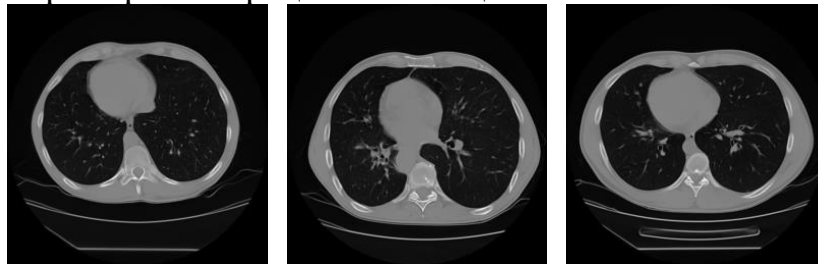


Рис. 2. Примеры генерации с помощью DDPM

Ранее в задаче генерации КТ-изображений были получены определенные результаты с помощью генеративно-сопоставительных сетей (Рис. 3). Визуальная оценка показывала, что качество изображений нельзя в полной мере назвать удовлетворительным, также существовала проблема малого разнообразия среди генерируемых образцов. Использование диффузионных моделей позволило улучшить качество генерации. Изображения стали более четкими, детализированными, форма грудной клетки стала более правильной с точки зрения анатомии.



Рис. 3. Примеры генерации с помощью DCGAN

Таким образом, в ходе работы были исследованы принципы генерации изображений на основе диффузионных нейронных сетей, а также способы обучения моделей данного типа. Результатом работы стала обученная нейронная сеть, которая может быть использована для генерации КТ-изображений грудной клетки. Визуальная оценка показала, что полученные изображения имеют достаточное качество для использования в других задачах обработки медицинских изображений.

Библиографические ссылки

1. Ho J., Jain A., Abbeel P. Denoising diffusion probabilistic models //Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Т. 33. С. 6840-6851.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation //Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18. – Springer International Publishing, 2015. С. 234-241.

ЭЛЕКТРОННОЕ ГОЛОСОВАНИЕ: КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ

М. А. Казловский

fpm.kazlovskMA1@bsu.by;

Научный руководитель – С. В. Агиевич, кандидат физико-математических наук

Систематизируются основные криптографические механизмы, которые используются в системах электронного голосования, а также потенциальные атаки на системы электронного голосования и способы защиты от них. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и анализе систем электронного голосования.

Ключевые слова: электронное голосование; право голоса; анонимность избирателя; свобода выбора; защита от принуждения.

ВВЕДЕНИЕ

Системы электронного голосования предоставляют возможность голосовать дистанционно, используя глобальную сеть Интернет. Их использование позволяет снизить стоимость проведения голосования и уменьшить время, которое необходимо затратить на участие в этой процедуре. Более того, если система электронного голосования соответствует ряду строгих требований безопасности, то можно гарантировать высокую степень достоверности результатов голосования. Для соблюдения указанных требований используют нетривиальные криптографические механизмы, комбинации которых позволяют получить надежную системы.

Тем не менее следует признать, что несмотря на существование большого числа различных систем электронного голосования, широкого распространения ни одна из существующих систем не получила. На наш взгляд, такая ситуация обусловлена двумя факторами. Во-первых, системы голосования, которые удовлетворяют большинству требований безопасности, имеют сложную архитектуру, а их работа сопряжена с большим количеством трудоемких вычислений. Во-вторых, практически невозможно обеспечить выполнение некоторых требований безопасности с использованием только криптографических методов защиты.

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

В любой системе электронного голосования выделяют несколько субъектов, то есть участников системы, которые решают различные задачи. Обычно к субъектам относят: избирателя (лицо, которые имеет

право и желание проголосовать), избирательную комиссию (лицо или группу лиц, которая отвечает за обработку результатов голосования) и регистрационную комиссию (лицо или группу лиц, которая отвечает за допуск избирателя к голосованию). Дополнительно к субъектам можно отнести наблюдателя (лицо, которое не принимает участия в процессе голосования, но контролирует корректность его проведения с помощью общедоступной информации) и противника (лицо, которое хочет нарушить корректность процедуры голосования).

В процессе электронного голосования выделяют отдельные этапы, на каждом из которых решаются различные задачи. Основными этапами большинства систем электронного голосования являются: инициализация (этап, на котором регистрационная и избирательная комиссии выполняют выработку и распределение долговременных криптографических параметров и ключей, формирование списка избирателей, а также осуществляют запуск всех необходимых для дальнейшей работы сервисов), регистрация (этап, на котором избиратель проходит аутентификацию перед регистрационной комиссией для проверки права голоса и получения необходимой для голосования информации), голосование (этап, на котором избиратель осуществляет формирование и отправку своего бюллетеня), подсчет (этап, на котором избирательная комиссия выполняет обработку всех поступивших бюллетеней и публикует результаты голосования) и аудит (этап, на котором наблюдатель проводит проверку корректности проведения всех остальных этапов).

Основной характеристикой любой системы электронного голосования является набор требований, которым она соответствует. Можно выделить базовые требования, к которым относят право голоса (в результатах голосования должно быть учтено не более одного бюллетеня от каждого избирателя, включенного в список допущенных к голосованию) и анонимность (связь содержания голоса в любом из отправленных в избирательную комиссию бюллетеней с личностью сформировавшего его лица не может быть найдена). Среди желательных требований рассматривают личную проверяемость (избиратель должен иметь возможность убедиться, что его голос учтен корректно), универсальную проверяемость (наблюдатель должен иметь возможность убедиться, что зарегистрированы только имеющие право голоса избиратели, а также что все бюллетени были корректно обработаны) и конфиденциальность выбора (содержание всех отправленных бюллетеней должно оставаться в тайне до завершения этапа голосования) [1, с. 5]. Существует и ряд дополнительных требований: анонимность в будущем (используемые криптографические алгоритмы должны гарантировать

анонимность избирателя даже при появлении квантового компьютера с большим числом кубитов), свобода выбора (система должна гарантировать, что избиратель не сможет создать криптографическое доказательство содержания своего голоса) и защита от принуждения (система должна гарантировать, что противник не может проверить, выполнил ли принуждаемый избиратель выдвинутые требования) [2, с. 46-47].

Базовые и часть желательных требований поддерживаются и на обычных офлайн выборах: право голоса реализуется через выдачу бюллетеней только находящимся в списке и прошедшим аутентификацию по паспорту избирателям, анонимность достигается за счет неразличимости бюллетеней и отсутствием контроля за процессом его заполнения, для обеспечения универсальной проверяемости используются контролирующие регистрацию и подсчет наблюдатели, а конфиденциальность выбора гарантируется благодаря использованию непрозрачного ящика, который может быть вскрыт только после завершения этапа голосования.

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ В ЭЛЕКТРОННОМ ГОЛОСОВАНИИ

Для выполнения описанных выше требований используются разнообразные криптографические механизмы. К базовым механизмам можно отнести протокол аутентификации избирателя на этапе регистрации (например, протокол аутентификации Шнорра), протокол организации защищенного соединения между субъектами системы (например, протокол TLS) и алгоритм шифрования бюллетеней (например, алгоритм шифрования Эль-Гамала).

Среди дополнительных механизмов можно выделить неинтерактивные доказательства с нулевым разглашением, которые используются для обеспечения проверяемости системы (например, доказательства Чаума-Педерсона [3]), алгоритмы разделения секрета, которые используются для повышения доверия к избирательной комиссии (например, схема Шамира), тест на эквивалентность открытого текста (PET), который используется для реализации защиты от принуждения, а также протокол «забывчивой» передача (OT), который может быть использована для анонимного заполнения бюллетеня (например, протокол Чу-Цзена [4]).

Отдельно необходимо упомянуть механизмы, которые используются для обеспечения анонимности. На этапе регистрации применяются механизмы «слепой» подписи или «слепого» аккумулятора [5], которые позволяют избирателю анонимно зарегистрировать эфемерный открытый

ключ. На этапе голосования можно использовать связываемые кольцевые подписи, которые могут гарантировать, что подпись любого бюллетеня была выполнена одним из имеющих право голоса избирателей, причем каждый избиратель подписал не более одного бюллетеня. На этапе подсчета используют механизмы перемешивания, которое разрушает связь между зашифрованным и расшифрованным бюллетенем, и гомоморфного шифрования, которое позволяет расшифровать сумму всех голосов.

АТАКИ НА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

Можно выделить следующие атаки, которые возможно как на офлайн, так и на онлайн голосования: вброс (нарушение правила один избиратель – один учтенный бюллетень), подмена (замена поданного избирателем бюллетеня), «мертвые души» (включение в список избирателей посторонних лиц) и неправильный подсчет (некорректная обработка бюллетеней). В системах электронного голосования для защиты от вброса используется подпись бюллетеня и, быть может, доказательства с нулевым разглашением; для защиты от подмены возможно внедрение публичного хранилища бюллетеней, которое может быть основано, например, на технологии «блокчейн», для защиты от «мертвых душ» можно применять публичную аутентификацию избирателей, в рамках которой избиратель предъявляет свой сертификат открытого ключа; для защиты от неправильного подсчета требуется или публикация ключа расшифрования, или предъявление доказательства с нулевым разглашением корректности расшифрования.

Для электронного голосования можно выделить дополнительные направления атак: небезопасное приложение для голосования, недоверенная регистрационная комиссия, недоверенная избирательная комиссия, принуждение на этапе регистрации и нарушение анонимности с помощью сетевой информации. Программное обеспечение с открытым исходным кодом и поддержание индивидуальной проверяемости с помощью криптографических механизмов, публичная аутентификация избирателя, алгоритмы разделения секрета для личных ключей избирательной комиссии, аппаратный токен для регистрации избирателя, анонимный канала связи для подачи голоса (например, виртуальные частные сети) соответственно могут быть предложены в качестве механизмов защиты.

Библиографические ссылки

1. *Kho, Y. X., Heng, S. H., & Chin, J. J.* A Review of Cryptographic Electronic Voting // *Symmetry*. 2022. Vol. 14, issue 5, p. 858.

2. *Juels A., Catalano D., Jakobsson M.* Coercion-Resistant Electronic Elections // Towards Trustworthy Elections: New Directions in Electronic Voting. 2010. pp. 37–63.
3. *Chaum D., Pedersen T. P.* Wallet databases with observers // Annual international cryptography conference. 1992. pp. 89–105.
4. *Chu C. K. and Tzeng W. G.* Efficient k-out-of-n oblivious transfer schemes with adaptive and non-adaptive queries. // PKC'05, 8th International Workshop on Theory and Practice in Public Key Cryptography. 2005. pp. 172–183.
5. *Agievich S.* Blind accumulators for e-voting // Proceedings of Central European Conference on Cryptology CECC '22. 2022. pp. 15–18.

РАЗРАБОТКА АГРЕГАТОРА ТЕМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ

С. С. Кацуба

stas.katsuba@gmail.com;

Научный руководитель — И. Д. Лукьянов, старший преподаватель

С развитием технологий модернизировались методы получения информации, а с появлением сети Интернет возникла необходимость в нахождении методов классификации и группировки информации. Решение этих задач требовалось как при создании первых поисковых машин, так и сейчас для работы индексаторов, агрегаторов и более продвинутых поисковых машин. Но если в начале 1990-х годов использовали более простые алгоритмы решения задачи поиска и классификации, которые позволяли эффективно обрабатывать малый объем данных того времени, то с увеличением объема данных в сети Интернет алгоритмы пришлось модернизировать.

В работе были разработаны алгоритмы решения задач сбора данных из различных электронных ресурсов, извлечения информации из полученных данных, а также задачи кластеризации и классификации объектов. С помощью разработанных алгоритмов были получены агрегатор новостных сюжетов и агрегатор товаров по его названию и изображению.

Ключевые слова: агрегирование; кластеризация; нейронные сети; парсинг; извлечение информации; классификация изображений; обработка текстов; машинное обучение; векторное представление текстов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Под задачей агрегации информации будем подразумевать совокупность задач сбора, извлечения признаков и объединения информации. В контексте обработки данных, агрегация информации относится к процессу комбинирования данных из различных источников с целью получения обобщенного представления.

СБОР ДАННЫХ

Под задачей сбора данных будем подразумевать задачу получения содержимого электронных ресурсов, которые отвечают определенным требованиям. Решение задачи сбора данных можно свести к автоматизации GET-запросов к электронным ресурсам, с последующей фильтрацией и обработкой полученных HTML-объектов [1].

Во время автоматизации запросов возникает необходимость обработки статических и динамических электронных ресурсов. Статические электронные ресурсы сохраняют структуру документа во время работы с ним, тогда как динамические могут изменять ее с

помощью различных скриптов. Для обработки динамических необходимо эмулировать работу пользователя с электронными ресурсами.

Полученные данные проверяются на соответствие необходимой структуре, после чего сохраняются и фильтруются. Хранение данных осуществляется в реляционной базе данных.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПРИЗНАКОВ И ОБЪЕДИНЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

Для работы с текстовыми и графическими данными будем использовать их представление в некотором латентном векторном пространстве R^N . Близость векторных представлений объектов в этом пространстве будет в некоторой степени характеризовать их похожесть. В таком случае, под сюжетом новостей можно понимать кластер векторных представлений новостных артиклей в латентном пространстве.

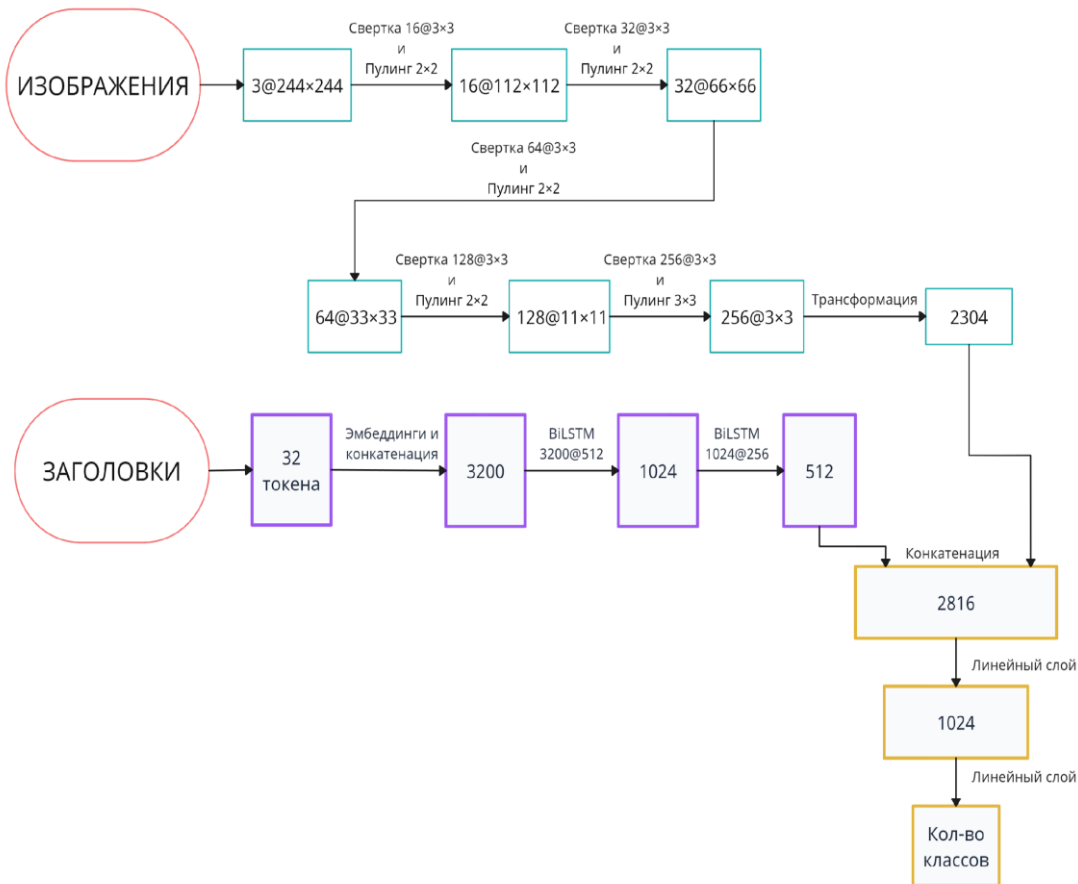


Рис.1. Пример комбинированной модели кодировщика-декодировщика для классификации объектов

Для получения векторного представления объектов будет обучаться модель кодировщика-декодировщика [2] как для текстовых, так и для графических данных. После обучения текущей модели можно использовать часть кодировщика для генерации векторных

представлений, а часть декодировщика для объединения товаров в классы или же кластеризации новостей.

Для заголовков и изображений товаров будем обучать собственные кодировщики-декодировщики. В качестве кодировщиков для текстовых данных будем использовать два двунаправленных слоя LSTM, а для графических – предобученные ResNet и VGG, а также стек из нескольких слоев пулинга и свертки.

Помимо этого, возможно комбинировать уже обученные кодировщики различных моделей, к примеру кодировщики графических и текстовых данных. Разные кодировщики хорошо различают различные классы, а их объединение может помочь увеличить качество итоговой модели.

В общем случае мы не можем сами обучить модель кодировщика-декодировщика для решения задачи кластеризации новостных артиклей, т.к. неизвестно точное количество классов сюжетов новостей. В общем случае количество таких сюжетов является бесконечным. В таком случае мы можем получить только векторное представление документа, которое в дальнейшем мы будем использовать в алгоритмах кластеризации. В работе использовались предобученные на корпусе русскоязычных текстов модели архитектуры BERT [3]. Помимо этого, по всему набору данных новостей высчитывались TF-IDF вектора. Данное векторное представление будет считаться базовым, т.к. не учитывает структуру документа, а только общие слова.

Для кластеризации использовались алгоритмы агломеративной кластеризации и DBSCAN с метриками косинусного и евклидоваго расстояний. Данные алгоритмы позволяют установить ограничение на расстояние между кластерами, а не оперировать их количеством, как, к примеру, это делает алгоритм K-средних.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам работы наиболее высокие результаты классификации товаров показала модель, которая комбинирует кодировщики для текстовой и графической информации. Полученный результат метрики F1 составляет 97,3%. Точность предсказаний класса составляет 97,1%. Такие высокие значения говорят об успешном обучении кодировщика-декодировщика.

Качество кластеризации новостей будем оценивать с помощью индекса Фоулкса-Мэллова. Наибольшее значение индекса равное 0,82 было получено при использовании модели MPNET-Base-v2, обученной на мультязычном наборе данных. Использовалась агломеративная

кластеризация полной связности с метрикой косинусного расстояния. Такое значение индекса говорит об успешном решении задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы была поставлена задача агрегации тематически схожих электронных ресурсов. Были разработаны и проанализированы алгоритмы сбора данных, алгоритмы извлечения признаков из полученных данных, а также алгоритмы классификации и кластеризации объектов. Метрики работы разработанных алгоритмов высоки, что свидетельствует об успехе в решении поставленной задачи.

В результате исследования была получена программа, которую можно использовать для агрегации новостных статей и специализированных товаров, создания собственных агрегаторов новостей, а также для поддержки онлайн-каталогов товаров.

В дальнейшем планируется обучить более оптимальные модели для получения векторного представления новостных статей. Помимо этого, планируется исследовать возможность создания алгоритмов для агрегации мультязычных электронных ресурсов. Архитектуры алгоритмов, которые были представлены в работе, пока не позволяют сделать это.

Библиографические ссылки

1. *Ryan M.* Web Scraping with Python: Collecting More Data from the Modern Web / М. Ryan – Изд. 4-е. – М. : O'Reilly Media, 2018. 308 с
2. An Exploration of Encoder-Decoder Approaches to Multi-Label Classification for Legal and Biomedical Text [Электронный ресурс] / Yova Kementchedjheva, Ilias Chalkidis // arXiv - 2023 – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2305.05627> – Дата доступа: 16.03.2023
3. *Kenton J. D. M. W. C., Toutanova L. K.* BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of NAACL-HLT. 2019. С. 4171-4186.
4. *Song K. et al.* MPNet: masked and permuted pre-training for language understanding // Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2020. С. 16857-16867.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИНТЕЗА РЕЧИ НА БЕЛОРУССКОМ ЯЗЫКЕ ИЗ ТЕКСТА

Н. Н. Кучин

nikitakuchinisme@gmail.com;

Научный руководитель — А. А. Буславский, старший преподаватель

В данной статье рассматривается процесс создания системы синтеза речи из текста на белорусском языке, способной генерировать естественно звучащую речь с помощью параметрического синтеза, то есть с использованием машинного обучения.

Ключевые слова: синтез речи; белорусский язык; глубокое обучение; обработка аудио; набор данных; обработка текста; машинное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

Белорусский язык является национальным языком белорусов и государственным языком Республики Беларусь. Количество говорящих на этом языке людей оценивается примерно в семь миллионов.

Несмотря на значительное число носителей, в интернете на текущий момент доступна лишь одна система синтеза речи на белорусском языке, разработанная Лабораторией распознавания и синтеза речи ОИПИ НАН РБ [1]. Согласно результатам опроса, средняя оценка разборчивости речи модели равна 1.8 из 5. Современные системы синтеза речи имеют среднюю оценку разборчивости речи 4.5 из 5. Сервисы крупных корпораций, такие как Яндекс и Google, предлагают функционал синтеза речи на множестве [2] языков [3], однако белорусский язык в их списке отсутствует. Таким образом, на данный момент в открытом доступе не существует качественной модели синтеза речи на белорусском языке.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача синтеза речи из текста состоит в том, чтобы создать модель, которая может принимать на вход текстовую последовательность и генерировать соответствующую звуковую последовательность.

Формально, задача синтеза речи из текста может быть определена как функция $y = f(x)$, где x – текст, поступающий на вход, y – соответствующая тексту звуковая последовательность, а $f(x)$ – некоторая функция, которая отображает текстовую последовательность в звуковую [4].

Метрики оценки качества синтеза речи делятся на два типа: объективные и субъективные.

Объективные метрики качества основаны на численных показателях, которые рассчитываются на основе автоматического сравнения

синтезированной речи с эталонной записью. Примером объективной метрики можно назвать среднеквадратичную ошибку (MSE) -- это мера разности между двумя временными рядами, в данном случае, между синтезированной речью и эталонной записью.

Субъективные метрики основаны на оценках слушателей, которые прослушивают синтезированную речь и оценивают ее по различным критериям. Примером субъективной метрики является средняя оценка мнений (MOS) – слушатели оценивают синтезированную речь по пятибалльной шкале от 1 (очень плохое качество) до 5 (отличное качество). Затем среднее значение оценок всех слушателей используется как обобщенная мера качества синтезированной речи [5].

ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ РЕЧИ

Формантный синтез основывается на использовании набора параметров, таких как форманты, основная частота и амплитуды, для моделирования звуковой формы речи. Форманты - это пики в спектре аудиосигнала, которые возникают в результате резонанса в полости рта и горла при произнесении различных звуков. Они играют важную роль в формировании характеристик человеческого голоса и помогают отличать одни звуки от других. Звуковая волна создается путем комбинирования синусоидальных гармоник, которые моделируют различные форманты.

Конкатенативный синтез основан на соединении отдельных звуковых фрагментов, извлеченных из записей человеческой речи. Обычно задается обширная база данных аудиозаписей речи, разбитых на множество мелких фрагментов, называемых юнитами. Юниты могут представлять собой фонемы, слоги, слова или даже целые фразы.

При параметрическом синтезе для генерации выходной звуковой волны, в отличие от конкатенативного синтеза, не используются реальные примеры речи, но строится вероятностное распределение аудиопараметров и акустических свойств звуковой волны. Основными типами параметрических моделей являются скрытые марковские модели и глубокие нейронные сети.

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ СИНТЕЗА РЕЧИ ИЗ ТЕКСТА

Систему синтеза речи из текста можно разделить на две части: внешнюю (отвечающую за обработку и анализ текста) и внутреннюю (отвечающую за генерацию аудиофайла).

Внешняя часть отвечает за анализ текста и обработку естественного языка. Среди ее обязанностей:

- Нормализация – преобразование чисел, сокращений и аббревиатур в полную форму, исправление опечаток

- Сегментация предложений
- Фонемизация – преобразование текста в последовательность фонем, являющихся базовыми звуковыми единицами языка.

Внутренняя часть отвечает за преобразование текста, подготовленного с помощью внешней части, в звуковой сигнал, который звучит как натуральная речь.

Фонемизатор — это инструмент, который преобразует написанный текст в последовательность фонем. В качестве фонемизатора для белорусского языка в данной работе будет использован фонемизатор, любезно предоставленный проектом BNKorpus [6]. На данный момент этот фонемизатор является, наиболее полным точным фонемизатором для белорусского языка. Он использует огромную грамматическую базу, которая позволяет учитывать особенности белорусской орфографии и фонетики. Также он поддерживает Международный фонетический алфавит (IPA), что позволяет учитывать особенности произношения и интонации.

Внутренняя часть нашей системы делится на две модели: первая, назовем ее основной, создает спектрограмму из текста, вторая, которая называется вокодер, создает аудиофайл из спектрограммы.

В качестве архитектуры нейронной сети основной системы использована Glow-TTS. Она основана на нормализованных потоках – последовательностях преобразований данных, позволяющих модели изучать сложные распределения данных. При обучении модели мы предоставляем ей множество пар вида “текст – аудиозапись”, часть модели, называемая декодером, извлекает из спектрограммы аудиозаписи параметры звуковой волны, часть модели под названием энкодер извлекает лингвистические признаки текста, и далее модель ищет наиболее правдоподобные параметры для выравнивая лингвистических и акустических признаков. А во время генерации текста за счет того что все преобразования, которые делал декодер, обратимы, можем получить из сгенерированных акустических признаков спектрограмму [7].

В качестве архитектуры нейронной сети вокодера использована HifiGAN. Она является генеративно-состязательной нейронной сетью, то есть состоит из двух основных компонентов: генератора и дискриминатора. Генератор отвечает за преобразование мел-спектрограммы в аудиосигнал, в то время как дискриминатор обучается различать реальные и сгенерированные аудиосигналы. [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы разработана система синтеза речи из текста на белорусском языке. Код и конфигурационные файлы размещены в

открытом доступе на платформах GitHub [9] и HuggingFace [10][11]. Система используется в системе асістэнт.бел, разработанной ОИПИ НАН РБ, а также используется на платформе donar.by. Также система развернута на отдельном веб-сайте [12].

Библиографические ссылки.

1. Text-to-speech Synthesizer // Лаборатория синтеза и распознавания речи ОИПИ НАН РБ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://corpus.by/TextToSpeechSynthesizer/>. Дата доступа: 25.05.2023.
2. Google Cloud Text-to-Speech // Google [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cloud.google.com/text-to-speech/docs/voices/>. Дата доступа: 25.05.2023.
3. Yandex Cloud Text-to-Speech // Yandex [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cloud.yandex.ru/docs/speechkit/tts/voices/>. Дата доступа: 25.05.2023.
4. Paul, T. Text-to-Speech Synthesis / *Paul Taylor*. – Cambridge : Cambridge University Press, 2009. – 597 с.
5. Mahesh V. Measuring speech quality for text-to-speech systems: development and assessment of a modified mean opinion score (MOS) scale. / *Mahesh Viswanathan and Madhubalan Viswanathan* // *Computer Speech & Language*. – 2005. – Vol. 19, no.1. – P. 55 – 83.
6. BNKорпус Phonetic Converter [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bnkorporus.info/fanetyka.html>. Дата доступа: 25.05.2023.
7. Glow-TTS: A Generative Flow for Text-to-Speech via Monotonic Alignment Search [Электронный ресурс] / *Kim, Jaehyeon, Kim Sungwon and et.* / – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2005.11129/>. Дата доступа: 25.05.2023.
8. HiFi-GAN: Generative Adversarial Networks for Efficient and High Fidelity Speech Synthesis [Электронный ресурс] / *Kong Jungil, Kim Jaehyeon, Bae Jaekyoung* / – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2010.05646/>. Дата доступа: 25.05.2023.
9. Github Bel-TTS Source Code: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/jhlfrfufyfn/diplom-bel-tts/>. Дата доступа: 25.05.2023.
10. HuggingFace Bel-TTS Space: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://huggingface.co/spaces/jhlfrfufyfn/bel-tts/>. Дата доступа: 25.05.2023.
11. HuggingFace Bel-TTS Models: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://huggingface.co/jhlfrfufyfn/bel-tts>. Дата доступа: 25.05.2023.
12. Bel-TTS demonstration website: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nikuchin.fun/tts>. Дата доступа: 25.05.2023.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ГАУССОВЫХ ПОЛЕЙ

И. К. Леонов

ivanleonov.eu@gmail.com;

*Научный руководитель – А. Ю. Харин, доктор физико-математических наук,
профессор*

В последние годы активно развивается область последовательного анализа. Построение последовательных тестов для случайных величин, а также для цепей Маркова постепенно становится классической теорией последовательного анализа. В свою очередь, проверки гипотез о случайных полях является сложной задачей из-за их сложной структуры. Задача изучения корреляционных свойств случайных полей встречается в различных дисциплинах, таких как анализ изображений, космология и геостатистика. Данная статья посвящена проверке гипотез о корреляционной структуре гауссовых случайных полей методами последовательного анализа. Целью данной работы является разработка методики применения последовательного анализа для исследования гауссовых случайных полей.

Ключевые слова: последовательный анализ; случайное поле; статистическая проверка гипотез; статистический последовательный тест

ВВЕДЕНИЕ

Последовательный подход, предложенный А. Вальдом [1], для построения статистических тестов проверки гипотез, успешно применяется при решении различных задач математической статистики, а также при организации мониторинга качества производства в индустрии благодаря его оптимальным свойствам. При проведении последовательной процедуры, объем выборки не является заранее известной величиной, так как дополнительные наблюдения используются только в случае недостатка информации для принятия решения, что позволяет уменьшить количество наблюдений для проверки гипотез.

В случае последовательного анализа случайных полей, возникают сложности с выбором статистики для построения последовательного теста отношения вероятностей Вальда. Случайное поле, как математическая модель, встречается в большом количестве междисциплинарных дисциплин, поэтому проблема проверки гипотез относительно случайных полей является актуальной.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Случайным процессом $f(t) = f(t, \omega)$, где $t \in T, \omega \in \Omega$ называется семейство случайных величин $\{f(t, \omega), t \in T\}$ определённых на одном и

том же вероятностном пространстве (Ω, F, P) , T – некоторое параметрическое множество. [22]

Если в определении случайного процесса параметрическое множество $T \subset R^N$, то случайный процесс $f(t)$ называется *случайным полем размерности N* .

Случайное поле называется *гауссовым (нормально распределенным)*, если любые его конечномерные законы распределения являются нормальными, т.е.:

$$\forall (t_1, t_2, \dots, t_m) \in T^m: (f(t_1), f(t_2), \dots, f(t_m)) \sim N(\mu, \Sigma),$$

где μ – вектор математических ожиданий, Σ – матрица ковариации.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТЕСТА

Рассмотрим гауссово случайное поле с нулевым матожиданием. Будем считать, что вид функции корреляции известен с точностью до конечного числа параметров. Сформулируем две простые гипотезы:

$$H_0: \{\sigma = \sigma_0(t); \rho(t, s) = \rho(t, s, \theta_0)\}, H_1: \{\sigma = \sigma_1(t); \rho(t, s) = \rho(t, s, \theta_1)\}, \quad (1)$$

где σ – дисперсия случайного поля, $\rho(t, s)$ – функция корреляции.

Заранее определим допустимые значения ошибок первого (вероятность принятия гипотезы H_1 при справедливой гипотезе H_0) и второго рода (вероятность принятия гипотезы H_0 при верной гипотезе H_1) α и β соответственно. Для построения последовательного теста, необходимо задать пороговые значения. В соответствии с [1] будем использовать следующие значения A, B ($B < A$):

$$A = \frac{1 - \beta}{\alpha}, B = \frac{\beta}{1 - \alpha}$$

При таком выборе пороговых значений, получившийся тест мощности (α^*, β^*) , причем:

$$\alpha^* + \beta^* \leq \alpha + \beta$$

Пусть на m -м шаге последовательного теста имеется выборка X :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

По определению гауссового случайного поля, знаем, что X имеет многомерное нормальное распределение. То есть для того, чтобы определить функцию плотности распределения вероятностей необходимо найти матрицу ковариации. Так как по нашему предположению, нам известен вид функции корреляции, то имеем:

$$\Sigma_{ij}^{(k)} = \sigma_k(t_i)\sigma_k(t_j)\rho(t_i, t_j, \theta_k), \quad k \in \{0,1\}$$

Тогда отношение вероятностей примет следующий вид:

$$\frac{p_{1m}}{p_{0m}} = \frac{|\Sigma^{(1)}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2} X^T \Sigma^{(1)-1} X\right)}{|\Sigma^{(0)}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2} X^T \Sigma^{(0)-1} X\right)} \quad (2)$$

Таким образом, можем построить тест отношения вероятностей Вальда:

- Если $B < \frac{p_{1m}}{p_{0m}} < A$, то продолжаем процедуру. Текущих наблюдений недостаточно для принятия решения.
- Если $\frac{p_{1m}}{p_{0m}} \geq A$, то тест завершается принятием гипотезы H_1 .
- Если $\frac{p_{1m}}{p_{0m}} \leq B$, то тест завершается принятием гипотезы H_0 .

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим стационарное гауссово случайное поле размера 100 на 100 с нулевым матожиданием и функцией корреляции вида:

$$\rho(t, s, \theta_k) = \rho(t - s, \theta_k) = \rho(\tau, \theta_k) = \exp\left(-\left(\frac{\tau_1^2}{\theta_{1,k}^2} + \frac{\tau_2^2}{\theta_{2,k}^2}\right)\right), k \in \{0, 1\}$$

Гипотезы (1) будут отображать дисперсию случайного поля и длины корреляционных связей. В качестве допустимы ошибок первого и второго рода выберем 0,01.

Результаты компьютерного моделирования

σ_0	θ_0	σ_1	θ_1	α^*	β^*	Среднее кол-во наблюдений
10	100	1	10	0	0	3,311
1	70	1	10	0,001	0,003	5,500
3	50	3	10	0,001	0,003	7,235
5	30	5	5	0,008	0,004	10,49
7	50	7	5	0	0,002	6,747
6	[10, 2]	5	70	0,003	0,004	5,294
9	[50, 40]	7	[20, 10]	0,002	0	8,277

Из таблицы видно, что построенный тест удовлетворяет заданным значениям ошибок первого и второго рода, работает в случае изотропной и анизотропной корреляционной структуры.

Библиографические ссылки

1. *A. Wald*. Sequential Analysis. New York: John Wiley and Sons, 1968.
2. *J. Taylor*. Lecture notes on random fields [Electronic resource]. – Mode of access: https://statweb.stanford.edu/~jtaylo/courses/stats352/notes/random_fields.pdf – Date of access: 02.06.2023.
3. *Müller, S., Schüler, L., Zech, A., and Heße, F.*: GSTools v1.3: a toolbox for geostatistical modelling in Python, Geosci. Model Dev., 15, 3161–3182, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-3161-2022>, 2022.

ПРЕДСКАЗАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ И ФИЛЬТРА КАЛМАНА

М. И. Малафеева, С.В. Лобач

malafeevamaria02@gmail.com, fpm.lobach@gmail.com;
Научный руководитель – С. В. Лобач, старший преподаватель

В статье исследуется применимость моделей в пространстве состояний и фильтра Калмана для предсказания и восстановления пропущенных значений временных рядов. Для решения используются классические формулы фильтра Калмана, а также рекуррентные формулы вычисления моментов.

Ключевые слова: модели в пространстве состояний; прогнозирование временных рядов; фильтр Калмана, моделирование; временные ряды с пропусками.

ВВЕДЕНИЕ

Многие математические модели временных рядов могут быть сведены к моделям в пространстве состояний. В свою очередь модели в пространстве состояний позволяют применить к исходной модели временного ряда широкий спектр процедур, включая столь актуальные, как оценивание параметров и прогнозирование [1].

ФИЛЬТР КАЛМАНА НА ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕРЕ

Рассмотрим практический пример.

Модель ARIMA(4, 1, 1):

$$y_t = y_{t-4} + \varepsilon_t + \varepsilon_{t-1}, t = 0, 1, \dots, T$$

$$\varepsilon_t = N(0, 1), y_0 = 1$$

Данную модель можно представить в форме модели в пространстве состояний:

$$\begin{cases} y_t = (1 \ 0 \ 0 \ 0)x_t \\ x_{t+1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} x_t + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \varepsilon_t \end{cases}, t = 0, 1, \dots, T, T = 100$$

$$\varepsilon_t = N(0, 1), y_0 = 1.$$

Требуется найти оценки \hat{x}_t, \hat{y}_t , используя фильтр Калмана.
 Для нахождения оценок будем пользоваться следующими формулами фильтра Калмана [2]:

$$x_{t|t-1} = Tx_{t-1},$$

$$P_{t|t-1} = TP_{t-1}T' + RQR',$$

$$x_t = x_{t|t-1} + K_tv_t,$$

$$P_t = [I - K_tZ]P_{t|t-1},$$

$$v_t = y_t - Zx_{t|t-1},$$

$$K_t = P_{t|t-1}Z'(ZP_{t|t-1}Z' + H)^{-1},$$

Где

$$\begin{cases} y_t = Z_t x_t, \\ x_{t+1} = T_t x_t + R_t \varepsilon_t \end{cases}, \quad t = 0, 1, \dots, T, \quad T = 100,$$

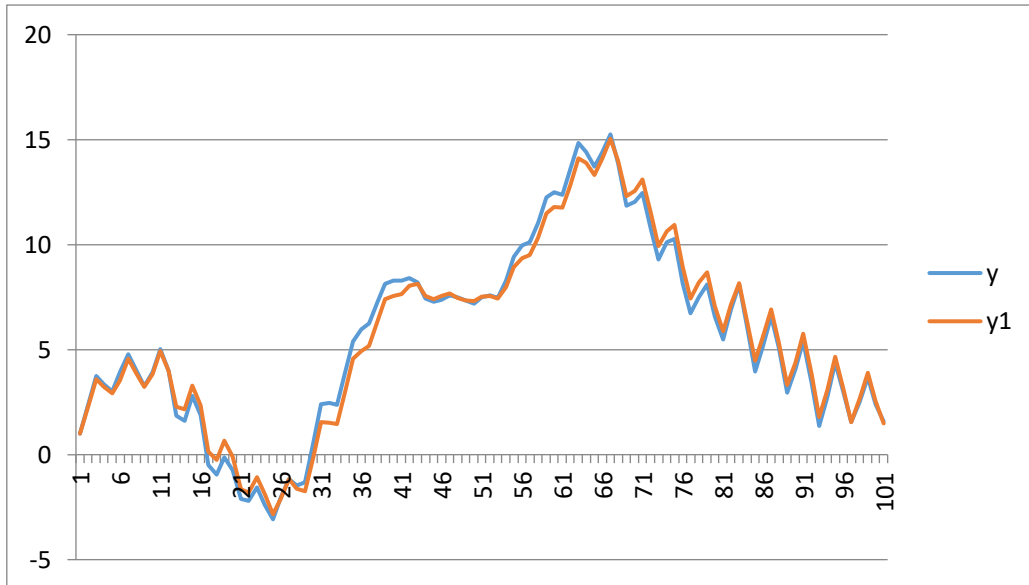
$$E(\varepsilon_{t-1} \varepsilon_{\tau-1}) = \begin{cases} Q, & t = \tau \\ 0, & t \neq \tau \end{cases}$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_\tau) = \begin{cases} H, & t = \tau \\ 0, & t \neq \tau \end{cases}$$

В нашем случае: $Z = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$, $T = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$, $R = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$.

Зададим: $H = 1$, $Q = 1$, $x_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$, $P_0 = \begin{pmatrix} 16 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 16 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 16 \end{pmatrix}$.

На рисунке представлены графики исходного временного ряда y и полученного в результате фильтрации ряда оценок y_1 .



Графики исходного временного ряда y и ряда оценок y_1

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

Рассмотрим стационарный в широком смысле процесс со спектральной плотностью [3]:

$$\hat{f}(\lambda) = \frac{|e^{i\lambda} + 1|^2}{|e^{2i\lambda} + \frac{1}{2}e^{i\lambda} + \frac{1}{2}|^2}.$$

Построим гауссовский процесс со спектральной плотностью. Такой процесс может быть получен как решение уравнения:

$$\xi_{t+2} + \frac{1}{2}(\xi_{t+1} + \xi_t) = \varepsilon(t+2) + \varepsilon(t+1).$$

Введём вспомогательную переменную θ и составим систему:

$$\begin{cases} \theta_{t+1} = -\frac{1}{2}\theta_t - \frac{1}{2}\xi_t + \frac{1}{2}\varepsilon(t+1) \\ \xi_{t+1} = \theta_t + \varepsilon(t+1). \end{cases}$$

Далее смоделируем два вектора θ и ξ при заданных начальных условиях $\theta_0 = 1, \xi_0 = 1$.

Для задачи прогнозирования строим дополнительные вектора n_1 и n_2 (n_1 - для θ , n_2 - для ξ) по формулам :

$$\begin{cases} n_1(t+1, s) = -\frac{1}{2}n_1(t, s) - \frac{1}{2}n_2(t, s) \\ n_2(t+1, s) = n_1(t, s) \\ n_1(s, s) = m_s, n_2(s, s) = \xi_s \end{cases}.$$

Для того, чтобы начать строить прогноз с момента времени s , нужно знать начальное значение $n_1(s, s)$. Для этого построим ещё одну последовательность m :

$$\begin{cases} m_{s+1} = -\frac{1}{2}m_s - \frac{1}{2}\xi_s + \frac{1-\gamma_s}{2(1+\gamma_s)}(\xi_{s+1} - m_s) \\ \gamma_{s+1} = \frac{\gamma_s}{1+\gamma_s} \\ m_0 = 0, \gamma_0 = 1. \end{cases}$$

Указанные выше формулы можно также применить для восстановления пропущенных значений временного ряда. Рассматриваются три варианта пропусков: расположенные в начале, в середине и в конце временного ряда, а также детерминированный и случайный шаблоны пропусков.

Результаты представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

Ретроспективный прогноз с момента $s = 90$

№	θ	n_1	ξ	n_2
91	0.467	0.425	0.233	0.156
92	-0.247	-0.290	0.673	0.425
93	-0.331	-0.067	-0.483	-0.290

Таблица 2

Восстановление пропущенных значений ($s = 70$)

№	θ	n_1	ξ	n_2
71	0.243	-0.284	0.969	-0.088
72	-0.331	0.186	0.793	-0.284
73	-0.003	0.049	0.125	0.186

Восстановление пропущенных значений ($s = 50$)

№	θ	n_1	ξ	n_2
51	-0.509	1.053	-3.069	0.123
52	0.382	-0.588	-3.322	1.053
53	0.205	-0.232	-2.148	-0.588

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что наименее точными оценками пропущенных наблюдений, а также прогноз получается в случае, когда пропуски находятся в начале временного ряда, а более точные, когда пропуски находятся в конце временного ряда.

Библиографические ссылки

1. *В.И. Лобач, Р. И. Меркулов.* Прогнозирование временных рядов с пропусками на основе моделей в пространстве состояний.. Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/27683/1/Merkulov_Prognozirovaniye.PDF.
2. James Durbin. State Space and Unobserved Component Models: Theory and Applications. 2004. 394 с.
3. *Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н.,* Статистика случайных процессов, – Москва: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1974 – 696 с.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТИВНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОИСКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВ ПРОТИВ ВИЧ

А. А. Малыщик

akim.malyschik@gmail.com;

Научный руководитель — А. В. Тузиков, доктор физико-математических наук, профессор

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в разработке новых эффективных ингибиторов проникновения ВИЧ-1, в настоящее время нет лицензированных противовирусных препаратов, основанных на ингибировании критических взаимодействий белка gp120 оболочки ВИЧ-1 с клеточным рецептором CD4 [1]. В связи с этим исследования по разработке терапевтических средств, ингибирующих связывание белка gp120 с молекулой CD4, остаются чрезвычайно актуальными.

В настоящей работе была разработана генеративная модель нейронной сети, позволяющая получать SMILES-описания химических соединений, обладающих низкой энергией связывания с гликопротеином gp120. С помощью разработанной модели были сгенерированы соединения, для которых в дальнейшем была вычислена оценка энергии связывания методом молекулярного докинга.

В результате проведенного исследования были получены соединения с энергией связывания, сравнимой с энергиями известных на данный момент ингибиторов NBD11021 и NBD14010.

Ключевые слова: методы глубокого обучения; механизм внимания; трансформер, ВИЧ-1; белок gp120; ингибиторы проникновения ВИЧ-1; методы молекулярного моделирования; лекарственные препараты против ВИЧ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ

Ставилась задача для входных данных получить их посимвольное представление в латентном пространстве (эмбеддинги), и, основываясь на этих эмбеддингах, посимвольно восстановить описание соединения в формате SMILES.

Для решения поставленной задачи было решено использовать архитектуру, основанную на модели BERT [2]. По сравнению с оригинальной архитектурой, было уменьшено число слоев энкодера (с 12 до 6), а также размеры латентного и промежуточного слоев. Перед началом обучения для каждого соединения из обучающей выборки 15% случайно выбранных символов заменялось на специальный токен [MASK], после чего соединения с замаскированными символами пропускались через энкодер, вычислялись эмбеддинги для символов. Полученные на выходе из энкодера эмбеддинги дополнительно обрабатывались полносвязным слоем, а после – функцией softmax.

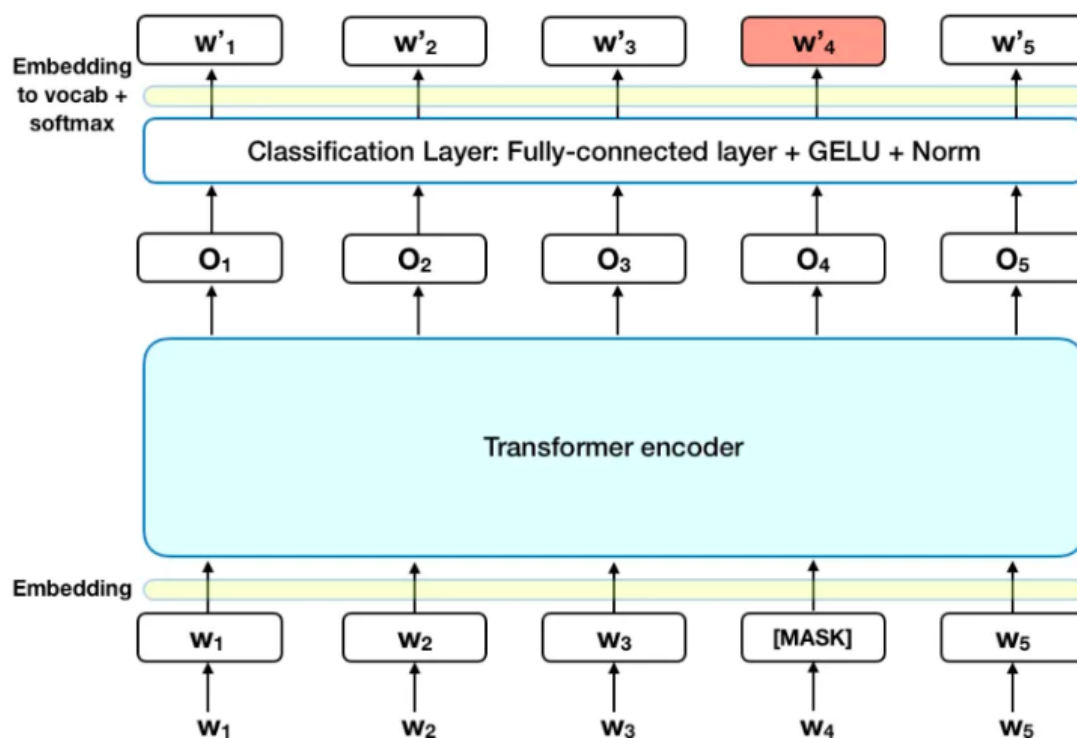


Рис. 1. Архитектура модели

ГЕНЕРАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ, РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ СВЯЗЫВАНИЯ

Процесс генерации был организован следующим образом. Для соединений из выборки, полученной методом фармакофорного поиска, маскировалась часть символов, после чего соединения пропускались через нейросеть. На выходе энкодер сети BERT возвращал соединение с восстановленными символами. Повторяя данную операцию несколько раз, генерировались новые SMILES-описания. После генерации с помощью инструментария из пакета RDKit с открытым исходным кодом (URL: <http://www.rdkit.org/>) проверялась корректность и интерпретируемость сгенерированных соединений.

В результате генерации соединений, проверки валидности SMILES-дескрипторов, удаления дубликатов и соединений с некорректной трехмерной структурой, осталось 2364 SMILES-описания соединений. Для них был проведен молекулярный докинг с белком gp120. Трехмерная структура белка gp120 была выделена из комплекса этого гликопротеина с рецептором CD4 и антителом 17b (код 1GC1 из банка данных белков [3]). Атомы водорода добавлены к структуре белка gp120 с помощью программного пакета Chimera. Также была проведена оптимизация структуры в силовом поле UFF при помощи программы OpenBabel.

Молекулярный докинг лигандов из обучающего набора данных с белком gp120 выполнялся с помощью программы AutoDock Vina с учетом

конформационной подвижности лиганда. Ячейка для докинга представляла собой фрагмент белка gp120 с координатами x (19 Å; 39 Å), y (-20 Å; 0 Å), z (73 Å; 93 Å), включающий Phe43-полость гликопротеина. Для каждого лиганда генерировали девять моделей комплекса, лучших по значению оценочной функции. При этом охват конформационного пространства был задан равным 100.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам докинга было получено распределение энергий связывания для сгенерированных молекул (рис. 2)

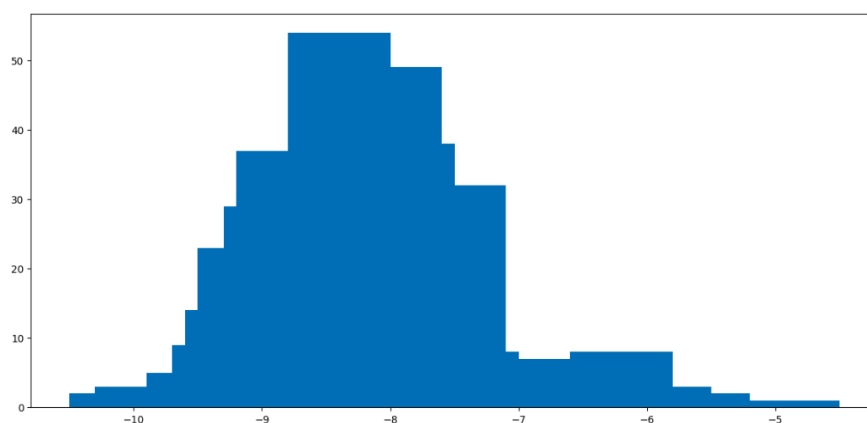


Рис.2. Распределение энергии сгенерированных соединений

Стоит отметить, что было сгенерировано несколько соединений с энергией связывания в диапазоне -10 ± 0.5 ккал/моль. Аналогичную энергию имеют известные на данный момент ингибиторы gp120 [4], то есть сгенерированные соединения представляют интерес для дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в рамках работы был разработан алгоритм генерации SMILES-описаний химических соединений, позволяющий получать молекулы с низкой энергией связывания. Для первичного анализа сгенерированных соединений был проведен молекулярный докинг и оценена их энергия связывания.

В дальнейшем планируется сравнение лучших по энергии связывания сгенерированных соединений с ингибиторами NBD11021 и NBD14010, а также исследование полученных соединений методом молекулярной динамики. Некоторые из полученных соединений, в конечном итоге, могут быть синтезированы и протестированы на противовирусную активность, а разработанная модель может быть использована для поиска новых потенциальных ингибиторов проникновения ВИЧ-1.

Библиографические ссылки

1. *Jiang, S.* Small-molecule HIV-1 entry inhibitors targeting the epitopes of broadly neutralizing antibodies / S. Jiang, A. Tuzikov, A. Andrianov // *Cell Chemical Biology* 2022. Vol. 29, 5 P. 757-773
2. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding [Electronic resource]. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>. Date of access: 17.03.2023.
3. Structure of an HIV gp120 envelope glycoprotein in complex with the CD4 receptor and a neutralizing human antibody / Kwong P. D. [et al.] // *Nature* 1998. Vol. 393 P. 648–659.
4. Synthesis, Antiviral Potency, in Vitro ADMET, and X-ray Structure of Potent CD4 Mimics as Entry Inhibitors That Target the Phe43 Cavity of HIV-1 gp120 / Curreli F [et al.] // *Journal of medicinal chemistry* 2017. Vol. 60, 7. P. 3124-3153

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В. В. Мацкевич

matskevich1997@gmail.com;

*Научный руководитель — В. В. Краснопрошин, доктор технических наук,
профессор*

На сегодняшний день для обучения нейронных сетей повсеместно применяются градиентные алгоритмы. Однако они не всегда обеспечивают необходимое качество решения. Алгоритмы случайного поиска, как правило, повышают качество решения, но медленно сходятся. В работе предлагается алгоритм обучения на основе объединения идей градиентного спуска и случайного поиска. На примере решения ряда задач показано, что данный алгоритм эффективнее современных алгоритмов обучения.

Ключевые слова: алгоритмы обучения; нейронные сети; случайный поиск; метод градиентного спуска.

ВВЕДЕНИЕ

На заре развития нейронных сетей, вычислительные мощности компьютеров были крайне малы. Для обучения нейронных сетей необходим был алгоритм не требующий большого объема вычислений.

Метод градиентного спуска обеспечивает высокую скорость сходимости за счет чего получил широкое распространение. Однако по мере развития цифровой техники, размерность и сложность входных данных выросла. Это привело к усложнению архитектур нейронных сетей и увеличению числа настраиваемых параметров. Более того, появились прикладные задачи, требующие высокого качества полученного решения. Для решения данной проблемы разрабатывались модификации градиентного метода с целью повышения качества полученного решения.

Однако эффективности модификаций оказалось недостаточно для решения ряда прикладных задач. Для повышения качества полученного решения были разработаны алгоритмы на основе случайного поиска. Однако они обладают крайне медленной скоростью сходимости и нечасто применяются на практике. Таким образом, проблема обучения нейронных сетей является актуальной.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ

Проведем сравнение преимуществ и недостатков методов обучения.

Градиентные алгоритмы крайне быстро сходятся и зачастую на практике обеспечивают приемлемое качество решения. Однако к прикладной задаче предъявляется требование к дифференцируемости целевой функции, что существенно ограничивает класс решаемых прикладных задач.

Более того, для решения проблемы «взрывного» или «затухающего» градиента при обучении нейронных сетей на архитектуру накладывается ряд ограничений. Градиентные алгоритмы могут сходиться в точки, где значения градиента крайне близки к нулю. Это приводит к существенному снижению качества полученного решения.

Алгоритмы случайного поиска при решении задачи рассматривают все пространство решений. Это существенно повышает вероятность обнаружения оптимального решения. Единственным требованием является вычислимость оценки целевой функции для рассматриваемого решения.

Благодаря этому существенно расширяется класс решаемых прикладных задач. Однако, для рассмотрения всего пространства решений и точной оценки значения целевой функции, необходим огромный объем вычислений, что ограничивает его применение на практике.

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ

Идея гибридного алгоритма заключается в уменьшении рассматриваемого множества решений по сравнению со случайным поиском и его расширением по сравнению с градиентными алгоритмами.

Рассмотрим задачу минимизации некоторой целевой функции f . Будем предполагать, что оптимизируемые параметры можно разбить на наборы, в каждом из которых свой предполагаемый оптимальный отрезок значений. Алгоритм состоит из следующих шагов.

Предварительный шаг. Инициализация начального решения x_0 случайным образом и вычисление $f(x_0)$.

Шаг 1. Генерация случайного решения y на основе текущего решения x и вычисление $f(y)$. Этот шаг можно разбить на две части.

Шаг 1.1 Генерация случайных величин. Генерируется m равномерно распределенных на отрезке от нуля до количества параметров в наборе дискретных случайных величин a_1, a_2, \dots, a_m . Генерируется m случайных перестановок длиной, равной количеству в наборе параметров. Первые a_1, a_2, \dots, a_m элементов каждой перестановки задают индексы изменяемых параметров в каждом наборе параметров соответственно.

Шаг 1.2 Генерация нового решения. Для каждого изменяемого параметра генерируется равномерно распределенная на отрезке $[-l/2; l/2]$ случайная величина b . Величина l зависит от того, какому набору принадлежит изменяемый параметр и равна l_1, l_2, \dots, l_m соответственно. Значения l для каждого набора задаются как параметры алгоритма. Пусть x_i – изменяемый параметр, а его новое значение x_i' , тогда: $x_i' = x_i + b$.

Шаг 2. Замена текущего решения x на y , если $f(x) \geq f(y)$.

Шаг 3. Проверка критерия останова. Если за N подряд совершенных итераций не было переходов в новое решение, то алгоритм завершается. Иначе осуществляется переход на Шаг 1. N – параметр алгоритма.

С помощью настройки генерации случайного решения можно настраивать размер пространства поиска решений. При генерации решений в широкой окрестности от текущего, можно за несколько итераций сгенерировать практически любое решение из множества. Если для генерации нового решения задать ε -окрестность текущего решения, то алгоритм вырождается в простой градиентный метод. Данный алгоритм является компромиссом между высоким качеством полученного случайным поиском решения и быстрой сходимостью градиентных методов.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для сравнения эффективности разработанного алгоритма с градиентными методами рассмотрим решение задач сжатия цветных изображений и распознавания образов. Для сравнения с градиентными методами будет использован наилучший алгоритм обучения – following the moving leader (FTML) [1]. Для экспериментов использованы выборки CIFAR-10 [2] и STL-10 [3]. Выборка STL-10 использовалась для сжатия цветных изображений разрешением 96×96 , а CIFAR-10 – для классификации образов на цветных изображениях разрешением 32×32 . Для классификации образов использовались не очень сложно разделимые классы для упрощения сравнения эффективности алгоритмов обучения. Для оценки качества сжатия использовались наиболее распространенные функционалы качества: mean squared error (MSE), peak signal to noise ratio (PSNR), with human visual system (PSNR-HVS), structural similarity image measure (SSIM). Для сжатия цветных изображений была спроектирована глубокая доверительная сеть на основе ограниченных машин Больцмана. Для классификации образов – на основе автоэнкодеров с классификатором в конце в виде многослойного персептрона (см. Табл. 1, 2).

В решении задачи классификации образов (см. Табл. 1) гибрид не уступает ни по скорости, ни по качеству градиентам. Добиться преимущества в данной задаче достаточно сложно из-за сложности выборки.

Таблица 1

Результаты классификации образов (выборка CIFAR-10)

Пары классов	6-8	1-4	5-9	0-2
FTML	93,3	89,9	88,2	83,6
Гибридный	93,3	89,1	88,4	83,3

Таблица 2

Результаты сжатия изображений (выборка STL-10)

Алгоритм обучения	Степень сжатия, бит/пиксель	MSE	PSNR	PSNR-HVS	SSIM	Время обучения, ч
FTML	1,5	397	22,3	22,5	0,673	4,00
	0,75	756	19,4	19,5	0,509	6,00
Гибридный	1,5	415	22,1	22,3	0,661	10,0
	0,75	707	19,7	19,9	0,524	11,5

Из результатов сжатия цветных изображений видно, что по мере усложнения решаемой задачи (см. Табл. 2) разработанный алгоритм начинает существенно превосходить градиентные алгоритмы обучения. Он оказался в среднем вдвое медленнее градиента, но в данном случае это не критично, т.к. время обучения остается в разумных пределах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен гибридный алгоритм обучения на основе совмещения идей случайного поиска и градиентного спуска. Экспериментально показано, что данный алгоритм превосходит по качеству полученного решения градиентные алгоритмы, однако немного уступает по скорости обучения, что некритично. При решении задачи классификации образов предложенный алгоритм показал равную с градиентами эффективность.

Предложенный в работе алгоритм не имеет существенных ограничений в применении на практике. Более того, по мере роста вычислительных мощностей увеличивается рассматриваемое алгоритмом множество решений за отведенное на обучение нейронной сети время, что приводит к росту качества полученного решения. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный в работе гибридный алгоритм обучения обладает определенной перспективой при решении прикладных задач.

Библиографические ссылки

1. *Zheng Sh., Kwok J. T.* Follow the moving leader in deep learning // Proc. of the 34-th International Conference on Machine Learning, 2017. Vol. 70. P. 4110–4119.
2. Выборка CIFAR-10 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html> – Дата доступа: 04.03.2023.
3. Выборка STL-10 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: web.archive.org/web/20110803194852/stanford.edu/~acoates/stl10/ Дата доступа: 24.04.2023.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Е. С. Мойсейчик

fpm.moysychES@bsu.by;

Научный руководитель – М. И. Давидовская, старший преподаватель

Характеристики программного обеспечения определяются еще на этапе проектирования. Целью работы является рассмотрение влияния архитектуры и решений в области организации хранения данных на расширяемость, масштабируемость и доступность распределенных систем на примере проектирования приложения сферы заботы о здоровье в микросервисной архитектуре. Практическим результатом является реализация приложения с веб- и мобильным клиентами для предоставления пользователям унифицированного доступа к метрикам здоровья.

Ключевые слова: архитектура ПО; асинхронность; микросервисы; масштабирование; хранилища данных; SQL; NoSQL; забота о здоровье; .NET.

Среди наиболее перспективных трендов в течение 5-10 лет известные аналитические и консалтинговые компании, такие как Gartner и IDC [1], выделяют сверх приложения, метавселенные и другие концепции, основанные на децентрализации, облачных технологиях и сочетании различной функциональности в рамках одной экосистемы. Рынок программного обеспечения (ПО) стремительно развивается в условиях высокой конкуренции и увеличения числа пользователей. Предъявляются новые требования к проектируемым решениям, касающиеся не функциональности самой системы, но ее качественных характеристик. Такие требования называют нефункциональными.

Под архитектурой ПО понимают определение основных структурных элементов программы, их интерфейсов и способов взаимодействия. Именно архитектура решения, закладываемая на раннем этапе создания продукта, определяет, насколько полно система сможет реализовать предъявленные к ней нефункциональные требования [2]. В связи с этим, актуальность исследования вопросов проектирования распределенных решений и выработки соответствующей теоретической базы очевидна.

Данная работа рассматривает две основные категории архитектур типа клиент-сервер: классические архитектуры, основанные на централизованных хранилищах, и событийно-ориентированные архитектуры, основанные на раздельном хранении и управляемые порождаемыми в системе событиями. В качестве представителей данных архитектур проводится сравнительный анализ монолитной и

микросервисной архитектуры, как наиболее распространенных решений. Для анализа предложена методология, использующая следующие критерии: расширение, масштабирование, доступность.

В ходе анализа выявлено, что:

- Монолитная архитектура имеет преимущества в небольших решениях, где необходимо обеспечить минимальные расходы на хранение, размещение и коммуникацию между компонентами приложения.
- Микросервисная архитектура имеет преимущества в сложных решениях, где имеет место использование различных технологий, разнородность данных, необходимость поддерживать высокие нагрузки и обеспечивать повышенную доступность.

Для реализуемого приложения выбрано следование событийно-ориентированной парадигме, а именно микросервисной архитектуры в сочетании с протоколами REST и брокером сообщений RabbitMQ для организации синхронного и асинхронного взаимодействия.

Исходя из выбранного архитектурного подхода, в работе произведена декомпозиция предметной области на следующие поддомены, в соответствии методологией Э. Эванса [3]:

- Поддомен профиля пользователя – хранение и управление личными данными пользователя, а также базовыми метриками здоровья, такими как рост, вес, объемы и т.д.
- Поддомен планирования питания – хранение и управление данными о рекомендуемом ежедневном составе и калорийности питания, хранение данных о употребленной пище и подсчет текущего прогресса в достижении дневной цели.
- Поддомен рецептов – хранение и управление библиотекой рецептов, доступных пользователю.

В качестве асинхронных операций выделены подсчет рекомендации по питанию на основании цели и метрик пользователя, отправка уведомлений и журналирование действий в системе. Для решения проблем отдельного хранения данных в поддоменах выбрано использование шаблонов «Агрегат» и «Доменное событие» [4].

Также в ходе работы над проектированием хранения проведен сравнительный анализ хранилищ реляционного и нереляционного типа. Для сравнения использовалась методология, предлагаемая теоремой CAP. В ходе анализа выявлено [5], что:

- Реляционные базы данных предпочтительно использовать в случаях, где необходимы высокая согласованность, доступность и минимальный размер хранимых данных.

- Нереляционные решения предпочтительно использовать в случаях, когда необходимы высокая доступность и толерантность к разбиению, то есть при высоких нагрузках.

На основании полученных результатов выбраны соответствующие решения для каждого поддомена, спроектированы схемы баз данных. В качестве представителей реляционных решений выбрано использование Microsoft SQL Server, а в качестве документ-ориентированного хранилища – MongoDB. Для решения проблем высокой нагрузки использованы шаблоны «Разделение ответственности команд и запросов» и «Источник событий». Результат проектирования представлен на рис. 1.

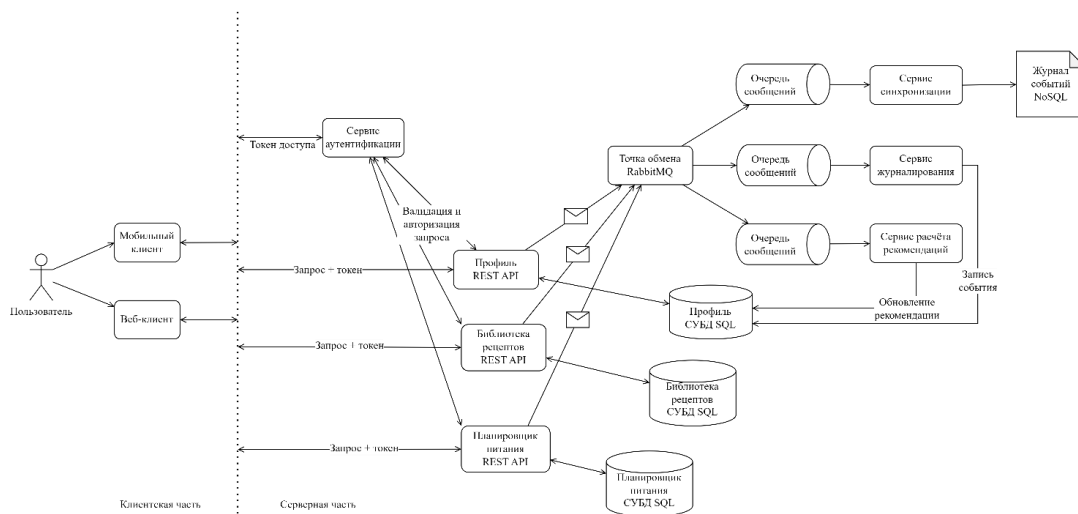


Рис.1. Схема модулей распределенного приложения

Для реализации API и сервисов серверной части приложения в работе использовался стек технологий .NET, например, такие решения как библиотека ASP .NET Core. Доступ к данным организован средствами ORM-решения Entity Framework Core. В качестве сервиса аутентификации и авторизации использовался Identity Server 4, поддерживающий протоколы аутентификации и авторизации OpenID и OAuth 2.0.

Для реализации веб- и мобильного клиента были выбраны библиотеки Angular и Flutter. Эти решения предоставляют гибкие возможности для проектирования одностраничных приложений, в том числе в соответствии с Material Design, и доступны для пользователей ПК через веб-браузер и пользователей смартфонов с ОС Android в качестве мобильного приложения. Пример экрана приложения изображен на рис. 2.

Приложение Planner спроектировано и реализовано в микросервисной архитектуре для хранения сведений о питании и

состоянии здоровья пользователей, планирования дневного рациона согласно рекомендациям и подбора рецептов.

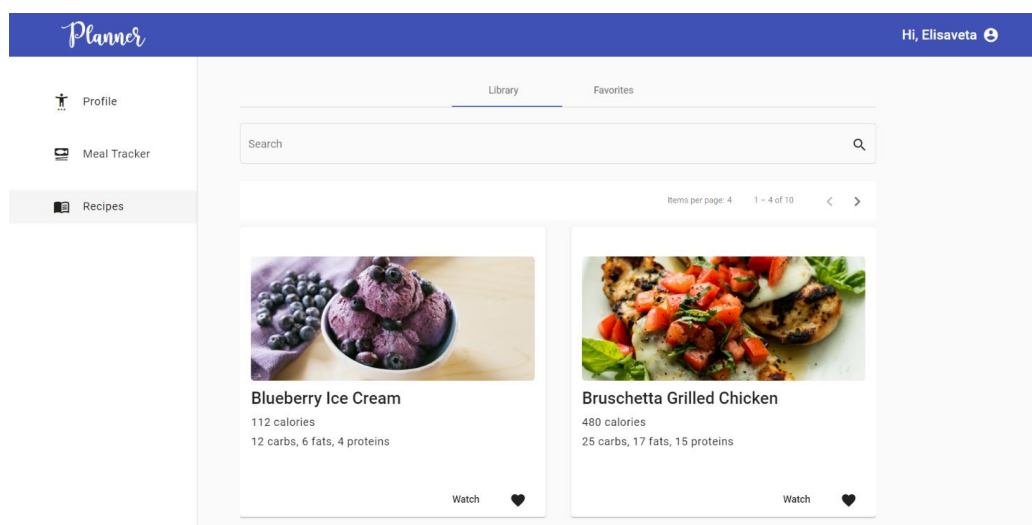


Рис. 2. Пример экрана итогового веб-приложения

В ходе работы над приложением изучены и решены такие задачи проектирования распределенных систем как декомпозиция предметной области, оптимизация хранения данных, задачи поддержания согласованности, масштабирования при возрастающей нагрузке, увеличение доступности системы. Итоговое решение может применяться в области бизнес-решений для заботы о здоровье.

Библиографические ссылки

1. What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies [Electronic resource] / Gartner, 2022 - Mode of access: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>. Date of access: 28.03.2023.
2. *Мойсейчик, Е. С.* Проектирование систем, управляемых событиями / *Е. С. Мойсейчик, М. И. Давидовская* // Информационные системы и технологии [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч. конгресса по информатике. В 3 ч. Ч. 3, Респ. Беларусь, Минск, 27–28 окт. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: С. В. Абламейко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. *Эванс Э.* Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем / *Э. Эванс* – Москва: 000 «И.Д. Вильямс», 2011. 448 с.
4. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга/ *К. Ричардсон* – СПб.: Питер, 2019. 544 с.
5. *Мойсейчик, Е. С.* Анализ решений для хранения и доступа к данным в распределенных системах / *Е. С. Мойсейчик, науч. рук. М. И. Давидовская* // Научные исследования XXI века. 28.02.2023. №1 (21) с. 55 – 59.

СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕДУКЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ ДАННЫХ

А. С. Мороз

artsiom.maroz@gmail.com;

*Научный руководитель — А. Н. Вальвачёв, кандидат технических наук,
доцент*

В докладе обсуждается проблема усовершенствования методов принятия решений в крупномасштабных компаниях в условиях быстрого роста динамики и неопределенности глобальной среды. Показано, что одна из причин снижения качества управляющих решений, включая запаздывание и высокий уровень субъективизма, заключается в увеличении объема данных, поступающих от удаленных подразделений компании. Предлагается новый подход к принятию решений на основе редукции больших данных, обеспечивающий уменьшение времени синтеза решений при сохранении их качества и снижении стоимости обработки.

Ключевые слова: крупномасштабные компании; большие данные; редукция данных, принятие решений; интеллектуальные системы.

ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке в процессе глобализации организационно-технические системы претерпели существенные изменения. К важнейшим из них можно отнести появление крупномасштабных компьютеризированных компаний (КМК) с большим количеством подразделений в странах с выгодными для бизнеса условиями [1]. Для управления КМК используются системы поддержки принятия решений (СППР, DSS) различного типа. В СППР преобладают монолитные архитектуры и плановые задачи, использующие постоянные источники данных. Процесс проектирования, разработки и развертывания СППР требует значительных затрат времени и средств [2].

До 2020 г. СППР были достаточно эффективны. После начала пандемии COVID-19 КМК приступили к реструктуризации, пытаясь адаптироваться к быстрым глобальным изменениям и потере конкурентных преимуществ [3]. Поток данных резко увеличился, что вызвало удорожание обработки и запаздывание принятия решений.

В новых условиях стали востребованы новые типы СППР, обладающие гибкой архитектурой, способные решать оперативные задачи на основе гетерогенных источников в минимальное время с минимумом затрат. Ведущие университеты и компании начали исследования в этом направлении. В данной работе предложен вариант решения, основанный на идее редукции больших данных по принципам *small data*. Данный

подход способствует сокращению времени принятия решений без потери их качества и исключению запаздывания.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть имеется КМК, включающая центральный офис (A) и множество территориально распределенных подразделений ($B1, B2, \dots Bn$). Бизнес-процессы каждого подразделения описываются достаточно большим объемом данных vX , которые формируются локальными СППР ($bDSS$) и в плановом режиме отправляются к СППР ($aDSS$) главного офиса для синтеза управляющих решений.

Количество подразделений постоянно увеличивается ($n \rightarrow \infty$). Соответственно увеличивается объем данных (vX), необходимых для синтеза решений (U) и время синтеза (tU) (рис. 1).

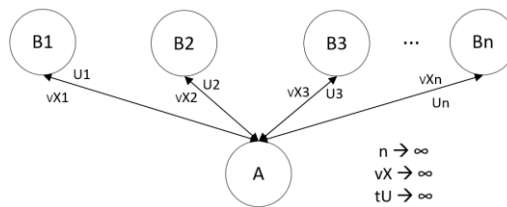


Рис. 1. Традиционная схема принятия решений в КМК

В центре за время t определяют состояния подразделений $V = f(X)$ и синтезируют управляющие решения $U = f(V)$. При $vX \rightarrow \infty$ время $t \rightarrow \infty$. Увеличение времени обработки приводит к запаздыванию решений и, соответственно, снижению их качества.

Требуется разработать методику и программную систему для синтеза управляющих решений, обеспечивающую быстрое и экономное развертывание, ускорение синтеза управляющих решений при увеличении количества подразделений и объема первичных данных.

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ

За основу решения примем следующие положения:

- используем принцип редукции, т.е. сокращение объема больших данных до уровня, обеспечивающего принятие решений без потери их качества [4];
- редукцию данных будем производить в два этапа: делегируем обработку по принципу small data от СППР главного офиса к локальным СППР [4] и минимизируем объем передаваемого в центр объема данных за счет отправки только критических значений, требующих оперативной реакции главного офиса [2, 4];

- оперативные задачи будем рассматривать как настройку над плановыми задачами [7];
- скорость развертывания увеличим за счет замены монолитного подхода к архитектуре на микросервисный [5];
- стоимость разработки снизим за счет использования адаптированного открытого программного обеспечения [6];
- для практической реализации вышеуказанных положений используем принципы архитектуры верхнего уровня (high level architecture) [7].

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Схема решения поставленной задачи включает следующие шаги.

Шаг 1. Анализ структуры компании, формулирование оперативных задач для каждого подразделения.

Шаг 2. Определение плановых показателей деятельности \tilde{X} для каждого подразделения B , необходимых для решения оперативных задач.

Шаг 3. Разработка алгоритма f_1 для отображения значений \tilde{X} в показатели X в рамках универсальной шкалы $X = f_1(\tilde{X}) \in [0.00 \dots 1.00]$.

Шаг 4. Разработка алгоритма синтеза состояния подразделения $V = f_2(X)$.

Шаг 5. Разработка алгоритма синтеза управляющего решения $U = f_3(V)$.

Шаг 6. Разработка алгоритма визуализации U в форме, отвечающей требованиям пользователя $Vis = f_4(U, user)$.

Шаг 7. Построение предметной области: $A, B, \tilde{X}, X, V, U, f_1, f_2, f_3, f_4$.

Шаг 8. Реализация предметной области в виде системы.

Шаг 9. Применение системы для синтеза управляющих решений.

Для разработки алгоритмов f_1, f_2, f_3, f_4 необходимо использовать математические методы, релевантные типу исходных данных.

АРХИТЕКТУРА НА ОСНОВЕ ELASTIC STACK

Для реализации шагов 1-9 с учетом минимизации стоимости целесообразно использовать открытую экосистему Elastic Stack [7]. В настоящее время в стек входят: Elasticsearch + Logstash + Beats + Kibana.

Elasticsearch – это noSQL СУБД, ядро всей системы, которая сочетает в себе функции базы данных, поисковой и аналитической системы.

Logstash – это конвейер обработки данных на стороне сервера, который получает данные из нескольких источников одновременно, выполняет парсинг логов, а затем отправляет в базу данных Elasticsearch.

Beats – сборщик данных на стороне клиента для передачи их в Logstash или Elasticsearch.

Kibana – интерфейс для доступа к базе данных, анализа данных, построения и визуализации графиков.

Схема построения СППР на основе Elastic Stack показана на рис. 2.

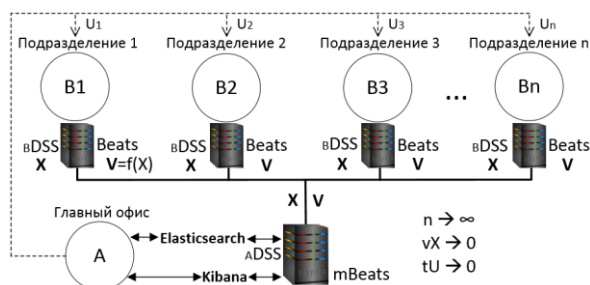


Рис.2. Схема принятия решений в КМК на основе Elastic Stack

При реализации данной схемы можно дополнительно использовать широкий спектр сервисов экосистемы Hadoop [8].

АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ

Для демонстрации работы системы и определяя результата редукции рассмотрим станцию, производящую чистую энергию на 10 ветрогенераторах, и стороннюю ремонтную компанию. Интегральный показатель состояния ветрогенератора определяет умным контроллером локального датчика и не выходит из трех диапазонов 60-100, 101-250, 251-290. После запуска станции все генераторы исправны:

0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00

В процессе эксплуатации или после стихийных бедствий ветрогенераторы теряют работоспособность. Соответственно изменятся значения нормализованного вектора:

0.50, 0.00, 1.00, 0.50, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00

Система отправляет соответствующие рекомендации ремонтной компании для исполнения и руководству станции для сведения и контроля выполнения рекомендаций. Результат представлен на рис.3.

```

*****
Традиционный метод:
Диапазон значений параметров:
[60, 100, 101, 250, 251, 290]
Входной вектор данных:
[153, 65, 270, 120, 35, 71, 84, 54, 130, 111]
Объем памяти для отправки: 76 байт
*****
Новый метод:
Нормализованный входной вектор:
[0.5, 0.0, 1.0, 0.5, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]
Рекомендации:
- заменить ветрогенератор 2.
- выполнить ремонт ветрогенераторов: 0, 3.
Объем памяти для отправки: 16 байт
Экономия в 4.75 раз для 10 показателей.
*****

```

Рис.3. Результат оценки и синтеза рекомендаций

В аналогичных системах настройку параметров осуществляет эксперт, что обеспечивает учет местных условий и максимальную достоверность результатов. В среднем объем передаваемых данных сокращается в 4-5 раз, что существенно разгружает каналы и уменьшает расходы на хранение данных в Elasticsearch.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования возможностей применения принципа редукции больших данных для принятия оперативных решений в КМК показана возможность значительного сокращения объема передаваемых по каналам связи данных и времени принятия оперативных решений. Для снижения стоимости разработки и развертывания СППР наиболее эффективной оказалась сборка Elastic Stack. Применение СППР на основе этой сборки позволяет в энергетических и других компаниях, использующих большое количество объектов наблюдения, оперативно организовать поддержку жизненного цикла большого количества распределенных объектов (например, солнечных панелей, ветрогенераторов) при минимальной загрузке каналов.

Библиографические ссылки

1. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2022): Труды XV-й междунар. конф, 26-28 сент. 2022 г., Москва – М.: ИПУ РАН, 2022. 1500 с.
2. Виссия Х., Краснопрошин В.В., Вальвачев А.Н. Принятие решений в информационном обществе. СПб: ЛАНЬ, 2019. 227 с.
3. Global economic effects of covid-19. Congressional research service. 2021. 110 p.
4. Hekler E. et al. Why we need a small data paradigm // BMC Medicine. 2019. Vol.17. P.1-9.
5. Newman S. Monolith to microservices: evolutionary patterns to transform your monolith - O'Reilly Media, 2019. 270 p.
6. Paro A. Elasticsearch 7.0 – Packt Publishing, 2019. 726 p.
7. 1516.1-2000 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA). IEEE, 2000. 480 p.
8. White T. Hadoop: the Definitive Guide – O'Reilly, 2015. 600 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ И ПРИЛОЖЕНИЙ В СФЕРЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Д. О. Протасеня

fpm.protasendo@bsu.by;

Научный руководитель — И. С. Войтешенко, кандидат технических наук, доцент

В настоящее время сфера интернета вещей представляет собой обширную и бурно развивающуюся область, поэтому все чаще появляется необходимость в реализации систем в этой сфере. В статье предложена структура и реализация макета приложения интернета вещей на примере системы мониторинга данных температуры и влажности с использованием различных аппаратных и программных средств.

Ключевые слова: интернет вещей; протоколы передачи данных; одноплатные компьютеры; датчики; система мониторинга данных; визуализация данных.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день сфера интернета вещей становится все более актуальной. Достаточно вспомнить, что за последние годы количество используемых в быту умных устройств увеличилось в разы. Поэтому необходимость проектирования и разработки систем, работающих с такими устройствами, появляется все чаще и чаще.

В ходе работы был спроектирован и реализован макет приложения интернета вещей на примере системы мониторинга данных температуры и влажности. Общая схема системы представлена на рисунке 1. Далее рассмотрим более подробно особенности работы каждого компонента системы.

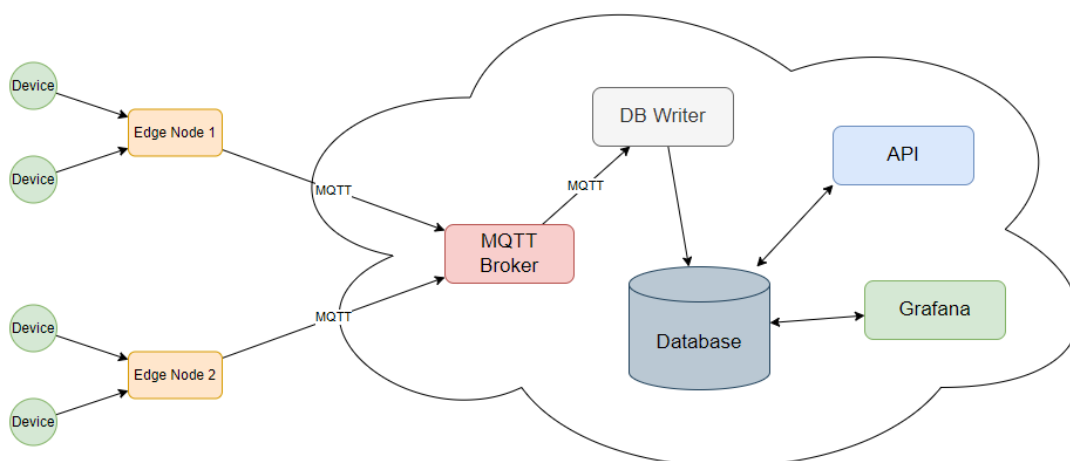


Рис.1: Общая схема системы

ГРАНИЧНЫЕ УЗЛЫ

В качестве так называемых граничных узлов могут выступать любые устройства, которые могут быть сконфигурированы для сбора показаний с устройств-датчиков и последующей отправки показаний на сервер. Они используются для сбора показаний и их первичной обработки [1]. Одними из подходящих устройств могут быть так называемые одноплатные компьютеры, так как их размеры невелики, что позволяет размещать их в труднодоступных местах, но их вычислительной мощности и возможностей достаточно, так как они представляют собой полноценные компьютеры с возможностью установки на них операционной системы и настройки удаленного доступа, что является плюсом при разработке таких систем. В данной работе в качестве граничных узлов рассматривались одноплатные компьютеры Raspberry Pi и BeagleBone.

ДАТЧИКИ

В системах интернета вещей одну из ключевых ролей играют так называемые оконечные устройства или датчики. В данной работе для измерения температуры и влажности использовался модуль GY-21, работающий по интерфейсу I2C (ИС, Inter-Integrated Circuit). Измеряемые им показания представляют собой двухбайтные числа, которые необходимо подставить в специальные формулы для получения реальных показаний. Особенности преобразования показаний специфичны для каждого датчика и, как правило, описаны в спецификации к ним. Датчик, подключенный к одноплатному компьютеру Raspberry Pi, представлен на рисунке 2.

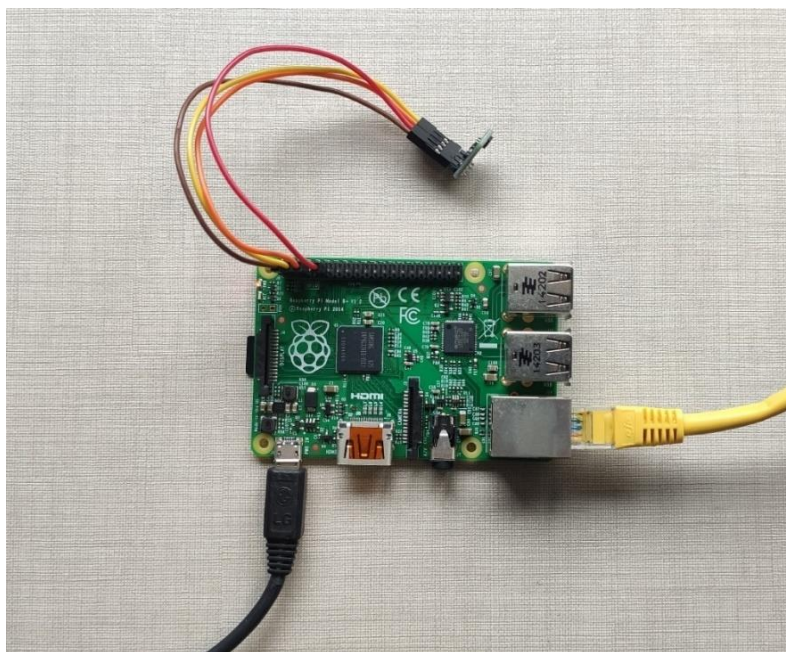


Рис. 2. Датчик вместе с одноплатным компьютером

ПРОТОКОЛ MQTT. БРОКЕР

В качестве протокола передачи данных между устройствами и сервером выступает MQTT (MQ Telemetry Transport). Этот протокол довольно популярен в сфере интернета вещей, так как он является простым и легковесным протоколом, предназначенным для сетей с низкой пропускной способностью, высокой задержкой или ненадежностью [2].

Данный протокол работает по принципу издатель-подписчик (pub/sub). Клиент, передающий сообщение, называется издателем, а клиент, получающий сообщение — подписчиком. Их связывает брокер, отвечающий за взаимодействие между клиентами.

Издателями в нашем случае являются граничные узлы, посылающие в брокер сообщения с показаниями датчиков. Подписчиком же выступает специальный узел (DB Writer), задача которого заключается в получении показаний с датчиков и записи их в базу данных.

БАЗА ДАННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В сфере IoT часто возникает необходимость хранить большое количество временных данных, и для этого используются специальные базы данных временных рядов. Их отличие от обычных заключается в том, что они оптимизированы для хранения и обработки временных последовательностей. Существует большое количество временных баз данных, например InfluxDB, Graphite, Prometheus и др.

В данной системе предлагается использовать СУБД Timescale Database, которая является расширением другой популярной СУБД PostgreSQL. Помимо того, что она оптимизирована для временных данных, она является реляционной (в отличие от многих других), что позволяет нам взаимодействовать с ней в привычной для нас манере с помощью обычного SQL [3].

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Одним из возможных вариантов использования собранных данных является их визуализация с целью отслеживания показаний, ведения статистики, вычисления аномалий и т. д. Для этого в данной системе используется популярный инструмент Grafana. Для использования этого инструмента достаточно настроить источник данных (в нашем случае это TimescaleDB) и составить соответствующий SQL-запрос для получения интересующей нас информации [4]. Пример возможного использования данного инструмента представлен на рисунке 3.



Рис. 3: Пример визуализации данных с помощью графика

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ СИСТЕМЫ

При использовании системы необходимо также иметь возможность управления ее основными объектами. Такими объектами могут являться, например, станции, устройства и т. д. в зависимости от предметной области. Для решение этих задач предусмотрен компонент API (Application Programming Interface), разработанный по принципу REST. Благодаря такому подходу появляется возможность создания, обновления, удаления и других необходимых действий над объектами системы с помощью HTTP-методов, что является удобным и распространенным решением.

Библиографические ссылки

1. Интернет вещей: учеб. пособие / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. — Самара: ПГУТИ, 2015. — 200 с.
2. Архитектура интернета вещей / П. Лу М.: ДМК Пресс, 2019. 454 с.
3. Timescale Documentation [Electronic resource] — Mode of access: <https://docs.timescale.com/> — Date of access: 05.05.2023
4. Grafana Documentation [Electronic resource]. Mode of access: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/> — Date of access: 10.05.2023
5. MQTT Protocol [Electronic resource]. Mode of access: <https://mqtt.org/> Date of access: 15.05.2023

МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Т. Т. Сафиуллин

tuleubay.safiullin@mail.ru;

Научный руководитель – М. С. Абрамович, кандидат физико-математических наук

В статье анализируются результаты применения методов машинного обучения для классификации сетевого трафика. Приводятся конкретные сценарии и проблемы использования. Анализируются статьи, посвященные машинному обучению в сфере анализа трафика. Приводятся результаты собственных экспериментов. Приведены выводы об особенностях применения методов машинного обучения и перспективах их дальнейшего использования.

Ключевые слова: классификация сетевого трафика; машинное обучение; компьютерные сети.

ВВЕДЕНИЕ

Существует много методик, используемых для анализа сетевого трафика, таких как самоподобие и TES, которые основаны на анализе системы связи и обнаружении атак [1]. В настоящее время многие компании используют машинное обучение для выявления различных типов вредоносного поведения пользователей, включая массовую регистрацию поддельных аккаунтов, мошеннические транзакции и кражу личных данных, где безопасность может быть достигнута с помощью предложенных приложений и методов машинного обучения [2].

Основная концепция машинного обучения состоит в том, что машины способны постоянно учиться и работать с огромными массивами данных с помощью классификаторов и алгоритмов. Классификаторы считаются основой машинного обучения, и задача их состоит в том, чтобы классифицировать наблюдения. Алгоритмы же, в свою очередь, строят модели поведения и используют эти модели в качестве основы для будущих прогнозов, используя новые входные данные. Сила инструментов машинного обучения заключается в обнаружении и анализе сетевых атак без необходимости их точного описания, как было сказано ранее. Машинное обучение может помочь в решении наиболее распространенных задач, включая регрессию, прогнозирование и классификацию в эпоху чрезвычайно большого количества данных и нехватки кадров в области кибербезопасности.

Методы машинного обучения применяются во многих аспектах эксплуатации и управления сетями, где производительность системы может быть оптимизирована, а ресурсы могут быть лучше использованы.

Более того, кластеризация и классификация извлекают шаблоны из пакетов данных, которые могут быть использованы во многих приложениях, таких как анализ безопасности и профилирование пользователей [3]. Кроме того, существует множество приложений для анализа трафика на основе алгоритмов машинного обучения, например выявление аномалий с помощью признаков, описывающих поведение пользователя [4]. Сочетание алгоритмов машинного обучения и анализа трафика является актуальной темой в связи с эффективностью инструментов машинного обучения, которая заключается в обнаружении и анализе сетевых атак без необходимости их точного описания [3].

В данной статье рассматриваются различные методы машинного обучения для классификации сетевого трафика и проводится сравнительный анализ их точности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В [5] поставленной целью являлось обнаружение как известных, так и ранее неизвестных угроз безопасности. Была разработана система классификаторов, с помощью которой было обнаружено 2090 новых образцов вредоносного программного обеспечения. Это достигается частично за счет набора признаков (полезная нагрузка пакета, параметры запроса URL, время запроса, адреса веб-страниц), построенной для каждой группы HTTP-потоков пользователя, посещающего определенный хост, и частично за счет матрицы самоподобия признаков, вычисленной для каждой группы.

В [6] основной задачей являлась классификация трафика. Для этого был использован усовершенствованный классификатор деревьев решений – C5.0, который показал способность различать 7 различных приложений в тестовом наборе из 1 622 710 неизвестных случаев со средней точностью 92.5%. В качестве признаков были выбраны количество входящих/исходящих/общих байтов полезной нагрузки, соотношение входящих и исходящих пакетов данных, среднее значение, минимум, максимум, первый квартиль, медиана, третий квартиль, стандартное отклонение входящего/исходящего/общего размера полезной нагрузки и ряд других.

В работе был построен классификатор, использующий бустинг над решающими деревьями. Набор данных был взят из базы данных Канадского института кибербезопасности [8], состоящий из 3 119 345 записей, 83 признаков, которые содержат 15 меток классов (1 легитимная метка + 14 меток атак). Для этого набора данных было имитировано поведение 25 пользователей на основе протоколов HTTP, HTTPS, FTP, SSH и протокола электронной почты. Также набор данных содержит

информацию об атаках (XSS, FTP/SSH-Patator, PortScan, Brute Force, DoS, DDoS и др.) в виде данных о трафике за пять дней.

В таблице 1 представлены результаты классификаторов [4-8].

Таблица 1

Оценки точности классификаторов

Классификаторы:	Точность классификации:
Деревья решений C5.0	92.5%
Бустинг деревьев решений C5.0	99.3-99.9%
Случайный лес	96%
Метод опорных векторов	97.4%
к-ближайших соседей	97.1%
Наивный байесовский классификатор	60.3%

Для отбора информативных признаков использовалась двухэтапная процедура:

- на первом этапе с помощью встроенного механизма метода `sklearn.ensemble.RandomForestClassifier` (атрибут `feature_importances`), реализующего энтропийный подход к оценке важности признаков, отобрано 20 признаков;
- на втором этапе исключено 10 признаков, которые очень сильно коррелируют с другими.

На этапе выбора модели классификации была произведена оценка качества наиболее распространенных моделей машинного обучения.

Для каждого из рассмотренных классификаторов определены гиперпараметры, обеспечивающие наибольшую точность классификации.

Качество ответов классификаторов (моделей) сравнивалось с использованием следующих метрик:

- доля правильных ответов (accuracy);
- точность (precision, насколько можно доверять классификатору);
- полнота (recall, как много объектов класса «есть атака» определяет классификатор);
- F1-мера (гармоническое среднее между точностью и полнотой).

Проведено тестирование случайного леса на данных, когда вредоносные атаки также моделировались. В этом случае оценка полноты (recall) составила 0.946 и F1- меры – 0.97.

В таблице 2 приведены полученные значения метрик качества, усредненные по результатам 5 итераций кросс-валидаций лучших моделей машинного обучения.

Оценки точности классификации лучших моделей машинного обучения

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-мера
к-ближайших соседей	0.971	0.942	0.961	0.969
Деревья решений	0.975	0.973	0.946	0.969
Случайный лес	0.971	0.978	0.943	0.970
Адаптивный бустинг	0.978	0.962	0.965	0.973
Логистическая регрессия	0.955	0.939	0.914	0.963

Как следует из таблицы 2, все лучшие модели машинного обучения показали высокие оценки точности классификации.

При проведении экспериментов были выделены следующие проблемы использования:

- Классификация сетевого трафика требует периодического обновления и обучения модели, кроме того, необходимо определить задачу модели. Этот процесс огромен, если смотреть с точки зрения вредоносного трафика, изменения типов и особенностей современных кибератак. Это требует определенного времени для оценки данных и определенного объема данных.
- Существует множество критериев, которые необходимо учитывать при определении эффективности методов обнаружения типа атаки, и крайне сложно объективно оценить работу каждого метода [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассматривается использование методов машинного обучения в анализе трафика. Представлен краткий обзор и сравнение некоторых существующих подходов машинного обучения, используемых в анализе трафика. Построен собственный классификатор и проведены эксперименты. Несмотря на большую роль машинного обучения, в статье показано, что оно все еще имеет некоторые проблемы в виде временной сложности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Rueda, A.* A survey of traffic characterization techniques in telecommunication networks. In Proceedings of 1996 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 1996. IEEE.
2. *Chakraborty, A., J.S. Banerjee, and A. Chattopadhyay,* Non-uniform quantized data fusion rule for data rate saving and reducing control channel overhead for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks. *Wireless Personal Communications*, 2019. 104(2): p. 837-851.

3. *Cheng, Y., et al., Bridging machine learning and computer network research: a survey.* CCF Transactions on Networking, 2019. 1(1- 4): p. 1-15.
4. *Mukkamala, S., G. Janoski, and A. Sung.* Intrusion detection: support vector machines and neural networks. in proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks (ANNIE), St. Louis, MO. 2002.
5. *Bartos, K., M. Sofka, and V. Franc.* Optimized invariant representation of network traffic for detecting unseen malware variants. In 25th {USENIX} Security Symposium ({USENIX} Security 16). 2016.
6. *Bujlow, T., T. Riaz, and J.M. Pedersen.* A method for classification of network traffic based on C5.0 Machine Learning Algorithm. in 2012 international conference on computing, networking and communications (ICNC). 2012.
7. *Laskov, P., et al.* Learning intrusion detection: supervised or unsupervised? In International Conference on Image Analysis and Processing. 2005.
8. *Panigrahi R., Borah S.* A detailed analysis of CICIDS2017 dataset for designing Intrusion Detection Systems. International Journal of Engineering & Technology, vol 7, no 3.24, 2018, p. 479-482.
9. *Buczak, A.L. and E. Guven,* A survey of data mining and machine learning methods for cybersecurity intrusion detection. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015. 18(2): p. 1153-1176.

РАЗРАБОТКА МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ И ДОКУМЕНТАМИ С ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСЬЮ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА ФЕЙГЕ-ФИАТА-ШАМИРА

Н. И. Сенькевич

kosensen@yandex.by;

Научный руководитель — И. С. Войтешенко, кандидат технических наук, доцент

Протоколы нулевого разглашения, несомненно, – будущее конфиденциальности. Данные протоколы позволяют организациям гарантировать безопасные транзакции и операции, аутентификацию, авторизацию и учет, не раскрывая никакой личной информации. В этой статье представлена реализация многопользовательского приложения, позволяющего пользователям безопасно обмениваться информацией при помощи протокола Фейге-Фиата-Шамира и схемы электронной цифровой подписи (ЭЦП) на его основе.

Ключевые слова: протокол нулевого разглашения; ключ; аутентификация; электронная цифровая подпись.

ВВЕДЕНИЕ

Протоколы нулевого разглашения основаны на использовании интерактивных систем проверки. В процессе реализации такой системы проверки один пользователь (доказывающий) может убедить другого (проверяющего) в знании секрета, при этом не раскрывая самого секрета. Таким образом, в процессе выполнения протокола не происходит какой-либо утечки конфиденциальной информации.

Стандартное представление протоколов нулевого разглашения состоит из трех основных элементов между *A* и *B*. Эти элементы называются *свидетельство*, *вызов* и *ответ*. На них основываются следующие три типовых шага, из которых состоят многие протоколы нулевого разглашения:

- 2.1 Генерация доказывающим разового случайного секретного ключа и вычисление по нему разового открытого ключа, который передается проверяющему;
- 2.2 Генерация проверяющим равновероятного бита запроса и направление его доказывающему;
- 2.3 Вычисление доказывающим ответа и направление его проверяющему.

Далее подробнее рассмотрим принципы работы разработанного приложения.

ГЕНЕРАЦИЯ МОДУЛЯ

Все вычисления происходят по большому составному модулю n , который является произведением двух больших простых чисел p и q . Значения простых чисел хранятся на сервере и не разглашаются, значение модуля передается всем пользователям при подключении к серверу.

Для безопасности и актуальности программы генерируются такие p и q , что размер, полученного от их произведения числа, составляет 2048 бит. Для генерации больших простых чисел используется алгоритм, основанный на постулате Бертрана, и тест Миллера-Рабина.

АУТЕНТИФИКАЦИЯ

При запуске клиентской части приложения открывается окно, содержащее поле для ввода логина. После ввода логина в соответствующее поле и его подтверждения происходит отправка запроса на сервер о допуске в систему. Если логин является новым и не хранится в списке логинов на стороне сервера, происходит запрос к администратору на добавление нового пользователя. После подтверждения происходит генерация секретного ключа $(s_1, s_2, s_3, \dots, s_k)$, $1 \leq s_i \leq n - 1$, $(s_i, n) = 1$, $i = \overline{1, k}$ и открытых ключей логина $v_i = s_i^2 \bmod n$, $i = \overline{1, k}$ и подписи $v_i = s_i^{-2} \bmod n$, $i = \overline{1, k}$. Секретный ключ передается отправителю запроса на подключение и не разглашается. Открытый ключ логина хранится на сервере, а открытый ключ подписи рассылается всем подключенным пользователям.

При повторном подключении пользователя происходит процесс аутентификации на основе протокола Фейге-Фиата-Шамира. Безопасность данного протокола строится на трудно разрешимой задаче нахождения квадратного корня по составному модулю $n = pq$, p и q – большие простые числа, которые не разглашаются.

Протокол включает следующие три шага:

1. Доказывающий (пользователь) случайным образом выбирает в качестве разового секретного ключа число r , $1 \leq r \leq n - 1$, и вычисляет значение фиксатора $x = r^2 \bmod n$, после чего отправляет его проверяющему (серверу);
2. Проверяющий посылает в ответ доказывающему случайную k -битовую строку $E = (e_1, e_2, e_3, \dots, e_k)$, $e_i = \{0, 1\}$, $i = \overline{1, k}$;
3. Доказывающий вычисляет значение $y = r \prod_{i=1}^k s_i^{e_i} \bmod n$ и отправляет его проверяющему. Проверяющий считает ответ верным, если выполняется соотношение $y^2 \equiv x \prod_{i=1}^k v_i^{e_i} \bmod n$.

Вероятность обмана проверяющего в данном протоколе будет равна $\frac{1}{2^k}$. Данный протокол не требует такого количества вычислений, как, например, протокол, использующий криптосистему RSA, и поэтому отлично подходит для маломощных процессоров.

При успешной аутентификации пользователь отправляет имена файлов открытых ключей, хранимых на устройстве и значения хеш-функций от их содержимого на сервер. Полученные данные сравниваются с данными, хранимыми на сервере. Пользователю отправляются все файлы подписи, которых у него нет, и значения хеш-функций которых не совпадает с теми, что хранятся на сервере.

В обоих случаях, после допуска пользователя к системе, окно с полем для ввода логина закрывается и открывается основное окно приложения. В любой момент времени пользователем может быть отправлен запрос на генерацию и рассылку новых ключей.

СОЗДАНИЕ И ПРОВЕРКА ПОДПИСИ

При выборе отправляемого файла необходимо выбрать пользователя, которому будет отправлен исходный файл и подпись к нему. После подтверждения отправки файлов на сервер поступает запрос на предоставление адреса отправляющего принимающему и создание подключения между ними. После подключения к отправителю принимающего последнему выводится оповещение для подтверждения или отказа от отправки. В случае согласия отправителем создается подпись к выбранному файлу. Для этого генерируется случайное число $r, 1 \leq r < n - 1$ в качестве разового секретного ключа. Вычисляется значение фиксатора $u = r^2 \bmod n$. К содержимому выбранного файла присоединяется фиксатор и от полученного сообщения вычисляется хеш-функция E . После этого вычисляется вторая часть подписи:

$$s = r \prod_{i=1}^k s_i^{e_i} \bmod n \quad (1)$$

После того, как исходный файл и файл подписи переданы, соединение завершается до следующей отправки файлов, а получатель автоматически проверяет полученную подпись. Проверка подлинности происходит следующим образом:

- Вычисляется значение $w = s^2 \prod_{i=1}^k v_i^{e_i} \bmod n$;

- К содержимому выбранного подписанного файла присоединяется значение w и от полученного сообщения вычисляется хеш-функция E' .

Сравниваются значения хеш-функций. Если $E = E'$, подпись признается подлинной.

В зависимости от результата получателю выводится соответствующее сообщение. Данная схема ЭЦП отличается сравнительно малой сложностью процедуры создания и проверки подписи, что позволяет переносить эти процессы даже на маломощные устройства.

Библиографические ссылки

1. *Агиевич, С.В.* Генерация простых / *С.В. Агиевич* // Криптографические методы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arpi.bsu.by/assets/files/agievich/primes.pdf>. – Дата доступа: 11.05.2023.
2. *Молдовян, А.А.*, Протоколы аутентификации с нулевым разглашением секрета: учеб. пособие / *А.А. Молдовян, Д.Н. Молдовян, А.Б. Левина*. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 55 с.
3. Простое число [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Простое_число#Алгоритмы_поиска_и_распознавания_простых_чисел. – Дата доступа: 10.05.2023.
4. Тест Миллера-Рабина [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тест_МиллераРабина. Дата доступа: 10.05.2023.
5. *Menezes, A.J.* Handbook of Applied Cryptography / *A.J. Menezes, P.C. van Oorschot, S.A. Vanstone*. Florida: CRC Press, 1997. 780 p.

АЛГОРИТМ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

А. А. Старовойтов

aastarovoytov@gmail.com;

Научный руководитель — В. В. Краснопрошин, доктор технических наук, профессор

В работе изложены принципы построения и реализации алгоритма работы комбинированной проактивной системы управления вычислительными ресурсами в условиях неопределенности профиля внешней нагрузки и ограничений по ресурсам.

Ключевые слова: принятие решений; информационная система; проактивное управление; неопределенность внешней нагрузки.

В цифровом обществе существует проблема поддержки информационных систем в критических инфраструктурах (банковских, телекоммуникационных, промышленных). Неопределенность внешней нагрузки может приводить к сбоям в их работе и деградации производительности, что повышает риск возникновения серьезных последствий.

Разработаны различные системы управления с использованием нейросетевых моделей, способствующие эффективному принятию оперативных решений [1,2,3,4]. Однако, в данных решениях происходит обучение только одной нейросетевой модели для определенных типов внешней нагрузки.

В работе предлагается подход, основанный на том, что для каждого состояния управляемой системы в течение времени его существования, может быть автоматически создана и обучена нейросетевая модель, которая способна предсказывать последующие значения утилизации вычислительных модулей для этого состояния. Для управления данной системой используется агент, который в реальном времени получает данные утилизации вычислительных ресурсов и принимает решение о масштабировании управляемой системы. Агент использует комбинацию реактивного и проактивного управления. Для каждого состояния автоматически формируется выборка данных, обучается нейросетевая модель на основе выборки, выполняется предсказание параметров утилизации ресурсов. Агент сравнивает текущие данные по нагрузке модулей, результаты прогноза и принимает решение об изменении состояния системы (масштабировании). Если появляется резкий всплеск нагрузки, а модель нейросети еще не готова и нет прогноза средних параметров утилизации или в прогнозе не содержится такое поведение, то срабатывает реактивная компонента. Если прогноз превышает пороговые

значения, то заблаговременно принимается решение по изменению состояния системы (проактивная компонента). Схема работы системы комбинированного проактивного управления представлена на рис.1:

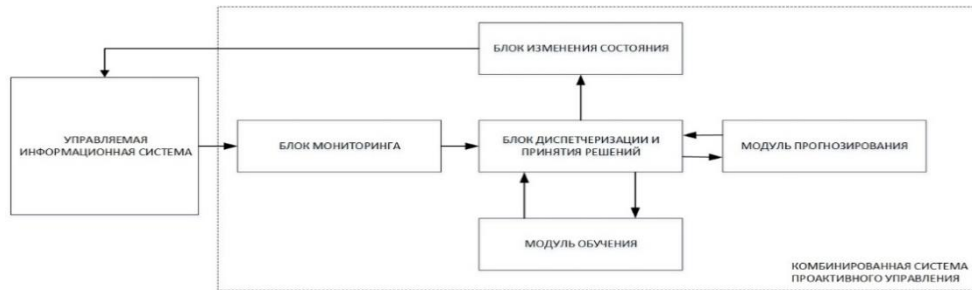


Рис.1. Структурная блок-схема комбинированной системы управления

Блок диспетчеризации и принятия решений является центральным. Алгоритм его работы представлен на рис.2.

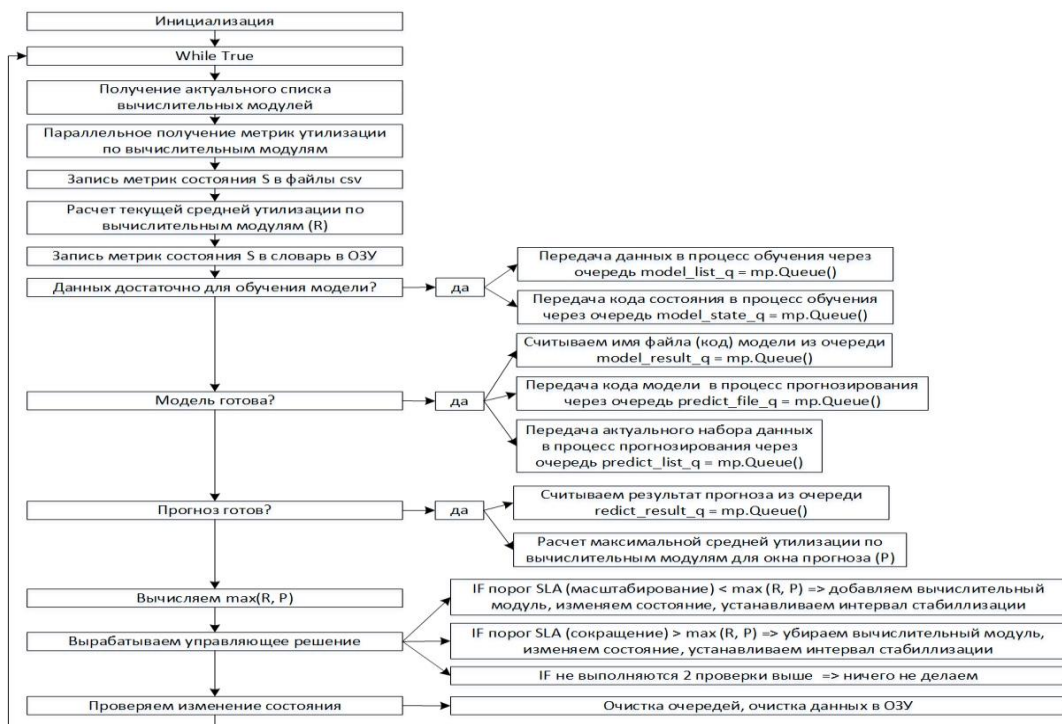


Рис.2. Алгоритм проактивного управления

Блоки реализованы на языке высокого уровня Python. На этапе инициализации задаются пороги добавления (A) и (D) удаления ресурсов, количество циклов стабилизации, количество итераций накопления данных для создания модели (M), заблаговременность прогноза (Z).

В основном процессе после этапа инициализации реализован цикл, на каждой итерации которого происходит уточнение состава

вычислительных модулей управляемой системы, получение текущих значений утилизации, принятие решения об изменении состояния. Получение метрик распараллелено с помощью библиотеки `joblib`, данные собираются с частотой $\sim 2\text{c}^{-1}$, сохраняются исторические данные. В словаре в оперативной памяти накапливаются данные по утилизации модулей для текущего состояния. По последним полученным данным в основном процессе производится расчет средних значений по набору вычислительных модулей (R). Параллельно с этим процессом работают процессы подготовки нейронных сетей для состояний и выполнение предсказаний. Для межпроцессного взаимодействия используется библиотека `multiprocessing`. Обмен между процессами осуществляется с помощью механизма `multiprocessing.Queue`, который реализует очереди FIFO (first input first output).

После получения прогноза для состояния основной процесс рассчитывает максимальную среднюю утилизацию (P) по вычислительным модулям для окна прогноза (Z). Далее вычисляется $\max(R, P)$, который используется для принятия решения об изменении состояния. Если $\max(R, P) > A$, то добавляется вычислительный модуль, если $\max(R, P) < D$, то удаляется.

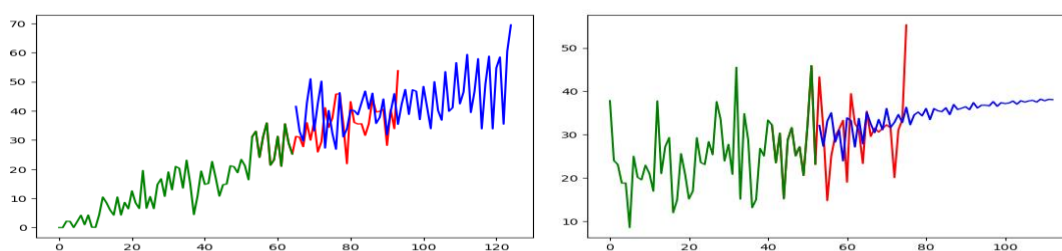


Рис.3. Примеры прогнозов утилизации вычислительного модуля для разных состояний (по вертикали – %CPU, по горизонтали – номер отсчета, зеленый цвет – train, красный – test, синий – predict)

Результаты экспериментов с нагрузкой показывают, что большинство решений вырабатывается на основе проактивной компоненты. Пример прогнозов для одного вычислительного модуля показан на рис.3.

Для создания и обучения моделей используется библиотека `Pytorch`. Процесс обучения должен занимать мало времени, поэтому используется небольшое количество эпох обучения и простая нейронная сеть с одним скрытым слоем (`nn.Linear`). Функция активации – `ReLU`, для регуляризации используется отключение части нейронов (`dropout`). Функция потерь – `nn.MSELoss()`. Метод оптимизации - `torch.optim.Adam`, скорость обучения `0.002`.

Предлагаемый подход позволяет повысить эффективность работы системы за счет заблаговременного прогноза (по сравнению с реактивным подходом). Повышение эффективности основано на уменьшении деградации производительности (меньше возрастает время отклика по запросам). Управляемая система не достигает пороговых значений из-за изменения состояния по прогнозу. В случае резких скачков нагрузки, которые невозможно спрогнозировать, система реагирует реактивно. Это позволяет повысить адаптационные свойства и устойчивость управляемой системы к внешней нагрузке в условиях неопределенности, улучшить качество управления в целом.

Данный подход позволяет создавать набор нейронных моделей, способных выполнять прогнозы для каждого состояния системы. Используя данную технологию можно реализовать механизмы адаптации системы, концептуально похожие на реализацию в живой природе, когда в процессе жизнедеятельности организмов выполняется адаптация к изменяющейся обстановке для наилучшего выполнения их функций. Это механизмы мутаций с естественным отбором (выживают те организмы, которые лучше адаптируются) и пересечения (кроссинговер), когда у потомства появляется комбинация родительских признаков. В данном случае каждую модель можно отождествить с ДНК, а мутацию с естественным отбором – представить как выживание в процессе тех моделей, которые лучше предсказывают изменение параметров утилизации. Кроссинговер можно отождествить с механизмом стекирования лучших моделей, позволяющий создать модель, которая реализует прогнозирование для некоторого обобщения состояний управляемой системы.

Библиографические ссылки

1. *M. Straesser, J. Grohmann, J. von Kistowski, S. Eismann, A. Bauer, S. Kounev.* Why Is It Not Solved Yet?: Challenges for Production-Ready Autoscaling // In ICPE '22: ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering, Beijing, China, April 9 - 13, 2022, P. 105–115, ACM, 2022.
2. *N. Khan, D. A. Elizondo, L. Deka, M. A. M.–Cabello.* Fuzzy Logic applied to System Monitors // IEEE Access, Vol. 9, P. 56523-56538, 2021.
3. *B. M. Nguyen, G. Nguyen, Giang.* A Proactive Cloud Scaling Model Based on Fuzzy Time Series and SLA Awareness // Procedia Computer Science (International Conference on Computational Science ICCS 2017), 108, P.365–374, 2017.
4. *V. Persico, D. Grimaldi, A. Pescape, A. Salvi, S. Santini.* A Fuzzy Approach Based on Heterogeneous Metrics for Scaling Out Public Clouds // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 28, No. 8, P. 2117–2130, 2017.

РЕГРЕССИЯ 2D КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ЛИЦА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. В. Тылецкий

a.tyletsky@gmail.com;

Научный руководитель – Д. И. Пиритук, старший преподаватель

В данной работе мы сначала поставим задачу нахождения ключевых точек лица и опишем способ оценки точности решения задачи. После чего рассмотрим процесс подготовки и аугментации данных используемого датасета, опишем общий алгоритм обучения нейронных сетей для задачи регрессии ключевых точек лица, произведём сравнение различных архитектур нейросетей, как классических, таких как ResNet и MobileNetV2, так и более современных – EfficientNet, MobileNetV3, MobileViT, на поставленной задаче, покажем влияние различных аспектов в общем алгоритме обучения нейронных сетей.

Ключевые слова: регрессия точек лица; нейронные сети; ResNet; MobileNetV2; EfficientNet; MobileNetV3; MobileViT; функция потерь Wing; аугментация; набор данных LaPa.

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание ключевых точек лица используется для виртуальной реконструкции лица, распознавания эмоций, отслеживание взгляда водителя для мониторинга внимания, бьютификации лиц и многих других практических областях. Нейронные сети продемонстрировали поразительное улучшение качества в решении данной задачи и в настоящее время изучаются многими специалистами в этой области.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обозначим через I входное изображение. Пусть также $x_i \in R^2$ есть координаты i -ой ключевой точки изображения I . Тогда через вектор $S = (x_1^T, x_2^T, \dots, x_p^T)^T \in R^{2p}$ можно обозначить все p ключевых точек лица на изображении I . Задача обнаружения ключевых точек лица состоит в том, чтобы найти такую функцию $f : I \rightarrow S$, которая по входному изображению I предсказывает вектор ключевых точек лица S . Количество точек лица p , а также точное отображение i -ой точки лица в ее координаты на картинке заданы в датасете.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

Наиболее популярной метрикой в решении задачи регрессии ключевых точек лица является NME (Normalized Mean Error). Нормализация в нашем случае будет происходить на расстояние d между зрачками.

$$NME = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K NME_k = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{\|\tilde{x}_i - x_i\|_2}{d_k},$$

где K – количество изображений, d_k – расстояние между зрачками на k -ом изображении. Существуют и другие метрики оценки точности, подробнее о которых написано в [1].

ПОДГОТОВКА И АУГМЕНТАЦИИ ДАННЫХ

В работе использовался набор данных LaPa [2], созданный с целью повышения точности и качества обучения. Датасет содержит 22176 изображений разнообразных лиц, где для каждого изображения размечены 106 ключевых точек лица. В обучении использовались заранее выделенные авторами части датасета: тренировочные данные (18176 изображений), валидационные данные (2000 изображений) и тестовые данные (2000 изображений).

В данной статье будут рассматриваться предобученные нейронные сети на задаче ImageNet. В связи с этим связаны стандартные для этого действия по предобработке изображений: перевод значений пикселей в диапазон $[0, 1]$, масштабирование изображения до размеров 224×224 , нормализация изображений. Также для каждой ключевой точки P мы применим преобразование $(P - (112, 112)) / 112$, которое в большинстве случаев переведет значение координат точки P в диапазон $[-1, 1]$.

На вход в нейросеть будем подавать не всю картинку, а только достаточно маленькую область, содержащую лицо, ключевые точки которого нужно найти. В процессе обучения для получения ограничивающей лицо рамки мы будем случайно равновероятно выбирать один из двух способов: обрезка лица по истинным ключевым точкам или использование уже обученного детектора лиц. Первый способ является классическим примером того, как можно подсматривать в целевые данные, однако его совместное со вторым способом использование на этапе обучения может помочь ускорить и улучшить качество обучения. На этапе валидации и тестирования мы будем использовать только второй способ.

Для обучения нейросетей будут использоваться следующие достаточно простые и тем не менее эффективные аугментации:

- Случайный поворот изображения (на угол до 35°).
- Манипуляции с цветом: изменение яркости, контрастности, насыщенности и оттенка изображения.

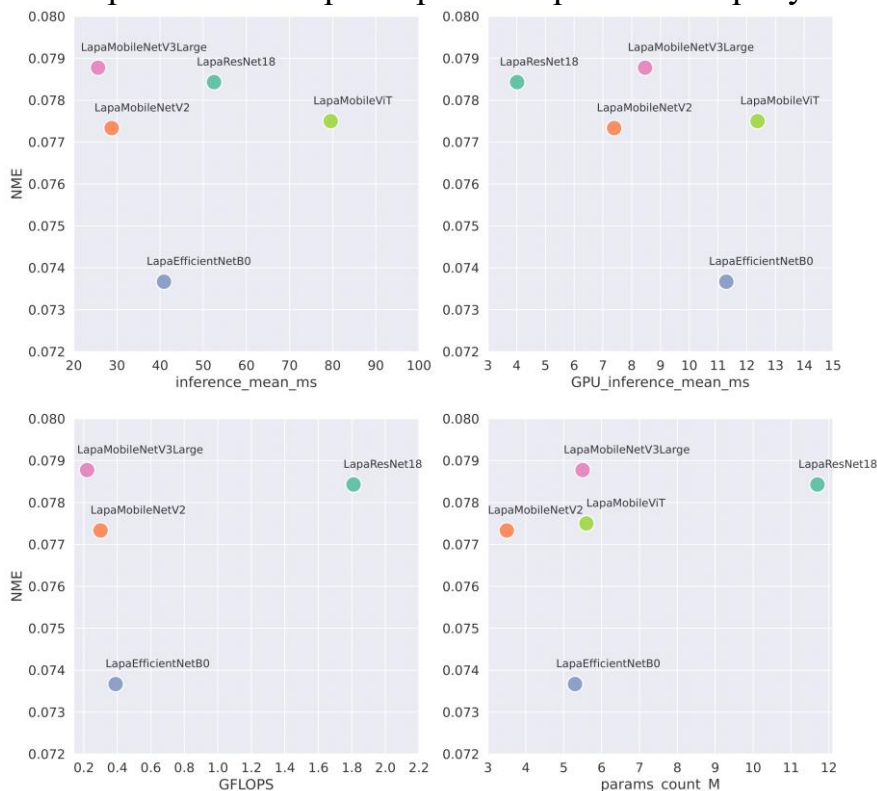
- Случайный сдвиг границ ограничивающей лицо рамки. Каждую из 4 границ мы будем равновероятно сдвигать на $[-5\%, +5\%]$ от текущего положения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ. СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР

Для решения задачи мы рассмотрим как классические архитектуры нейросетей, такие как ResNet и MobileNetV2, так и более современные – это EfficientNet, MobileNetV3, MobileViT.

Инициализировать нейросети будем весами, предобученными на задаче ImageNet. Также будем использовать разогрев для шага обучения первые 3 эпохи. Количество выходных нейронов в последнем слое в каждой из архитектур поставим равным 214, что есть удвоенное количество ключевых точек лица. Будем решать задачу регрессии используя среднеквадратичную функцию потерь. Обучение нейросетей производилось на языке Python, используя библиотеку PyTorch.

Итоговые результаты метрики NME на тестовой выборке в зависимости от различных параметров отображены на рисунке.



Зависимость NME на тестовой выборке от различных параметров: времени инференса на ЦПУ, на ГПУ, GFLOPS, количества обучаемых параметров

Все архитектуры, кроме EfficientNetB0 дали примерно одинаковый показатель метрики. Противоречивое время инференса ResNet18 объясняется тем, что все остальные рассмотренные архитектуры больше

оптимизированы для применения на мобильных устройствах. MobileViT ожидаемо оказался медленнее остальных архитектур из-за наличия трансформерных компонент.

ВЛИЯНИЕ РАЗОГРЕВА, ПРЕДОБУЧЕНИЯ, АУГМЕНТАЦИЙ, ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ

Выберем в качестве архитектуры MobileNetV3 и рассмотрим некоторые модификации процесса обучения и подготовки данных. Результаты представлены в таблице 1. Все рассмотренные модификации, кроме использования функции потерь Wing [3], в той или иной мере ухудшают итоговое качество модели.

MobileNetV3 с различными модификациями

Тип модификации	NME
MobileNetV3-Large без модификаций	0,0788
Функция потерь Wing	0,0536
Без разогрева	0,0807
Замороженные слои (первые 3 из 16 блоков)	0,0817
Без предобучения (случайно-инициализированные веса)	0,0881
Только детектор для получения рамки лица во время обучения	0,0884
Без аугментаций поворота и манипуляций с цветом	0,0823
Предыдущее + без сдвига рамки	0,0931

Функция потерь Wing менее чувствительна к выбросам и гораздо более чувствительна к средним и малым ошибкам, что улучшает обучение в целом. Обучив архитектуру EfficientNetB0, используя Wing, можно получить еще более точную модель, которая на тестовой части выборки добивается показателя метрики в 0,0524.

Библиографические ссылки

1. *Khabarлак K., Koriashkina L.* Fast Facial Landmark Detection and Applications: A Survey // Journal of Computer Science and Technology. 2022. Т. 22. №. 1.
2. *Liu Y. et al.* A new dataset and boundary-attention semantic segmentation for face parsing // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020. Т. 34. №. 07. С. 11637-11644.
3. *Feng Z. H. et al.* Wing loss for robust facial landmark localisation with convolutional neural networks // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2018. С. 2235-2245.

ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ АККУМУЛЯТОРА

А. М. Ульянов

fpm.ulyanov@bsu.by;

Научный руководитель — И. Д. Лукьянов, старший преподаватель

В данной работе мы сформулируем задачу о планировании работы аккумулятора в терминах задачи смешанного бинарного линейного программирования, рассмотрим основные подходы к решению: симплекс-метод, метод ветвей и границ, а также проведём вычислительный эксперимент, в котором сравним правильность и быстродействие с открытым решателем.

Ключевые слова: аккумулятор; батарея; методы оптимизации; линейное программирование.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих устройствах современного мира используются различные аккумуляторные батареи. И от того, как они работают, зависит множество факторов: долговечность, собственно, аккумулятора, скорость зарядки, выбросы веществ в атмосферу, энергозатраты. И, например, совсем небольшое уменьшение энергозатрат может сэкономить внушительную сумму, а снижение выбросов вредных веществ может помочь вписаться в экологические нормы, а значит, избежать некоторых судебных разбирательств. Как следствие, необходимы алгоритмы, оптимизирующие работу батарей.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

В исходном варианте стоит следующая задача: нужно составить план работы аккумуляторной батареи на сутки. 24 часа разбиваются на равные отрезки времени, в каждый отрезок времени для батареи нужно выбрать режим: зарядка, разрядка, бездействие, так, чтобы соответствовать необходимым требованиям: заряда должно хватать на некоторый следующий отрезок времени, заряд батареи не должен превышать максимальный возможный.

Немного подробнее про выше написанное. (1.1) Каждый момент времени t задана стоимость единицы заряда. (1.2) Батарея не может иметь заряд больше максимального. (1.3) Заряда в батарее в момент времени t должно хватать, чтобы покрыть потребность как минимум для этого и последующих T_{backup} временных отрезков. (1.4) За отрезок времени t нельзя зарядить батарею на больший заряд, чем максимальную зарядную

способность. (1.5) За отрезок времени t нельзя разрядить батарею на больший заряд, чем на максимальную разрядную способность. (1.6) Одновременно аккумуляторная батарея может либо заряжаться, либо разряжаться, либо бездействовать. (1.9) Заряд батареи на конец отрезка времени t .

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximize: } \sum_{t=1}^{T_{cnt}} (P^{dch}(t) - P^{ch}(t)) \cdot E_{price}(t), \quad (1.1) \\ P_{ch}(t) \cdot \eta_{ch} - \frac{P_{dch}(t)}{\eta_{dch}} \leq q^{max} - q(t-1), \quad (1.2) \\ \frac{P_{dch}(t)}{\eta_{dch}} - P_{ch}(t) \cdot \eta_{ch} \leq q(t-1) - \sum_{k=t}^{t+T_{backup}} Demand(k), \quad (1.3) \\ P_{ch}(t) \leq \frac{q_{ch}^{max}}{\eta_{ch}} \cdot X_{ch}(t), \quad (1.4) \\ P_{dch}(t) \leq P_{dch}^{max} \cdot \eta_{dch} \cdot X_{dch}(t), \quad (1.5) \\ X_{ch}(t) + X_{dch}(t) \leq 1, \quad (1.6) \\ P_{ch}(t) \geq 0, P_{dch}(t) \geq 0, \quad (1.7) \\ X_{ch}(t) \in \{0,1\}, X_{dch}(t) \in \{0,1\}, \quad (1.8) \\ q(t) = q(t-1) + P_{ch}(t) \cdot \eta_{ch} - \frac{P_{dch}(t)}{\eta_{dch}}, q(0) = q_{default}, \quad (1.9) \end{array} \right.$$

Эта задача является задачей смешанного целочисленного линейного программирования, так как целевая функция и ограничения линейны относительно переменных: $X_{ch}(t)$, $X_{dch}(t)$, $P_{ch}(t)$, $P_{dch}(t)$.

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ

Симплекс-метод

Рассмотрим задачу линейного программирования в канонической форме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximize: } c^T x \\ Ax = b \\ d_* \leq x \leq d^* \end{array} \right.$$

Одним из наиболее эффективных алгоритмов решения данной задачи является симплекс-алгоритм [1], который движется по вершинам выпуклого многогранника (возможно, неограниченного или вырожденного), заданного прямыми и основными ограничениями в сторону увеличения целевой функции.

Метод ветвей и границ

Для решения задачи смешанного бинарного линейного программирования был выбран метод ветвей и границ [1], который является развитием полного перебора.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ. СРАВНЕНИЕ С ОТКРЫТЫМИ РЕШАТЕЛЯМИ

Открытый решатель CBC

Существует несколько решателей. Мы же рассмотрим один из них — COIN-OR Branch and Cut solver (CBC), который является программой с открытым кодом, написанной на C++. Будет использоваться Python интерфейс CxLP [2].

Вычислительный эксперимент. Сравнение с CBC

Были сгенерированы 4 теста: «test_48_1.txt», «test_48_2.txt», «test_48_3.txt» с 48-ю временными отрезками; «test_96_1.txt» с 96-ю временными отрезками с равномерно случайно распределёнными параметрами *price* и *demand*.

Таблица 1

Результаты моего решателя с примитивным симплекс-методом

Тест	Значение целевой функции	Время работы (с)	Использование памяти (МиБ)
test_48_1.txt	11064,02	36,7	76
test_48_2.txt	10891,43	196,2	76
test_48_3.txt	4841,99	17,3	76
test_96_1.txt	18975,50	265,1	101,1

Таблица 2

Результаты моего решателя с изменённым симплексом

Тест	Значение целевой функции	Время работы (с)	Использование памяти (МиБ)
test_48_1.txt	11064,02	8,22	79,2
test_48_2.txt	10891,43	47,31	78,8
test_48_3.txt	4841,99	4,33	78,8
test_96_1.txt	18975,50	65,23	108,7

Результаты СВС

Тест	Значение целевой функции	Время работы (с)	Использование памяти (МиБ)
test_48_1.txt	11064,02	0,45	83,1
test_48_2.txt	10891,43	0,45	83,4
test_48_3.txt	4841,99	0,44	83
test_96_1.txt	18975,50	0,46	91,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы:

1) Была изучена литература по темам «Линейное программирование», «Смешанное целочисленное линейное программирование».

2) Исходная задача была сведена к задаче смешанного бинарного линейного программирования.

3) Был изучен интерфейс CyLP библиотеки СВС, а также с её помощью были найдены решения смоделированных задач.

4) Были разработаны алгоритмы: ветвей и границ, примитивного симплекс-метода, изменённого симплекс-метода.

5) Был произведён вычислительный эксперимент для определения корректности и сравнения времени работы, использования памяти, разработанного алгоритма.

Дальнейшими способами улучшения предложенного алгоритма могут быть оптимизация метода ветвей и границ, симплекс-метода, уменьшение размерности задачи, реализация алгоритма на более быстром языке программирования C++.

Библиографические ссылки

1. *Pisaruk, N. N. Mixed Integer Programming: Models and Methods / N. N. Pisaruk. Minsk, 2019. 248 p.*
2. Документация CyLP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mpy.github.io/CyLPdoc/>. – Дата доступа: 05.05.2023.

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Е. О. Шевцов, А. В. Сергеев

fpm.shevcoveo@bsu.by, fpm.sergeevav@bsu.by;
Научный руководитель — О. И. Егорова, магистр педагогических наук

На основе проведенного анкетирования как метода получения обратной связи в системе «преподаватель – студент» определены основные направления для повышения качества образовательного процесса.

Ключевые слова: качество образования; коммуникация; обратная связь; анкетирование.

Образование представляет собой важнейший ресурс развития общества. Ни одна экономическая или социальная задача не может быть решена без привлечения инновационных технологий, развития новых знаний, что непосредственно зависит от уровня развития образования. Вместе с тем, повышение его эффективности является одной из важнейших внутренних функций государства.

В частности, в соответствии с Концепцией развития системы образования до 2030 года, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 ноября 2021 г. № 683 современные глобальные экономические и социальные изменения ставят перед Республикой Беларусь новые задачи, среди которых повышение национальной конкурентоспособности, придание большей устойчивости государству в условиях экономических и социальных трансформаций. Эти задачи не могут быть решены без новых технологий и новых знаний, без создания инновационной экономики, важнейшим институтом развития которой является система образования. [1]

Определяющим компонентом этой системы выступают учреждения высшего образования, на которые возлагается функциональная нагрузка по воспитанию и обучению для общества образованных, нравственных, предприимчивых и компетентных специалистов, способных самостоятельно принимать ответственные решения в ситуации выбора, прогнозируя их возможные последствия, умеющих выбирать способы сотрудничества.

При этом следует иметь в виду, что для достижения данных результатов особое значение имеет формирование эффективной обратной связи и коммуникации между учреждением образования и обучающимися, направленной на получение информации от последних об

удовлетворенности содержанием, формами и методами образовательного процесса.

Как отмечают отдельные исследователи, качественная обратная связь позволяет преподавателю выстраивать межличностный диалог с каждым из учащихся, формируя не только целевое содержание обучения, но и правильные поведенческие установки и ценности [2, с. 119].

Одним из методов получения обратной связи выступает анкетирование, позволяющее оценить эффективность отдельных направлений функционирования учреждения высшего образования, уровень образовательного процесса и удовлетворенность обучающихся качеством образовательных услуг.

В этих целях в апреле 2023 года в ряде учреждений высшего образования (БГУ, БГЭУ, Академия управления при Президенте Республики Беларусь, БелГУТ, ГГУ им. Ф. Скорины) авторами было проведено групповое анкетирование 120 студентов, посвященное уровню удовлетворенности студентов качеством проводимых занятий; обеспеченностью учебно-методическими изданиями; взаимодействием в системе «преподаватель – студент», а также направленное на определение источников мотивации студентов в процессе обучения сквозь призму их отношения к высшему образованию как форме получения образования.

В результате анкетирования были получены следующие результаты. Опрошенные выше оценивают качество семинарских (практических) занятий, чем лекционных. Так, большинство опрошенных оценили по шкале от 1 до 10 на 8 баллов качество семинарских (практических) занятий, что составило 26,4%. В целом, голоса распределились на шкале от 5 до 10. Максимально низко качество данной формы занятий не оценил ни один из респондентов. Что касается лекций, то из возможных 10 баллов 5 поставили 24,8% респондентов, 7 – 19,8%. Максимально высоко оценили полноту содержания, новизну и связь с будущей профессией вышеуказанной формы занятий 3,3%, максимально низко всего 1,7%. Таким образом, средняя оценка студентами лекционных занятий равна 5,6, в то время как практических – 6,775.

Подавляющее большинство респондентов отметили, что практикоориентированность дисциплины положительно сказывается на их мотивации (84,3%). В то же время студенты не всегда отдают себе отчет в том, где и как может быть применена в профессиональной деятельности та или иная тема в рамках изучаемой дисциплины. Только 13,2% респондентов не испытывают сложности в этом вопросе и четко представляют, какое место будут занимать полученные знания, умения и навыки в системе профессиональных компетенций.

Опрос показал удовлетворенность студентами учебно-методическим обеспечением. Проведенный анализ результатов анкетирования показал, что большинство голосов распределилось следующим образом: 7 – 16,5%, 8 – 22,3%, 9 – 10,7%, 10 – 8,3%. Подчеркнем, что по мнению опрошенных студентов именно электронные учебно-методические комплексы, краткие конспекты лекции, разного рода видео-лекции способствуют повышению эффективности процесса обучения и обеспечивают качество профессиональной подготовки будущих специалистов.

В анкете был предложен ряд вопросов о роли личности преподавателя в учебном процессе. Так 75,2% респондентов отметили влияние личности преподавателя на формирование интереса к изучаемой дисциплине.

Особое значение в этом вопросе по мнению студентов имеет и увлеченности преподавателя своей дисциплиной. Большинство (57,9%) респондентов отметили, что увлеченность преподавателя своей дисциплиной является для них дополнительным стимулом.

Отметим также, что на изучение дисциплины для 90,1% респондентов оказывают влияние качество межличностных отношений в системе «преподаватель – студент». Разумеется, наилучшим образом на процессе обучения сказываются отношения, основанные на принципах взаимопонимания, взаимоуважения и сотрудничества. Исходя из этого, важно обратить внимание на то, что 83,5% респондентов испытывают сложности с тем, чтобы задать вопрос преподавателю (5,9% – всегда, 51,2% – редко, 26,4% – часто).

Таким образом, перспективами высшего образования в Республике Беларусь является:

1. Формирование эффективной обратной связи и коммуникации между учреждением образования и обучающимися и работа над повышением удовлетворенности последних содержанием, формами и методами образовательного процесса.
2. Внедрение активных методов обучения в лекционные занятия и пересмотр распределения учебного времени за счет увеличения часов, отведенных на семинарские (практические) занятия и сокращения лекционных часов.
3. Совершенствование учебно-методического обеспечения, которые выполняют важную функцию в организации и сопровождении учебного.
4. Развитие «мягких навыков» в системе компетенций не только у студентов, но и у профессорско-преподавательского состава.

На современном этапе культурного, технического и экономического развития общества важно, чтобы система образования отвечала вызовам

современного постоянно изменяющегося мира. Кроме того, важно учитывать, что процесс обучения должен быть не только интеллектуально развивающим, но также практикоориентированным и характеризоваться благоприятным эмоционально-психологическим климатом. Общение в системе «преподаватель – студент», базирующиеся на принципах взаимопонимания, взаимоуважения и сотрудничества положительным образом сказываются на мотивации к обучению, а также на восприятии, усвоении и запоминании учебного материала. В связи с этим важно поддерживать высокий уровень разностороннего профессионального развития профессорско-преподавательского состава в контексте непрерывного образования и обучения.

Библиографические ссылки

1. Концепция развития системы образования в РБ до 2030 года. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 02.12.2021, 5/49678.
2. Корнев, А. А. Обратная связь в обучении и педагогическом общении / А. А. Корнев // Rhema. Рема. 2018. № 2. С. 112 – 127.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ НА ТЕМПЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

И. Н. Шейма

fpm.sheyta@bsu.by;

Научный сотрудник – В. И. Малюгин, доктор экономических наук., доцент

Объектом исследования в статье является анализ влияния уровня неопределенности в реальном секторе экономики на темпы экономического роста. В работе решаются следующие задачи: построение статистического индикатора экономической неопределенности (ИН) белорусской экономики на основе опросов предприятий реального сектора, проводимых Национальным банком Республики Беларусь; анализ опережающего характера построенного ИН с помощью сравнительного анализа циклов реального ВВП и ИН; оценка возможности применения ИН в эконометрических моделях для прогнозирования экономической активности белорусской экономики.

Ключевые слова: индексы экономической неопределенности; индексы экономических настроений; опросные данные; реальный ВВП; экономические циклы; эконометрическое моделирование.

ПРОБЛЕМА РАЗРАБОТКИ ИНДИКАТОРОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Причины слабого восстановления экономической активности в ЕС и других странах с развитой экономикой после глобального финансового кризиса 2008/09 годов широко обсуждались в последующие годы, и результаты многочисленных исследований показывают, что неопределенность была одной из основных причин кризиса [1]. После кризиса экономика ЕС постоянно подвергалась шокам, которые усиливали неопределенность. В связи с этим, в последующие годы стало появляться все больше работ, в которых предпринималась попытка наиболее точно ответить на вопрос о том, какова роль неопределенности как движущей силы макроэкономических явлений [1]. Поскольку неопределенность непосредственно не поддается наблюдению, а ее измерение оказывается особенно сложным. В экономической литературе был предложен ряд различных стратегий по измерению неопределенности.

В данной работе рассматриваются концептуальные особенности методики измерения экономической неопределенности и проводится исследование их прогностической способности, поскольку создание систем на основе экономических индикаторов является важной задачей

анализа и прогнозирования экономической активности, которые позволяют обнаружить смены фаз в экономических циклах.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ИНДЕКСА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Для построения индекса экономической неопределенности Республики Беларусь используются ответы на вопросы анкеты «Конъюнктура» за период с мая 2005 г. по октябрь 2021 г. Ежемесячные опросы руководителей белорусских предприятий проводятся в рамках системы мониторинга Национального банка Республики Беларусь и охватывают около 2000 предприятий из четырех основных *видов экономической деятельности* (ВЭД) [2]: промышленность, строительство, транспорт и торговля. Ответы на вопросы дают оценку изменениям экономической деятельности по отношению к последним трем месяцам и ожиданиям предприятий в ближайшем будущем. При выборе вопросов из анкеты предпочтение отдается вопросам, которые наиболее чувствительны к изменениям экономических условий и экономического положения предприятий. Для построения индекса экономической неопределенности из всего перечня вопросов отобрано $Q=14$ вопросов.

Алгоритм построения *индекса экономической неопределенности* (*Economic Uncertainty Index* – EUI) состоит из следующих шагов: вычисление и нормировка индексов неопределенности для отдельных ВЭД по соответствующей группе вопросов UI_{it} ; вычисление и нормировка сводного индекса неопределенности I_t ; построение итогового индекса неопределенности EUI_t , где $i=1, \dots, Q$, $t=1, \dots, T$.

Приведем краткое описание всех шагов алгоритма [3]. На первом шаге рассчитывается дисперсия ответов по вопросам экономической конъюнктуры:

$$D_{it} = \sqrt{P_{it} + N_{it} - (P_{it} - N_{it})^2}, \quad (1)$$

где P_{it} – доля положительных ответов на i -й вопрос в момент времени t , N_{it} – доля отрицательных ответов на i -й вопрос в момент времени t .

Нормировка временных рядов D_{it} производится таким образом, чтобы среднее значение временного ряда принимало значение нуль, а стандартное отклонение было единичным:

$$UI_{it} = \frac{D_{it} - \bar{D}}{Std}, \text{ где } \bar{D} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T D_{it}, Std = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (X_{it} - \bar{X})^2}. \quad (2)$$

На следующем этапе вычисляется сводный индекс с учетом весовых коэффициентов по формуле:

$$I_t = \sum_{i=1}^Q w_i \times UI_{it}, \sum_{i=1}^Q w_i = 1, \quad (3)$$

где w_i ($i=1, \dots, Q$) – весовые коэффициенты, которые определяются для вопросов, связанных с определенным видом ВЭД, на основе доли добавленной стоимости в ВВП для данного ВЭД.

Рассчитанный сводный индекс нормируется для удобства интерпретации по следующим формулам:

$$IN_t = \frac{I_t - \bar{I}}{Std} \times 10 + 100, \text{ где } \bar{I} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T I_t, Std = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (I_t - \bar{I})^2} \quad (4)$$

Итоговый временной ряд значений индекса экономической неопределенности EUI_t представляет собой сезонно скорректированный сводный индекс IN_t . Для сезонной корректировки временного ряда IN_t используется метод TRAMO/SEATS [4].

СВЯЗЬ ИНДЕКСА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С РЕАЛЬНЫМ ВВП

При сопоставлении графиков сезонно-скорректированного временного ряда реального ВВП (GDP) и индекса экономической неопределенности EUI_t (рисунок 1), можно заметить, что основные пики неопределенности совпадают с периодами низкого роста ВВП.

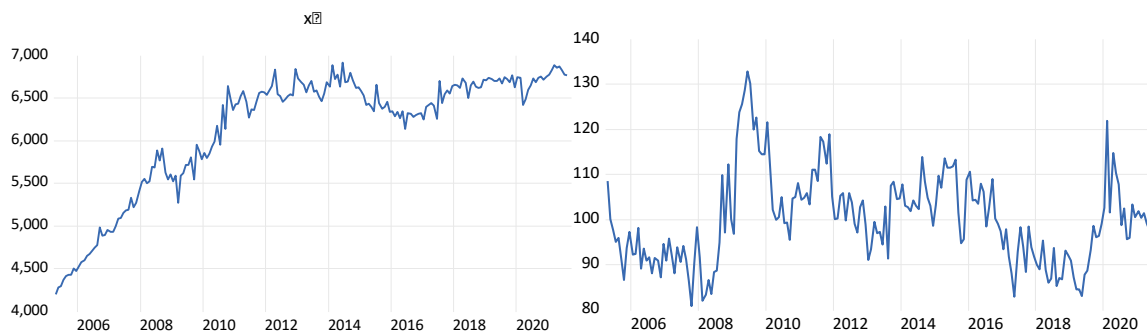


Рис. 1. Сезонно скорректированные временные ряды GDP (слева) и EUI (справа)

Индексы экономической неопределенности имеют тенденцию двигаться в противоположных направлениях в зависимости от текущих экономических настроений, определяемых индексами экономических настроений (ИЭН) [4]. Неопределенность возрастает в случаях, когда оценка экономической ситуации респондентами ухудшается, и наоборот. Эти выводы являются важными для дальнейшего исследования.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ВВП И EUI

В исследовании рассматриваются временные ряды нормированных циклов ВВП и индекса EUI. Для удобства исследования используются временной ряд индекса EUI, умноженный на -1, поскольку индикаторы неопределенности имеют тенденцию двигаться в противоположных направлениях в зависимости от текущих экономических настроений.

На рисунке 2 приведены графики нормированных циклических составляющих временных рядов EUI и GDP, полученные с помощью статистического фильтра Ходрика – Прескотта [4].

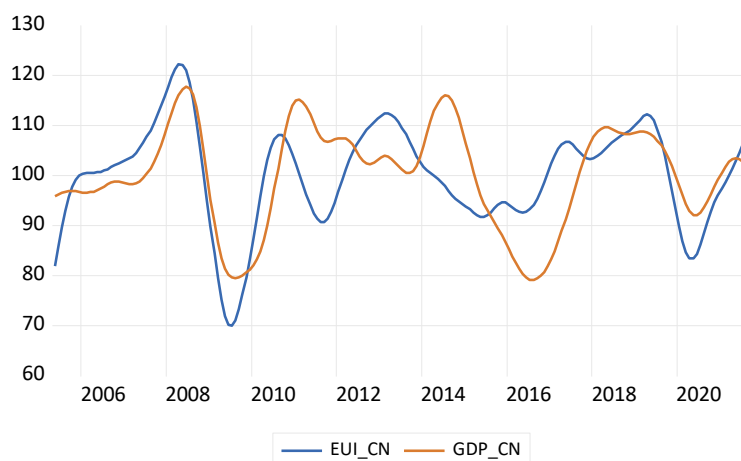


Рис.2. Циклы временных рядов EUI и GDP

Динамика сводного индекса экономической неопределенности EUI хорошо описывает динамику реального ВВП и опережает его поворотные

точки на временной оси, что свидетельствует о предиктивной способности сводного индекса экономической неопределенности. Также стоит отметить, что EUI продуцирует небольшое число ложных предсказаний, что может говорить о чрезмерной чувствительности рассматриваемого индикатора.

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что между сводным индикатором экономической неопределенности EUI и реальным ВВП Республики Беларусь существует экономически обоснованная взаимосвязь, которая используется автором в предиктивных эконометрических моделях для темпов роста реального ВВП [5].

Библиографические ссылки

1. Bachmann, et al., Uncertainty and economic activity: evidence from business survey data // American Economic Journal: Macroeconomics, Bachmann, R., Elstner, S., and Sims, E. R. June 2020. 5, 217-49.
2. Сайт Национального банка Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Методические подходы к расчету показателей – Минск, 2000. – Режим доступа: https://www.nbrb.by/publications/files/EnterpriseMonitoring_Methodology.pdf. Дата доступа: 10.09.2016.
3. Alessandro Girardi, Andreas Reuter, New uncertainty measures for the euro area using survey data // Alessandro Girardi, Andreas Reuter, Oxford Economic Papers, 69(1). October 2016. – 278-300p.
4. Малюгин, В.И. Индекс экономических настроений белорусской экономики: методические, модельные и инструментальные средства построения и применения / В.И. Малюгин, Д.Э. Крук, Е.В. Кондратович, П.С. Милевский // Банковский вестник. Исследования банка [Электронный ресурс]. 2019. №16. Режим доступа: http://www.nbrb.by/bv/arch/suppl_87.pdf. Дата доступа: 15.12.2021.
5. Малюгин, В.И. Анализ экономических циклов с использованием моделей с марковскими переключениями состояний и опережающим индикатором / В.И. Малюгин // Экономика. Моделирование. Прогнозирование / редкол.: М.К. Кравцов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: НИЭИ Мин-ва экономики Респ. Беларусь, 2021. Вып. 15. С. 226–235.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛНОСВЯЗНЫХ МНОГОМЕРНЫХ ДВОИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

С.А. Шибалко

shibalko2003@bk.ru;

*Научный руководитель – Ю.С. Харин, доктор физико-математических наук,
профессор*

В статье предложена малопараметрическая модель на основе базисных функций многомерного двоичного временного ряда. Для параметров предложенной модели строится состоятельная асимптотически нормальная статистическая оценка. Для построенной оценки найдены асимптотические смещение и вариация. Полученные результаты могут быть использованы для статистического анализа двоичных временных рядов.

Ключевые слова: дискретный временной ряд; малопараметрическая модель; цепь Маркова высокого порядка; асимптотические свойства оценки; статистическое оценивание параметров.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация экономики и всего окружающего мира ведет к увеличению данных в дискретном пространстве состояний с дискретным временем. Для математического описания таких данных используются дискретные, в том числе двоичные, временные ряды.

Примеры прикладных задач статистического анализа дискретных временных рядов [1]:

- Генетика (анализ генетических последовательностей);
- Экономика финансы (анализ динамики «рост-падение» биржевых курсов);
- Защита информации (потoki данных в компьютерных системах защиты информации).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Пусть X_t – это N -мерная однородная двоичная цепь Маркова (N -ДЦМ) порядка $s \geq 1$, определенная на вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{F}, P) :

$$X_t = \begin{pmatrix} x_{t1} \\ \vdots \\ x_{tN} \end{pmatrix} \in V^N, t \in Z, \quad (1)$$

где $x_{ti} \in V = \{0,1\}$ – двоичная случайная величина, задающая i -ю компоненту в момент времени t .

Рассмотрим ситуацию, когда при фиксированной s -предыстории:

$$C_t = \{X_{t-1} = J_{t-1}, \dots, X_{t-s} = J_{t-s}\}$$

случайные величины x_{t1}, \dots, x_{tN} зависимы так, что:

$$\begin{aligned} P\{X_t = J_t | C_t\} &= P\{x_{t1} = j_{t1} | C_t\} \cdot P\{x_{t2} = j_{t2} | x_{t1} = j_{t1}, C_t\} \\ &\cdot \dots \cdot P\{x_{tN} = j_{tN} | x_{t1} = j_{t1}, \dots, x_{t,N-1} = j_{t,N-1}, C_t\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где условное распределение i -й компоненты $x_{ti} \in V$ при условии, что фиксирована s -предыстория, представимо в виде:

для первой компоненты:

$$\begin{aligned} P\{x_{t1} = j_{t1} | X_{t-1} = J_{t-1}, \dots, X_{t-s} = J_{t-s}\} \\ = \begin{cases} p_1(J_{t-s}, \dots, J_{t-1}), & j_{t,i} = 1, \\ 1 - p_1(J_{t-s}, \dots, J_{t-1}), & j_{t,i} = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

для остальных компонент ($i = 2, \dots, N$):

$$\begin{aligned} P\{x_{ti} = j_{ti} | x_{t1} = j_{t1}, \dots, x_{ti-1} = j_{ti-1}, C_t\} \\ = \begin{cases} p_i(x_{t1}, \dots, x_{ti-1}, J_{t-s}, \dots, J_{t-1}), & j_{ti} = 1, \\ 1 - p_i(x_{t1}, \dots, x_{ti-1}, J_{t-s}, \dots, J_{t-1}), & j_{ti} = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Малопараметрическая модель на основе базисных функций (для упрощения записи индекс $i \in \{1, \dots, N\}$ опущен) для (4) имеет вид:

$$p = p(J_{1:s}) = F(\sum_{k=1}^m b_k \psi_k(J_{1:s})), J_{1:s} \in V^{Ns}, \quad (5)$$

где $F(\cdot)$ – некоторая заданная абсолютно непрерывная функция распределения, $B = (b_k) \in R^m$ – вектор-столбец $m \leq 2^{Ns}$ неизвестных коэффициентов N -ДЦМ, $\{\psi_k(J_{1:s})\}$ – базисные функции, $J_{1:s} = (J'_1, \dots, J'_s)' \in V^{Ns}$ – составной вектор – столбец, задающий s – предысторию.

Пусть наблюдается реализация длины T для N -ДЦМ (1)-(4):

$$X_{1:T} = (X_1, \dots, X_T) \in V^{TN}.$$

Используя FBE (Frequencies-Based Estimation) – метод, предложенный в [2], оценим вектор параметров B модели (5) по наблюдаемой реализации $X_{1:T}$.

Примем следующие обозначения: $\mathbf{1}\{C\}$ – индикаторная функция события C ;

для первой компоненты:

$$v_s^T(J_{1:s}) = \sum_{t=s}^T \mathbf{1}\{X_t = J_s, \dots, X_{t-s+1} = J_1\},$$

$$v_{s+1}^T(J_{1:s}; 1) \sum_{t=s}^T \mathbf{1}\{x_{t+1,1} = 1, X_t = J_s, \dots, X_{t-s+1} = J_1\}$$

для остальных компонент ($i = 2, \dots, N$):

$$v_s^T(J_{1:s}) = \sum_{t=s}^{T-1} \mathbf{1}\left\{ \begin{array}{l} x_{t+1,i-1} = j_{t+1,i-1}, \dots, x_{t+1,1} = j_{t+1,1}, \\ X_t = J_s, \dots, X_{t-s+1} = J_1 \end{array} \right\},$$

$$v_{s+1}^T(J_{1:s}; 1) \sum_{t=s}^T \mathbf{1}\left\{ \begin{array}{l} x_{t+1,i} = 1, x_{t+1,i-1} = j_{t+1,i-1}, \dots, x_{t+1,1} = j_{t+1,1}, \\ X_t = J_s, \dots, X_{t-s+1} = J_1 \end{array} \right\} -$$

частоты s -грамм $J_{1:s}$ и $(J_{1:s}; 1)$;

$$\hat{p}(J_{1:s}) = \begin{cases} \frac{T-s}{T-s+1} \cdot \frac{v_{s+1}^T(J_{1:s}; 1)}{v_s^T(J_{1:s})}, & J_{1:s} \in J^{(s)}, \\ \frac{1}{2}, & J_{1:s} \notin J^{(s)}, \end{cases}$$

Где

$J^{(s)} = \{J_{1:s} \in V^{Ns} : v_s^T(J_{1:s}) > 0\} \subseteq V^{Ns}$ –
 подмножество s -грамм, имеющих ненулевые частоты в $X_{1:T}$;

$$\begin{aligned} \hat{u}(J_{1:s}) &= F^{-1}(\hat{p}(J_{1:s})) \in R^1; \\ D &= \sum_{J_{1:s} \in J^{(s)}} \Psi(J_{1:s}) \Psi^T(J_{1:s}) \in R^{m \times m}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $F^{-1}(\cdot)$ – квантильная функция,

$$\Psi(J_{1:s}) = \{\psi_k(J_{1:s})\} \in R^{m \times 1},$$

$$E = \sum_{J_{1:s} \in J^{(s)}} \hat{u}(J_{1:s}) \Psi(J_{1:s}) \in R^{m \times 1}.$$

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЦЕНКИ \hat{B}

Теорема 1. Если N -ДЦМ эргодична и определитель матрицы D определяемой (6), $|D| \neq 0$, то FBE-оценка имеет вид:

$$\hat{B} = (\widehat{b_k}) = D^{-1}E$$

и при $T \rightarrow +\infty$ состоятельна, т.е. сходится по вероятности к истинному значению B^0 :

$$\hat{B} \xrightarrow{P} B^0,$$

является асимптотически несмещенной:

$$E\{\hat{B} - B^0\} = E\{\hat{B}\} - B^0 \xrightarrow{T \rightarrow \infty} 0,$$

а ее асимптотическая ковариационная матрица в случае i -ой компоненты ($i = 1, \dots, N$):

$$E \left\{ T(\hat{B} - B^0)(\hat{B} - B^0)' \right\} \xrightarrow{T \rightarrow \infty} D^{-1} \Psi \bar{F} (\Sigma_p)^{-1} \bar{F}' \Psi' (D^{-1})',$$

Где

$$\Sigma_p = \text{diag}(p_i(1 - p_i)) \in R^{2^{s+(i-1)} \times 2^{s+(i-1)}},$$

$$\bar{F} = (F^{-1}'(p_i)) \in R^{2^{s+(i-1)}}.$$

Теорема 2. В условиях Теоремы 1 FBE-оценка \hat{B} имеет асимптотически нормальное распределение:

$$\sqrt{T}(\hat{B} - B) \xrightarrow{T \rightarrow \infty} \mathcal{N}_m(0, \Sigma),$$

$$\Sigma = D^{-1} \Psi \bar{F} \Sigma_p \bar{F}' \Psi' (D^{-1})'.$$

Заключение

В работе получены следующие результаты:

1. для многомерных двоичных временных рядов предложена малопараметрическая модель на основе базисных функций;
 2. построена состоятельная асимптотически нормальная статистическая оценка параметров предложенной модели;
- для построенной оценки найдены асимптотические смещение и вариация.

Полученные результаты могут быть использованы для решения, указанных во введении, прикладных задач статистического анализа дискретных временных рядов.

Библиографические ссылки

1. Харин, Ю.С. Оптимальность и робастность в статистическом прогнозировании / Ю. С. Харин - Минск: БГУ, 2008. 263 с
2. Yu. S. Kharin, V. A. Voloshko, E. A. Medved, Statistical Estimation of Parameters for Binary Conditionally Nonlinear Autoregressive Time Series / Mathematical Methods of Statistics. -2018. Vol. 26. No 2. P 103-118

МНОГОПОТОЧНОСТЬ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ В РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID

Д. О. Шинкевич

fpm.shinkevi@bsu.by;

Научный руководитель — М. И. Давидовская, старший преподаватель

Статья посвящена исследованию многопоточности в операционной системе Android. Рассмотрены различные инструменты для реализации многопоточного выполнения, такие как библиотеки `java.util.concurrent`, RxJava, а также возможности Android SDK. Описаны особенности проектирования и разработки приложения с применением указанных инструментов на примере приложения для работы с электронной почтой.

Ключевые слова: Android; многопоточность; Java; параллелизм; мобильное приложение; RxJava.

В ОС Android доступ к графическому интерфейсу есть только у главного потока приложения. В то же время программы для мобильных устройств обладают нагруженным пользовательским интерфейсом, выполняют сетевые запросы, запросы к базе данных и другие трудоёмкие задачи. Выполнение таких задач в главном потоке может привести к тому, что он окажется заблокированным и не сможет подготовить следующий кадр для отображения или ответить на действия пользователя. Следовательно, чтобы избежать блокировки интерфейса и сохранить отзывчивость приложения, необходимо все потенциально длительные задачи выполнять параллельно в отдельном потоке.

Многопоточность применяется при работе не только с операциями (Activity), но и с другими основными компонентами Android-приложений. Службы (Service) используют для выполнения длительных фоновых задач, широковещательные рассылки (Broadcast Receiver) — для уведомления о результате выполнения фоновой задачи. Доступ к данным с помощью контент-провайдера (Content Provider) должен выполняться асинхронно, так как может занимать длительное время.

Рассмотрим основные подходы к реализации многопоточного выполнения в приложениях, разработанных на языке программирования Java.

1. Первый из них — использование библиотеки `java.util.concurrent` [1]. Она предоставляет интерфейсы-исполнители *Executor* и *ExecutorService*, которые принимают задачи на исполнение в виде Callable- и Runnable-объектов. Данные интерфейсы автоматически

создают пул потоков для выполнения задач. Многократное использование потоков из пула позволяет уменьшить накладные расходы на создание и завершение потоков. Недостатком способа является сложность обработки результата выполнения параллельного потока. Как правило, для обработки результата применяют функции обратного вызова, которые могут содержать последующие обратные вызовы и логику обработки ошибок. В результате сложность программного кода быстро возрастает.

2. Параллельное выполнение задач можно организовать с помощью возможностей Android SDK. Для выполнения задач в главном потоке Android-приложения используется бесконечный цикл *Looper*, который извлекает задачи из очереди сообщений *MessageQueue* и передает их на выполнение обработчику *Handler* [2]. Объект *Handler* позволяет добавлять задачи в очередь из любого потока, что позволяет передать результат работы фоновой задачи главному потоку для соответствующего обновления интерфейса. Планировщик *WorkManager* и класс *AlarmManager* позволяют запустить задачу при выполнении определённого условия или по расписанию.
3. Третий инструмент — сторонняя библиотека для реактивного программирования RxJava. Она позволяет представить данные как поток наблюдаемых объектов, на который можно подписаться и легко обрабатывать события появления новых данных и событие ошибки. Для того, чтобы генерация данных наблюдаемым объектом выполнялась в фоновом потоке, а обработка события наблюдателем в главном потоке приложения, достаточно вызвать методы *subscribeOn* и *observeOn* с подходящими планировщиками [3].

Для исследования рассмотренных подходов на практике было спроектировано и разработано приложение почтовый клиент. Приложение должно предоставлять базовые функции для работы с электронной почтой, такие как написание и отправка письма, просмотр писем по категориям, работа с черновиками, обновление статуса «прочитано» и «избранное», отложенная отправка писем.

В качестве архитектурного шаблона выбран шаблон «Модель, Представление, Модель представления» (Model-View-ViewModel — MVVM). Согласно данному шаблону источник данных предоставляет их в виде наблюдаемых объектов и не содержит ссылок на получателя данных. В результате модель представления не содержит ссылок на операции или фрагменты с коротким жизненным циклом, значит,

избегаем утечек памяти, связанных с попыткой обращения к представлению, которое завершило работу. Диаграмма пакетов приложения показана на рисунке.

В приложении два источника данных: почтовый сервер, для доступа к которому использован JavaMail API, и локальная база данных закешированных писем для более быстрого доступа, для работы с которой использована библиотека Room. Чтобы предоставить единый интерфейс для работы с данными из разных источников, использован шаблон «Репозиторий». Обращения к базе данных и к серверу являются продолжительными задачами, которые необходимо выполнять асинхронно.

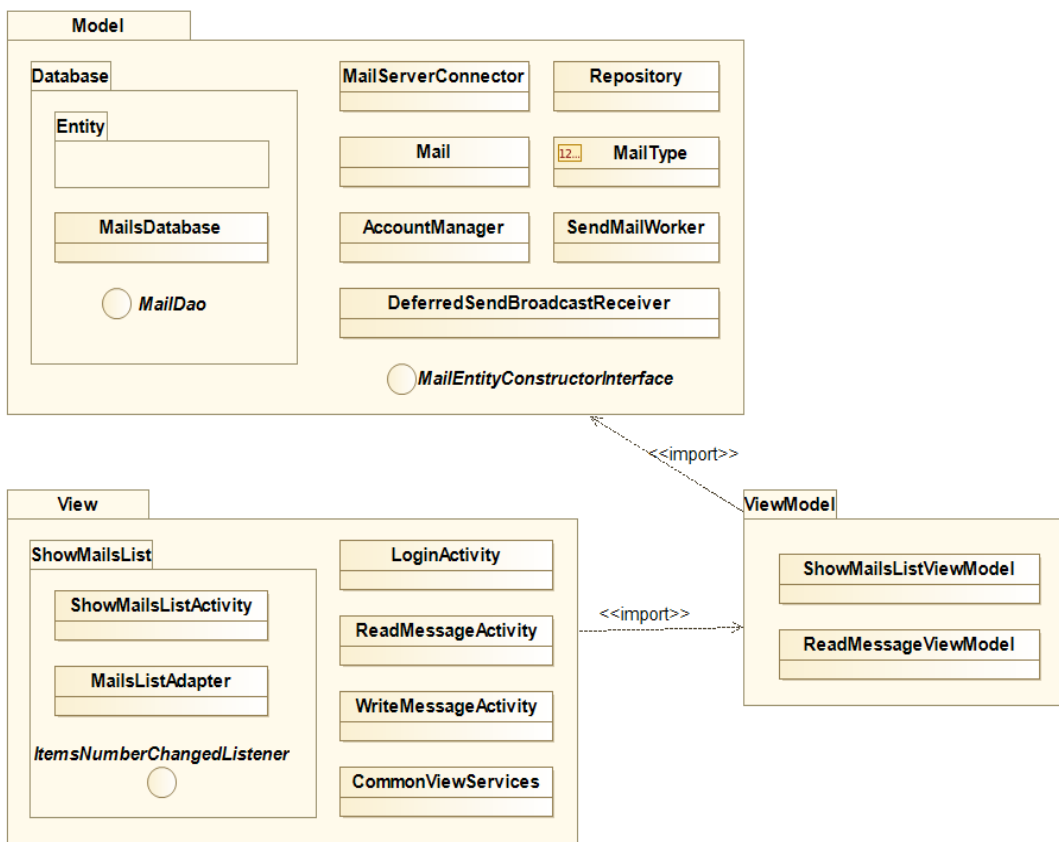


Диаграмма пакетов приложения

Для асинхронного получения данных модель возвращает данные в виде наблюдаемых объектов библиотеки RxJava. Они создаются на основе объектов интерфейса *Callable*, которые реализуют получение данных. Например, для получения писем из базы данных использован наблюдаемый объект *Single*, как показано в листинге. Полный исходный код приложения доступен в репозитории [4]. Модель представления подписывается на наблюдаемый объект и обрабатывает события

появления нового элемента данных — *next*, завершения потока — *complete* или ошибку — *error*. Модель представления преобразует данные в другой наблюдаемый объект *LiveData* и передаёт его в представление. Класс *LiveData* больше подходит для передачи данных представлению, поскольку он предназначен для работы с объектами с жизненным циклом.

```
private <T extends MailEntity> Single<List<Mail>> getLocalMails(
    Supplier<List<T>> mailsFromDBGetter) {
    return Single.fromCallable(() -> {
        List<T> mailEntitiesFromDB = mailsFromDBGetter.get();
        List<Mail> mailsFromDb = new
ArrayList<>(mailEntitiesFromDB.size());
        for (T mailEntity : mailEntitiesFromDB) {
            Mail mail = mailEntityToMail(mailEntity);
            mailsFromDb.add(mail); }
        return mailsFromDb;
    }).subscribeOn(Schedulers.io()); }
```

Получение писем из базы данных с использованием наблюдаемого объекта *Single*

Планирование задач рассмотрено на примере отложенной отправки письма. Для назначения точного времени выполнения задачи использован класс *AlarmManager*, предназначенный для работы с системной службой оповещений. При наступлении заданного времени выполняется широковещательная рассылка, которая обрабатывается приложением. Для отправки письма необходимо подключение к интернету. Поэтому в приёмнике рассылки запускается новая задача с помощью планировщика *WorkManager*, который позволяет отложить выполнение задачи до тех пор, пока не выполнится определённое условие. В данном случае таким условием является наличие интернет-соединения. Метод *doWork*, содержащий реализацию задачи для *WorkManager*, автоматически вызывается в параллельном потоке.

В работе рассмотрены наиболее популярные инструменты для реализации многопоточного выполнения от средств языка Java и Android SDK до сторонней библиотеки RxJava. Выделены особенности архитектуры приложения, которое взаимодействует с базой данных и сервером асинхронно, рассмотрен процесс доставки данных от источника к представлению, показаны особенности реализации на примере проектирования и разработки почтового клиента. Большое количество приложений для ОС Android предполагают асинхронное выполнение задач. Результаты данной работы имеют практическую значимость и применимы в области разработки мобильных приложений для ОС Android.

Библиографические ссылки

1. java.util.concurrent. Package summary: Android Developers [Electronic resource]. — Mode of access: <https://developer.android.com/reference/java/util/concurrent/package-summary>. Date of access: 12.10.2022.
2. Programming Android with Kotlin / Pierre-Olivier Laurence [et al.]. — Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2021\ 532 p.
3. Multi-Threading Like a Boss in Android With RxJava 2: Gojek Tech [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.gojek.io/blog/multi-threading-like-a-boss-in-android-with-rxjava-2>Date of access: 15.10.2022.
4. Репозиторий приложения «Почтовый клиент» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://github.com/DaraShin/MailClient>. — Дата доступа: 31.05.2023.
5. Шинкевич, Д. О. Многопоточное программирование для ОС Android / Д. О. Шинкевич, М. И. Давидовская // Научные исследования XXI века [Электронный ресурс]. 2023. № 1 (21). С. 17-22. Режим доступа: <http://scientific-research.ru/files/JOURNAL.1-21-.pdf>. Дата доступа: 01.05.2023.

ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ВЕБ-РЕСУРСА ДЛЯ ИНЖИНИРИНГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Е. Г. Андреева

zhenyaletha@gmail.com;

Научный руководитель — А. В. Микулович, старший преподаватель

Рассматривается разработка прототипа веб-ресурса для инженеринговой организации на основе платформы Tilda Publishing. С ростом популярности Интернета веб-сайт компании играет ключевую роль в установлении связи с потенциальными клиентами и предоставлении им информации, товаров и услуг. Приведено решение таких задач, как: анализ потребностей и требований, планирование и структурирование, создание макета и окончательную разработку интерфейса.

Ключевые слова: веб-ресурс; разработка веб-сайта; Tilda Publishing; Tilda; создание прототипа; инженеринговая организация; функциональные требования; дизайнерские требования; анализ, планирование; веб-сайт компании; разработка интерфейса.

ВВЕДЕНИЕ

Веб-ресурсы стали неотъемлемой частью современного бизнеса, и инженеринговые организации не исключение. Они имеют специфические потребности в информационном обеспечении, так как основной продукцией являются услуги, требующие высокой квалификации и множества взаимодействующих процессов. Целью исследования является создание прототипа веб-ресурса, который соответствует функциональным и дизайнерским требованиям инженеринговой организации.

Для разработки была выбрана платформа Tilda Publishing за счёт таких качеств, как: удобство использования, адаптивности сайтов, широкий набор интеграций с другими сервисами и приложениями, безопасность данных и защита от потенциальных угроз и атак, встроенный редактор мета-тегов и контента [1].

РАЗРАБОТКА ВЕБ-РЕСУРСА ИНЖИНИРИНГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Первой задачей при разработке прототипа веб-ресурса является сбор информации и последующий анализ потребностей заказчика. Техническое задание на разработку сайта является специальным документом, который

определяет технические, функциональные и контентные аспекты будущего веб-ресурса [2].

После проведения нескольких встреч с заказчиком, составляется техническое задание для инжиниринговой организации:

1. Требования к дизайну сайта (внешний вид).
1. Требования к функциональности сайта (какие задачи должен выполнять).
2. Требования к содержанию сайта.
3. Необходимые информационные материалы и данные от заказчика.
4. Другие требования.

Следующей задачей является планирование и определение структуры прототипа. Вначале требуется выделить основные разделы, которые будут присутствовать в веб-ресурсе. Затем необходимо определить иерархию страниц в каждом разделе. Разделы могут содержать подстраницы или подразделы, которые уточняют информацию и обеспечивают лучшую навигацию. Для наглядной визуализации структуры прототипа можно использовать диаграмму сайта (site map) [3, с. 101]. На рисунке 1 изображена разработанная диаграмма сайта для инжиниринговой организации.

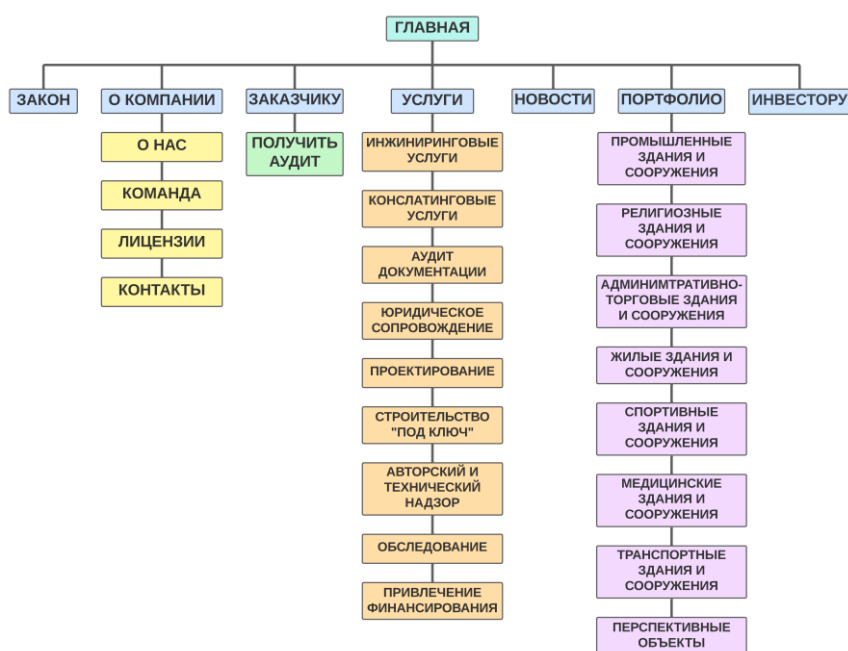


Рис. 1. Диаграмма сайта для инжиниринговой организации

Третья задача представляет собой создание макета, который отражает общий внешний вид и расположение основных элементов разрабатываемого веб-ресурса. Данный этап выполнен с использованием приложения Figma. Веб-макет – это первоначальный визуальный концепт,

который определяет структуру, компоновку и внешний вид будущего веб-ресурса.

На рисунке 2 макет главной страницы включает:

- шапка (header): логотип, название компании, навигационное меню;
- большой заголовок: изображение или видео, создающие эмоциональную связь;
- услуги: список основных услуг или продуктов;
- общие показатели: иконки или графические элементы, иллюстрирующие преимущества;
- портфолио/примеры работ: изображения и возможность перехода для подробной информации;
- новости: обновления о последних событиях, достижениях и новостях;
- актуально: краткое описание и ссылки для получения подробностей;
- партнеры: логотипы и информация о сотрудничающих партнерах;
- контактная информация: адрес, телефон, электронная почта и т.д.



Рис. 2. Макет главной страницы

При разработке веб-ресурса последний этап – создание интерфейса и функциональности. Главная страница (рис. 3) содержит Шапку (header) с логотипом, названием организации и ссылками на основные разделы сайта. На главном баннере есть кнопки для разделов «О компании» и «Портфолио». Прокручивая страницу вниз, пользователь видит список предоставляемых услуг.

На странице также присутствует разработанный счетчик для показа характеристик компании, таких как «Успешно реализованные проекты»,

«Лет на рынке инжиниринговых услуг» и «Довольных клиентов и партнеров».

Раздел «Реализуемые проекты» представлен в виде таблицы с примерами проектов, каждый из которых содержит изображение, подпись и ссылку на дополнительную информацию. Ниже расположен раздел «Новости», где представлены краткие заголовки новостей или анонсы с возможностью перехода к полному тексту. Важно отметить, что добавлена функция обновления статей.

В разделе «Актуально» есть графические элементы с ссылками для дополнительной информации. В разделе «Партнёры» есть карусель с логотипами партнеров. В разделе «Подвал» есть дополнительная навигация по сайту, ссылки на социальные сети и контактные данные фирмы.

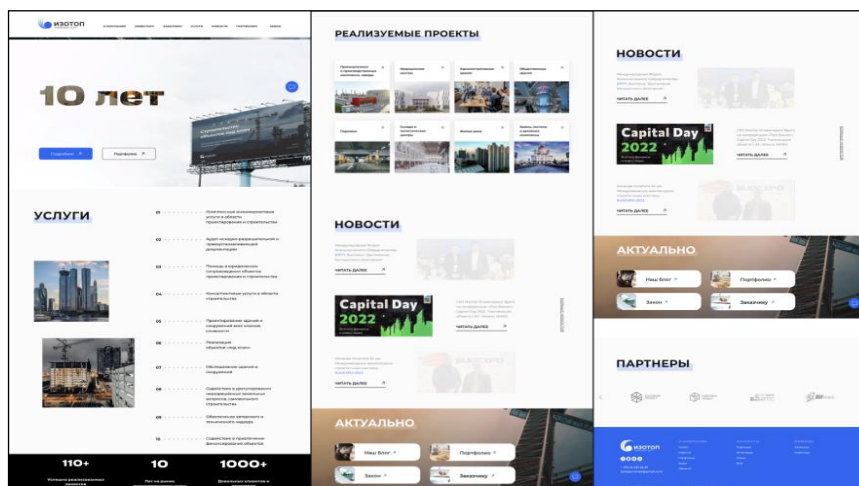


Рис. 3. Главная страница

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, был разработан прототип веб-ресурса, который удовлетворяет поставленным требованиям и позволит инжиниринговой организации привлекать новых клиентов и улучшать имидж компании.

Библиографические ссылки

1. Описание возможностей Tilda [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tilda.cc/ru/features/> Дата доступа: 26.04.2023.
2. Техническое задание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://d-element.ru/about/blog/tz-na-sayt/> Дата доступа: 11.05.2023.
3. Brown Dan M. Site map // Communicating Design: Developing Web Site Documentation for Design and Planning, Second Edition. USA: New Riders, 2010.

САМОСОГЛАСОВАННЫЙ РАСЧЁТ СОБСТВЕННЫХ ЭНЕРГИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УРОВНЕЙ СВЕРХРЕШЕТКИ С УЧЁТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯДА

А. А. Афоненко

anatolii92111@gmail.com;

*Научный руководитель – Д. В. Ушаков, доктор физико-математических наук,
доцент*

На основе самосогласованных расчётов уравнения Шредингер и уравнения Пуассона найдено, что наименьшая обратная длина экранирования получается при расположении примеси в центре широкой квантовой ямы. Наибольшая — при расположении примеси в узкой квантовой яме. При этом величина параметра обратной длины экранирования от 1.4 до 3 раз меньше аналитического приближения.

Ключевые слова: квантово-каскадная гетероструктура; примесные состояния; уравнения Шрёдингера-Пуассона.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы влияния примесей на перенос носителей заряда и усиление квантово-каскадных лазеров (ККЛ) играют важную роль для оптимизации их характеристик. В последнее время возрос интерес к увеличению уровня легирования, что позволяет увеличить максимальное усиление и мощность генерации ККЛ. При этом рассеяния с участием примесей может стать доминирующим механизмом переноса носителей заряда. Обычно в расчетах рассеяния для потенциала примеси используется кулоновский потенциал с экранированием как для объемного материала [1]. В сверхрешетках справедливость применения такого приближения нуждается в подтверждении.

ДИЗАЙН КВАНТОВО-КАСКАДНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

Для анализа экранирования проводится на примере структуры $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ с периодом из 4-х слоев 3.26/7.99/1.90/16.46 нм. Легирование гетероструктуры $N_d = 4.5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Рассматривается сверхрешетка с одним заряженным центром. Рассматриваемая область содержит 4 периода структуры $z_{max} \approx 120 \text{ нм}$. Структура рассматривается при температуре $T = 77 \text{ К}$. Структура без приложения внешнего напряжения.

Эффективная масса и гетеропотенциал определяются зависимостями от состава в гетеросистеме $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$.

$$m_c(z) = (0.067 + 0.083x(z))m_e \quad (1)$$

$$V(z) = 0.848[\text{эВ}]x(z) \quad (2)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАТНОЙ ДЛИНЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ

При расчёте характеристик полупроводниковых гетероструктур обычно используется экранированный потенциал примеси

$$\mu(r) = -\frac{e \exp(-\kappa r)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}, \quad (3)$$

где κ – обратная длина экранирования, которая для объемного полупроводника рассчитывается как

$$\kappa = \sqrt{\frac{e^2 N_d^{3D}}{\epsilon\epsilon_0 kT}} \quad (4)$$

где N_d^{3D} – объемная концентрация примесей, T – температура структуры, ϵ – диэлектрическая проницаемость материала.

Задача нахождения нижних состояний заряженной примеси сводится к двумерной задаче на собственные значения и собственные вектора. В цилиндрической системе координат уравнение Шредингера можно записать как:

$$E\varphi(\rho, z) = \left(-\frac{\hbar^2}{2} \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{m_c(z)} \frac{\partial}{\partial z} - \frac{\hbar^2}{2m_c(z)} \frac{\partial}{\partial \rho} \rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) \varphi(\rho, z) + \left(V(z) + \mu(\rho, z - z_0) + \frac{\hbar^2}{2m_c(z)} \frac{m^2}{\rho^2} \right) \varphi(\rho, z) \quad (5)$$

Здесь $\varphi(\rho, z)$ – волновая функция, зависящая от координат ρ и z , E – собственная энергия, $m_c(z)$ – эффективная масса электрона, зависящая от материала слоя, $V(z)$ – потенциал, образованный гетерослоями структуры, ϵ – диэлектрическая проницаемость материала, m – азимутальное квантовое число, z_0 – координата примеси, $\mu(\rho, z - z_0)$ – экранированный потенциал примеси.

Для построения самосогласованного расчёта требуется определить распределение заряда, создаваемого одним электроном. Для этого решается уравнение (5.2) с $\mu(\rho, z) = 0$ (рис. 1а) и распределение заряда нормируется на N электронов. Далее добавляется потенциал примеси $\mu(\rho, z)$ (рис. 1б) и распределение заряда нормируется на $N+1$ электрон. Разность двух распределений дает распределение заряда вокруг примеси.

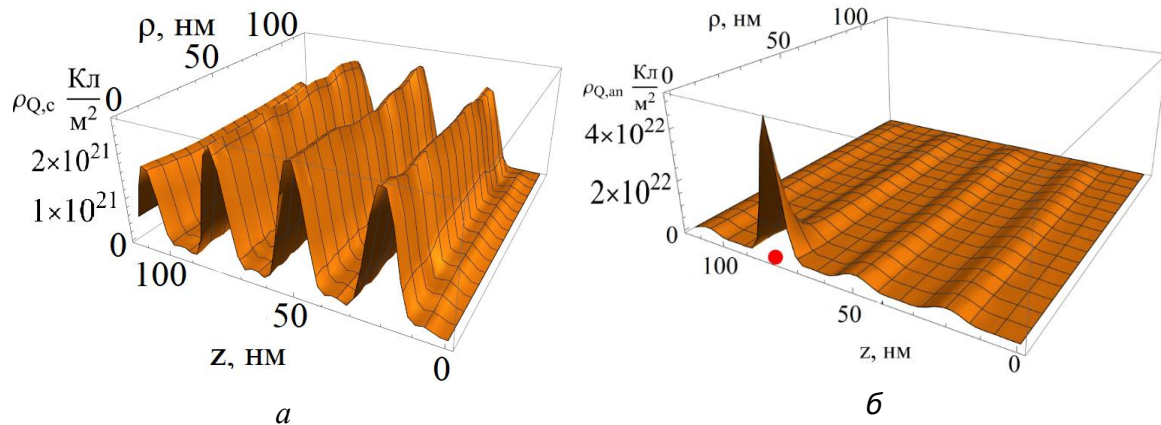


Рис. 1. Координатная зависимость плотности заряда в структуре при отсутствии (а) и наличии примеси (б)

Для определения потенциала, создаваемого распределённым зарядом примеси естественно перейти в сферическую систему координат. В качестве первого приближения анализируется распределение заряда, обладающего центральной симметрией. Для функции потенциала $\mu(r)$ ожидается зависимость вида

$$\mu(r) = \frac{f(r)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \quad (6)$$

где $f(r)$ – экранирующий множитель, который в объемном случае $f(r) = \exp(-kr)$.

Уравнение Пуассона представляется в виде:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d}{dr} \frac{f(r)}{r} \right) = -\frac{\psi_Q(r)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad (7)$$

$$f(0) = -\frac{e}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, f(R) = 0, 0 \leq r \leq R;$$

где $\psi_Q(r)[\text{м}^{-1}]$ одномерное распределение заряда по радиусу.

После достижения сходимости эквивалентный коэффициент экранирования κ рассчитывается исходя из равенства

$$4\pi \int_0^\infty \mu(r) r^2 dr = 4\pi \int_0^\infty \frac{e^2 \exp(-kr)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} r^2 dr = \frac{e^2}{\kappa^2 \epsilon\epsilon_0} \quad (8)$$

$$\kappa = \frac{e}{2 \sqrt{\pi\epsilon\epsilon_0 \int_0^\infty |\mu(r)| r^2 dr}} \quad (9)$$

На рис. 2 показан экранирующий множитель $f(r)$ при различных положениях примеси в структуре. Наиболее близкий к аналитическому множитель получается при нахождении примеси в центре узкой квантовой ямы. При положении примеси в центре широкой квантовой ямы функция может иметь не монотонный вид и эффективную длину экранирования намного больше, чем в объемном случае.

На рис. 3 показана зависимость обратной длины экранирования κ от положения примеси. Наименьшая обратная длина экранирования $\kappa = 1.83 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ получается при расположении примеси в центре широкой квантовой ямы. Наибольшая $\kappa = 3.97 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ — при расположении примеси в узкой квантовой яме. При этом величина параметра обратной длины экранирования от 1.4 до 3 раз меньше аналитического приближения $\kappa = 5.70 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

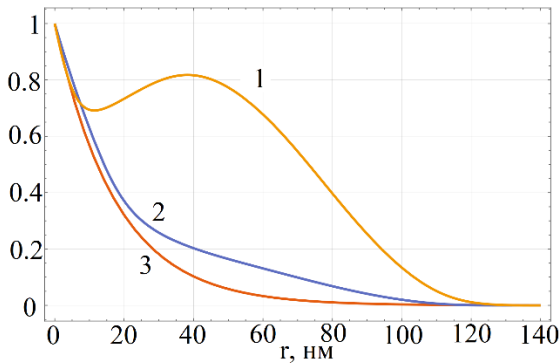


Рис. 2. Координатная зависимость экранирующего множителя при расположении примеси в широкой квантовой яме (1), узкой квантовой яме (2) и аналитическая зависимость для объемного полупроводника (3)

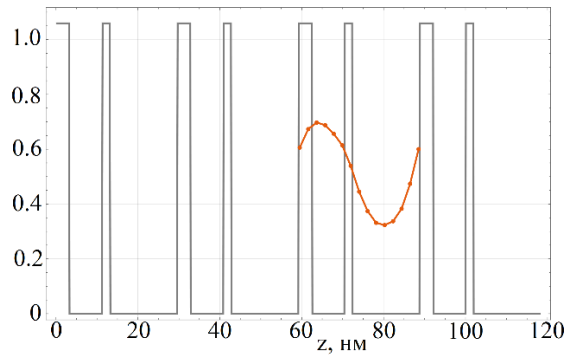


Рис. 3. Нормированная зависимость обратной длины экранирования κ от положения примеси. Схематично приведена величина гетеропотенциала.

Библиографические ссылки

1. Афоненко, Ан. А. Влияние селективного легирования на характеристики квантово-каскадных лазеров ТГц диапазона / Ан. А. Афоненко, А. А. Афоненко, Д. В. Ушаков, Р.А. Хабибуллин // Труды XXVI Международного симпозиума «Нанопфизика и наноэлектроника». (Нижний Новгород, 13–16 марта 2023 г.) в 2 т. Том 2. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2023. С. 530-531.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

А. А. Биран

artem.biran@mail.ru;

Научный руководитель — Ю. И. Воротницкий, кандидат физико-математических наук, доцент

Рассматривается постановка задачи многокритериальной маршрутизации в мультисервисных сетях с учетом параметров качества обслуживания, актуальная для передачи мультимедийной информации и для иных приложений, критичных к этим параметрам. Предложена и апробирована программная реализация модифицированного алгоритма Дейкстры, позволяющего найти оптимальные маршруты в мультисервисных сетях.

Ключевые слова: маршрутизация, мультисервисные сети, качество обслуживания, мультимедийная информация, алгоритм Дейкстры.

В последнее время в связи с быстрым ростом объемов мультимедийного трафика проблему маршрутизации в мультисервисных сетях необходимо решать с учетом требований к качеству обслуживания (QoS).

Мультисервисные сети в дополнение к широкополосному доступу в интернет предоставляют большой комплекс услуг: видеоконференцсвязь, IP-телефония, цифровое телевидение и др. Для таких сетей кроме полосы пропускания важны такие параметры качества обслуживания (QoS) как задержка пакетов, вариация задержки (джиттер), вероятность потери пакетов. Обеспечение наилучшего качества обслуживания в таких сетях является сложной задачей многокритериальной оптимизации.

Традиционные алгоритмы маршрутизации используют метрики, отражающие один параметр маршрута (например, число промежуточных узлов, пропускная способность и т.п.). Однако в современных сетях телекоммуникаций, передающих мультимедийную информацию, приходится одновременно учитывать несколько названных выше параметров.

В работе [1] была предложена модификация алгоритма Дейкстры, ориентированная на решение задач многокритериальной маршрутизации, предполагающая как свертывание векторного критерия оптимальности, так и применения дополнительных ограничений для определения допустимых маршрутов. Целью данной работы является рассмотрение возможных вариантов построения метрик, использующих различные способы свертывания векторных критериев оптимальности, для

построения алгоритма поиска оптимального маршрута на графе при наличии ограничений на параметры качества обслуживания.

Представим сеть в виде графа $G(V, E)$, где V – множество узлов сети, E – множество дуг e_{ij} , соединяющих узлы i и j компьютерной сети. Пример компьютерной сети можно увидеть на рисунке. Для решения задачи многокритериальной маршрутизации необходимо сформировать целевую функцию, элементами которой будут являться параметры сети. Такая функция в общем случае будет определяться несколькими не связанными друг с другом значениями, для которых оценивается уровень QoS.

Обозначим как p маршрут от узла источника s к узлу получателя t . В качестве QoS-параметров каждого канала связи (ребра графа) будем рассматривать полосу пропускания B_e , задержку D_e , вариацию задержки J_e и вероятность потери пакетов L_e . Для каждого из возможных путей из s в t будут справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} B_{s,t} &= \min\{B_e\}; & D_{s,t} &= \sum_{e \in p} D_e; & J_{s,t} &= \sum_{e \in p} J_e; \\ L_{s,t} &= 1 - \prod_{e \in p} (1 - L_e) \end{aligned} \quad (1)$$

Для удобства дальнейшего анализа вместо вероятности потери пакетов L_e будем рассматривать такой параметр, как логарифм вероятности прохождения пакетов $X_e = \ln(1 - L_e)$. Этот подход удобен тем, что значение данного параметра на всем пути маршрутизации вычисляется суммированием:

$$X_{s,t} = \sum_{e \in p} X_e \quad (2)$$

Для решения задачи поиска оптимального маршрута работа алгоритма зависит вида целевой функции. В данной работе рассматриваются следующие виды целевой функции:

Аддитивная свертка. Обобщенная метрика расстояния между узлами i, j в этом случае является функцией параметров качества обслуживания с заданными весовыми коэффициентами, которые выбираются в зависимости от типа передаваемого трафика.

$$F_{ij} = w_1 \cdot B_{ij} + w_2 \cdot D_{ij} + w_3 \cdot J_{ij} + w_4 \cdot X_{ij} \quad (3)$$

Минимаксный критерий. Пусть $P(s, t)$ есть множество QoS-осуществимых путей из s в t . Тогда проблема QoS-маршрутизации может быть сформулирована как модель оптимальной маршрутизации, рассматриваемая на множестве QoS-осуществимых путей $P(s, t)$:

$$\max_P B_{s,t} \Leftrightarrow \min_P -B_{s,t} \quad \max_P X_{s,t} \Leftrightarrow \min_P -X_{s,t} \quad \min_P D_{s,t} \quad \min_P J_{s,t}; \quad (4)$$

$$B_{s,t} - B_{\min} \geq 0 \quad X_{s,t} - X_{\min} \geq 0 \quad D_{\max} - D_{s,t} \geq 0 \quad J_{\max} - J_{s,t} \geq 0; \quad (5)$$

$$B_{s,t} = \min\{B_e\}; \quad D_{s,t} = \sum_{e \in p} D_e; \quad J_{s,t} = \sum_{e \in p} J_e; \quad X_{s,t} = \sum_{e \in p} X_e \quad (6)$$

Модификация алгоритма в данном случае заключается в отбрасывании в процессе поиска тех путей, на которых не выполняются ограничения (5), и в новом способе описания и вычисления метрик узлов [2]. В исходном алгоритме метки каждого j -го узла, которого можно достичь из узла s через соседний узел i , имеют вид $[R_{s,j}, i]$, где величина стоимости $R_{s,j}$, соответствующая данному пути, аддитивна и вычисляется по формуле $R_{s,j} = R_{s,i} + R_{i,j}$, где $R_{i,j}$ – стоимость ребра $e_{i,j}$; величина $R_{s,t}$ берется из метки i -го узла. Вместо этого введем метку, имеющую 6 компонентов: $[R_{s,j}, Y_{s,j}, D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, i]$. Новую метрику при переходе из узла i в узел j будем вычислять следующим образом:

$$D_{s,j} = D_{s,i} + D_{i,j}; \quad (7)$$

$$J_{s,j} = J_{s,i} + J_{i,j}; \quad (8)$$

$$X_{s,j} = X_{s,i} + X_{i,j}; \quad (9)$$

$$B_{s,j} = \min\{B_{s,i}, B_{i,j}\}; \quad (10)$$

$$R_{s,j} = \begin{cases} r, & \text{если для } D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, Y_{s,j} \text{ выполняются условия (5),} \\ \infty, & \text{если для } D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, Y_{s,j} \text{ не выполняются хотя бы} \\ \text{одно из условий (5),} & \end{cases} \quad (11)$$

$$r = \max \left\{ w_B \frac{\bar{B} - B_{s,t}}{\sigma_B}, w_D \frac{D_{s,t} - \bar{D}}{\sigma_D}, w_J \frac{J_{s,t} - \bar{J}}{\sigma_J}, w_X \frac{\bar{X} - X_{s,t}}{\sigma_X} \right\}, \quad (12)$$

где \bar{B} , \bar{D} , \bar{J} , \bar{X} – математические ожидания соответствующих критериев;

σ_B , σ_D , σ_J , σ_X – их среднеквадратичные отклонения;

w_B , w_D , w_J , w_X – весовые коэффициенты, характеризующие значимость каждого из параметров QoS.

С помощью этого алгоритма для каждого k -го узла-клиента вычисляется метрика, соответствующая пути до каждого l -го узла где расположен информационный ресурс. Из этих метрик выбирается наилучшая, которая и считается метрикой, соответствующей данному узлу:

$$R_k = \min_l R_{kl}. \quad (13)$$

Затем из метрик, соответствующих каждому узлу-клиенту, находится наихудшая, т. е. имеющая наибольшее значение, которое для этой метрики и является значением целевой функции. Таким образом, целевая функция имеет вид

$$F(\bar{x}) = \max_k R_k(\bar{x}). \quad (14)$$

Предложенный алгоритм свертки был реализован программно. Проведенные исследования показали его эффективность для решения задач маршрутизации в сетях, ориентированных на передачу файлов, а также для передачи мультимедийной информации. Путем вычислительного эксперимента показано его преимущество над аддитивной сверткой.

Библиографические ссылки

1. Листопад Н. И., Воротницкий Ю. И., Бортновский В. В., Хайдер А. А. Многокритериальная маршрутизация информационных потоков // Проблемы физики, математики и техники. 2017, №2 (31). С. 84-90.
2. Воротницкий Ю.И., Шпак К.С. Оптимальное размещение информационных ресурсов в мультисервисных маршрутизируемых компьютерных сетях // Вестник связи. 2016.

СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ TiAlCuN И TiAlCuCN

Ю. В. Болотина

yuliya7x7@gmail.com;

Научный руководитель — В. А. Зайков, старший преподаватель

Методом магнетронного распыления сформированы наноструктурированные нитридные TiAlCuN и карбонитридные TiAlCuCN покрытия. С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДРС) изучена структура и элементный состав TiAlCuCN и TiAlCuN покрытий. Четырехзондовым методом с помощью измерителя удельных сопротивлений (ИУС) исследованы электрофизические характеристики TiAlCuN и TiAlCuCN покрытий.

Ключевые слова: магнетронное распыление; растровая электронная микроскопия; электрофизические измерения; удельное сопротивление; плазменная длина.

ВВЕДЕНИЕ

Керамические покрытия нитридов переходных металлов, осаждаемые методами реактивного магнетронного распыления, в состав которых входят следующие компоненты (Ti, Al, Cu, Si)N привлекают большое внимание исследователей, вследствие их наноструктурного строения (размер зерен менее 100 нм) и металлической природы проводимости, связанной с гранецентрированной кубической решеткой, ведущей свой генезис от структуры TiN (fcc-TiN структура). Следовательно, такие покрытия могут иметь, как замечательные механические свойства – высокие показатели твердости, предела упругости, износостойкости, так и отличные электрофизические характеристики, что позволит использовать их в энергетике, космических технологиях и др. [1 - 3].

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ TiAlCuN И TiAlCuCN И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Осаждение покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN проводилось методом реактивного магнетронного распыления на модернизированной установке УВН 2М, оснащенной магнетронным распылителем и ионным источником «Радикал», системами нагрева подложек, подачи смещения на подложку и модульным комплексом управления расходом газов (МКУРГ) [4]. Для осаждения покрытий использовались подложки из монокристаллического кремния Si (100), из монокристаллического кремния с термически выращенным окислом толщиной до 1,5 мкм, титана

марки ВТ1-0. Для распыления использовали две композитных мишени TiAlCu состава: мишень № 1 (46,4 ат. % Ti; 45,5 ат. % Al; 8,1 ат. % Cu) и мишень № 2 (69 ат. % Ti; 23 ат. % Al; 8 ат. % Cu), изготовленные методом взрывного прессования.

Перед осаждением покрытий производилась ионная очистка поверхности подложек. Для контроля расхода аргона, азота и ацетилена использовалась зависимость интенсивностей спектральных линий излучения плазмы разряда от содержания реактивного газа в вакуумной камере. Прибор МКУРГ позволял стационарно поддерживать неравновесный режим распыления мишени, характеризующийся величиной степени реактивности α [4]. Количество углерода в составе покрытий контролировалось соотношением парциальных давлений реактивных газов N_2/C_2H_2 .

Все процессы осаждения проводили при двух значениях степени реактивности α : $\alpha = 0,605$ (покрытия имели состав близкий к стехиометрическому) и $\alpha = 0,474$ (покрытия нестехиометрического состава, обогащенного металлическими Ti и Al компонентами).

Режимы и нумерация образцов покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN в соответствии с условиями их осаждения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы осаждения и нумерация образцов покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN в соответствии с технологическими условиями их осаждения

α	0,605				0,474			
	TiAlCuN		TiAlCuCN		TiAlCuN		TiAlCuCN	
Тип покрытия	TiAlCuN		TiAlCuCN		TiAlCuN		TiAlCuCN	
Ток разряда I, А	1,0		1,0		1,0		1,0	
Напряжение U, В	370 - 400		390 - 440		370 - 400		390 - 440	
$P_{N_2} / P_{C_2H_2}$	-		1 / 1		-		1 / 1	
U_{cm} , В	-200		-200		-200		-200	
T, °С	370		380		370		380	
Мишень	1	2	1	2	1	2	1	2
Номер образца	1N1	2N1	1CN1	2CN1	1N2	2N2	1CN2	2CN2

Морфология, микроструктура и элементный состав исследуемых покрытий на кремниевых подложках изучались методом сканирующей

электронной микроскопии (СЭМ) с помощью электронного микроскопа Hitachi S-4800 (Япония).

Электрофизические характеристики покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN исследовались четырехзондовым методом на установке ИУС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 по результатам обработки микрофотографий СЭМ и спектров ЭДРС представлены: компонентный состав, толщина, скорость осаждения нитридных покрытий TiAlCuN и карбонитридных покрытий TiAlCuCN. Обнаружено, что в спектрах ЭДРС присутствуют менее 2 ат. % примесей O и Ar, попадающих в покрытие в процессе осаждения из остаточной атмосферы.

Таблица 2

Степень реактивности (α), стехиометрия состава, толщина (h), время (τ) и скорость (v) осаждения нитридных покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN на Si

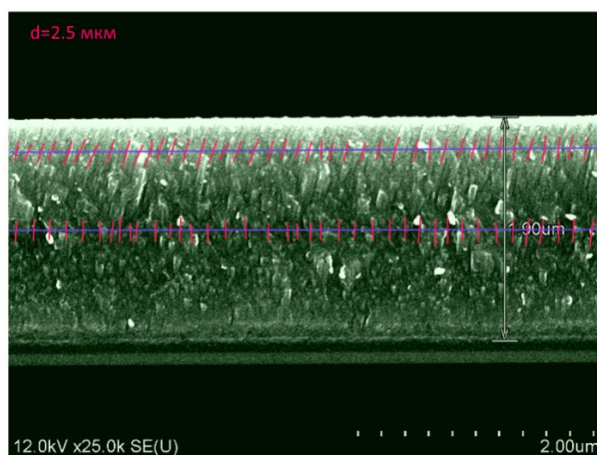
№ образца	α	(Ti + Al) ат. %	(N + C) ат. %	(Ti+Al)/(N+C)	h нм	τ с	v нм/с
1N1	0,605	43,63	44,70	0,9928	1900	5400	0,352
1N2	0,474	47,05	37,94	1,240	1290	2580	0,500
2N1	0,605	43,84	44,16	0,9928	1120	3000	0,373
2N2	0,474	56,17	31,40	1,789	1280	2580	0,496
1CN1	0,605	41,23	47,27	0,8722	1460	3000	0,487
1CN2	0,474	56,17	31,40	1,789	1530	2580	0,593
2CN1	0,605	50,70	40,91	1,239	1580	3000	0,527
2CN2	0,474	59,09	30,08	1,964	1640	2580	0,636

Из анализа таблицы 2 можно сделать вывод, что скорость осаждения покрытий зависит от степени реактивности α , т.е. от соотношения между парциальными давлениями азота и аргона для нитридного TiAlCuN покрытия и от соотношения между парциальными давлениями реактивного газа (смеси азота и ацетилен) и аргона для карбонитридного TiAlCuCN покрытия. Уменьшение степени реактивности α от значения $\alpha = 0,605$ до величины $\alpha = 0,474$ приводит к увеличению скорости осаждения покрытия TiAlCuN на 23 %, а покрытия TiAlCuCN на 22 %.

На рисунке представлена СЭМ – микрофотография покрытия TiAlCuN на кремнии на сколе (образец 1N1). Размер зерна в различных сечениях по толщине покрытия определялся методом секущей.

Анализ всех микрофотографий показывает, что для всех покрытий как TiAlCuN, так и TiAlCuCN характерна плотная столбчато-зернистая микроструктура, с небольшим увеличением в диаметре столбцов по мере роста покрытий. Средний размер столбцов не превышает 40 -70 нм.

В таблице 3 представлены результаты электрофизических измерений четырехзондовым методом слоевого (R_{\square}) и удельного (ρ) сопротивлений.



СЭМ – микрофотография на сколе покрытия TiAlCuN на кремнии. Образец 1N1; подложка – Si; $\alpha = 0,605$. Средний размер зерна 65 нм и 59 нм

Таблица 3

Степень реактивности (α), слоевое сопротивление (R_{\square}), толщина (h), удельное сопротивление (ρ) покрытий TiAlCuN и TiAlCuCN на SiO₂

№ образца	α	R_{\square} , Ом/□	h , мкм	ρ , мкОм·см
1N1	0,605	33,57	1,9	6378
1N2	0,474	5,37	1,29	693
2N1	0,605	2,98	1,12	334
2N2	0,474	1,20	1,28	154
1CN1	0,605	32,66	1,46	4768
1CN2	0,474	6,99	1,53	1069
2CN1	0,605	2,83	1,58	447
2CN2	0,474	1,36	1,64	223

Анализ слоевого и удельного сопротивления покрытий нитридов TiAlCu/TiAlCuN и карбонитридов TiAlCu/TiAlCuCN на SiO₂-подложках показал, что покрытия TiAlCu/TiAlCuN и TiAlCu/TiAlCuCN состава близкого к стехиометрическому $\alpha = 0,605$ имеют большее сопротивление, чем покрытия, полученные при $\alpha = 0,474$. Вероятная причина – добавка Cu, которая концентрируется по границам зерен и приводит к снижению потенциального барьера. Покрытия, полученные из мишени 2 с отношением стехиометрии Ti:Al = 3:1, имеют на порядок меньшее

значение удельного сопротивления чем покрытия, полученные из мишени 1 с отношением стехиометрии Ti:Al = 1:1.

Библиографические ссылки

1. *Витязь П.А., Свидунович Н.А., Куис.* Наноматериаловедение // Минск: Вышэйшая школа, 2015. - 511 с.
2. Development and characterization of TiAlN (Ag, Cu) nanocomposite coatings deposited by DC magnetron sputtering for tribological applications / D. Perea [et al.] // Surface and Coatings Technology. 2020. Vol. 381. P. 125–138.
3. Microstructure and mechanical properties of nanomultilayered AlTiN/Cu coatings prepared by a hybrid system of AIP and PDCMS / H. Mei [et al.] // Ceramics International. 2022. Vol. 402. P. 126-139.
4. Gas flow control system in reactive magnetron sputtering technology / I.M. Klimovich [et al.] // Instruments and measurement methods, 2015, vol. 6, no. 2, P. 139–147.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕРВИСОВ

К. А. Васильцов, Д. Н. Казеко

kirillvas61@gmail.com, rct.kazeco@bsu.by;

Научный руководитель — А. А. Спиридонов, старший преподаватель

В данной работе проведено моделирование различных конфигураций группировок малых космических аппаратов (МКА) с целью нахождения оптимальной конфигурации для обслуживания региональных сервисов.

Ключевые слова: орбитальное движение; группировки спутников; малый космический аппарат; наземная станция приема.

Группировки низкоорбитальных спутников стали значимым направлением в современных космических исследованиях, что обусловлено растущим спросом на глобальное покрытие связью и повышением доступности услуг в различных регионах мира [1, 2]. В ходе данной работы была разработана математическая модель расчета основных параметров группировок МКА, расположения наземных станций приема (НСП).

В работе рассмотрено формирование сети НСП студенческих радиостанций для приема данных с группировки МКА Spire Global со средней высотой орбит спутников 550 км и наклонениями i : 97,5; 82,9; 49,9 и 36,9 градусов [1]. Для начала оценивалось время приема данных Δt группировки одной станцией, находящейся в городе Минск (53,9° С.Ш. 27,6° В.Д.), как показано в табл. 1. В качестве устройств слежения за спутниками использовались антенны с поворотным устройством способные следить за МКА. Это позволяет увеличить зону радиовидимости МКА и снизить их количество в сети.

Таблица 1

Общее время приёма аппаратов для одной НСП

$i, ^\circ$	97,5°	82,9°	49,9°	36,9°
$\Delta t, \text{мин}$	36,25	36,5	40,8	26,8

Для увеличения общего времени приема данных с группировки были выбраны новые станции приема в следующих городах: Челябинск

(55,1° С.Ш. 61,4° В.Д.), Красноярск (56,0° С.Ш. 92,8° В.Д.) и Грозный (43,3° С.Ш. 45,7° В.Д.). Выбранные три города (Минск, Челябинск, Красноярск) имеют близкие значения широты и разнесены по долготе с учетом полученного угла зоны радиовидимости на 37°. Положение четвертой станции (Грозный) было выбрано на 10° ниже по широте, для обеспечения приема МКА с наклоном больше 24°, вместо 34° первоначальных, также такое расположение станции увеличивает время приема МКА и для аппаратов с полярными наклонами. Полученное пересечение зон радиовидимости можно использовать для корректировки данных орбиты аппарата с помощью получения общих данных из совместной зоны радиовидимости. Время приема МКА данной конфигурацией наземных станций за сутки для каждого наклона группировки Spire Global представлено в табл. 2.

Таблица 2

Общее время приёма аппаратов для сети НСП

$i, ^\circ$	97,5	82,9	49,9	36,9
$\Delta t, \text{ мин}$	71,3	72,3	140,9	123,25

Таким образом, общее время приема спутников группировки увеличилось для наклонов: 97,5 на 96%, для 82,9 на 98%, для 49,9 на 245%, для 36,9 на 360%. Сеть наземных станций можно расширять, привлекая партнёров Белорусского государственного университета из России, что позволит увеличить зоны радиовидимости, общее время спутников и резервировать каналы связи с МКА группировки.

Рассмотрим формирование группировок МКА для сбора данных или региональных сервисов с ключевым параметром максимальным временем прерывания радиосвязи НСП со спутниками не более 50 мин. Этот параметр позволяет оценить время отсутствия спутников над определенной территорией, что критически важно для обслуживания тех или иных региональных сервисов [3]. Для моделирования пролетов спутников использована модель невозмущенного движения спутников. Координаты НСП 53,9° С.Ш. 27,6° В.Д. (г. Минск), минимальный угол места (элевации) 5°, временной интервал моделирования 24 часа, расчет позиций МКА каждые 5 секунд. В работе использована орбита студенческого спутника BSUSAT-1, как опорная орбита для создания группировки МКА.

При моделировании группировок МКА рассмотрены две конфигурации. Первая конфигурация группировки низкоорбитальных спутников с варьированием долготы восходящего узла Ω , вторая – с

варьированием и равномерным распределением средней аномалии M . Методика построения такова: путем добавления спутника N в группировку рассчитывалась динамика изменения максимального времени прерывания радиосвязи НСП со спутниками Δt (табл. 3).

Таблица 3

Результаты моделирования группировок

N	1	2	3	4	5	6	8
Δt_{Ω}	11:13:55	08:55:50	03:23:15	02:41:15	01:32:45	01:24:35	01:05:20
Δt_M	11:13:55	10:27:55	10:12:50	10:05:20	10:00:55	09:58:00	09:44:25

Как видно по графику (рис.) кривой a , оптимальным числом орбит спутников, при разнесении по долготе восходящего узла является 5, при этом угловое расстояние между соседними орбитальными плоскостями составило $\Delta\Omega = 72^\circ$. При добавлении новых аппаратов в модель изменения максимального интервала времени, отсутствия радиосвязи не наблюдается. Для кривой b (рис.), оптимальным числом спутников на орбите, при разнесении по средней аномалии является 3, при этом угловое расстояние между соседними МКА в одной орбитальной плоскости составило $\Delta M = 120^\circ$. Оценив временные интервалы для одного и трех МКА при разнесении их по средней аномалии, очевидно, что такая конфигурация группировки спутников нецелесообразна.

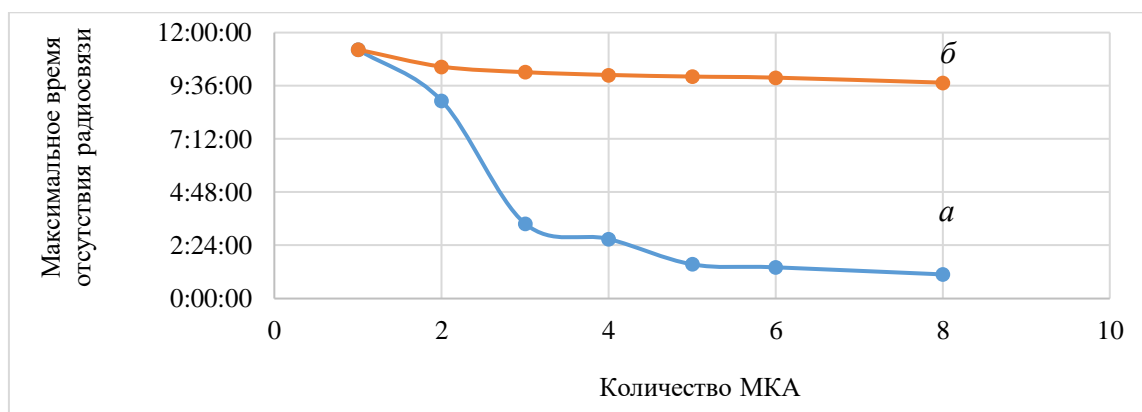


График зависимости максимального времени отсутствия радиосвязи от количества спутников: a – разнесение по долготе восходящего узла Ω , b – разнесение по средней аномалии M

Была предложена третья конфигурация группировки МКА, комбинированная, с разнесением спутников по долготе восходящего узла и средней аномалии. 5 орбит спутников были разнесены по долготе восходящего узла на угол $\Delta\Omega = 72^\circ$, затем в каждой орбитальной

плоскости равномерно разносились МКА по средней аномалии. Рассмотрены три конфигурации группировки (табл. 4): 5-1 (5 орбит по 1 спутнику), 5-2 (5 орбит по 2 спутника), 5-3 (5 орбит по 3 спутника) (табл.4). Оптимальной группировкой МКА является 5-3, с максимальным временем прерывания радиосвязи НСП со спутниками 47 мин 55с, что не превосходит максимальный интервал времени прерывания радиосвязи НСП со спутниками.

Таблица 4

Результаты моделирования комбинированной конфигурации

Количество спутников/ Группировка	5/5-1	10/5-2	15/5-3
Максимальное время отсутствия радиосвязи	1 ч 32 мин 45 с	1 ч 3 мин 0 с	47 мин 55 с

Исходя из результатов моделирования, были выявлены оптимальные группировки для каждой из конфигураций (табл. 5): при разнесении по долготе восходящего узла 5 МКА, $\Delta\Omega = 72^\circ$, при разнесении по средней аномалии 3 МКА, $\Delta M = 120^\circ$, при комбинированной группировке МКА 5 орбит по 3 спутника на каждой.

Таблица 5

Оптимальные конфигурации

Конфигурация группировки	По долготе восходящего узла	По средней аномалии	Комби- нированная
Оптимальная группировка	5 МКА, $\Delta\Omega = 72^\circ$, $M = const$	3 МКА, $\Delta M = 120^\circ$, $\Omega = const$	5-3 (15 МКА), $\Delta\Omega = 72^\circ$, $\Delta M = 120^\circ$
Δt	1ч 32 мин45 с	10 ч 12 мин 50 с	47 мин 55 с

Таким образом, построена модель сети студенческих наземных станций для приема данных с группировки МКА из четырех станций в городах Минск, Челябинск, Красноярск, Грозный. Предложено три конфигурации группировок МКА, выявлены оптимальные для каждой из конфигураций. Показано, что комбинированная конфигурация группировки МКА обеспечивает требуемый ключевой параметр – максимальный интервал времени прерывания радиосвязи НСП со спутниками не более 50 мин.

Библиографические ссылки

1. *Spiridonov A. A., Baranova V. S., Saechnikov V. A., Ushakov D. V.* The regional nanosatellite constellation modelling formation by a piggyback launch from different spaceports // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. 2022. № 2. С. 50–59.
2. *Антилогов В. Р.* Эффективность низкоорбитальных систем спутниковой связи на основе малых космических аппаратов // Технологии и средства связи. 2015. № 4. С. 62–66.
3. *Баранова В. С., Спиридонов А. А. [и др.]* Всенаправленное сканирование орбитальной группировки сверхмалых космических аппаратов// Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы седьмой межд. науч.-практ. конф. 18–19 мая 2023 г. Минск.2023. С. 394–396.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА MODBUS В ДАТЧИКЕ ВЛАЖНОСТИ А315

П. Д. Вольская

polinavolskaya11@gmail.com;

Научный руководитель — В. Г. Семенчик, кандидат физико-математических наук, доцент

Для датчика влажности зерна А315 реализован обмен данными по протоколу Modbus. Алгоритм реализован согласно схеме с объединением протоколов Modbus ASCII и Modbus RTU и протестирован на макете датчика с использованием симулятора Modbus устройств.

Ключевые слова: Modbus ASCII; Modbus RTU; символьный протокол; двоичный протокол; формирование кадра.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из направлений работы предприятия ООО «Аквар-Систем» – разработка систем контроля влажности зерна в процессе его сушки на зерносушильных комплексах или в системах доувлажнения зерна на мукомольных комбинатах.

Для передачи результатов измерения в датчике используется два интерфейса – стандартный аналоговый интерфейс «токовая петля» и цифровой интерфейс Aquarbus, разработанный на предприятии. Интерфейс Aquarbus оптимизирован для работы с другим оборудованием предприятия «Аквар-Систем». В ряде случаев датчики влажности включаются в уже существующую систему управления технологическим процессом, работа которой основана на использовании цифровых интерфейсов, несовместимых с интерфейсом Aquarbus. Это приводит к тому, что потребитель вынужден поддерживать кроме уже используемых им цифровых интерфейсов еще и интерфейс Aquarbus, что, естественно, приводит к усложнению системы в целом [1].

В связи с этим руководством предприятия было принято решение дополнить датчик влажности зерна в потоке широко используемым стандартным интерфейсом Modbus. В настоящее время существует несколько модификаций этого интерфейса. Это Modbus ASCII, Modbus RTU и Modbus TCP.

Целью данной работы является анализ методов программной реализации протоколов Modbus ASCII и Modbus RTU в датчике влажности А315.

ФОРМИРОВАНИЕ КАДРОВ MODBUS

На рисунке 1 показана структура кадра более распространенного режима протокола Modbus – RTU. Максимальное по длине сообщение занимает всего 256 байтов. В режиме RTU для передачи каждого байта необходимо 11 битов. Сам символ – это восемь битов, плюс стартовый и стоповый биты и один бит паритета. Если бит паритета не используется, то вместо него посылается еще один стоповый бит.



Рис. 1. Формат кадра Modbus RTU

Формат сообщения в режиме ASCII, показан на рисунке 2. Преимуществом формата ASCII является то, что сообщения в этом формате могут быть прочитаны человеком. Данные представляются в шестнадцатеричном формате в коде ASCII, откуда и названия режима. Каждый символ ASCII требует всего 7 битов, но каждый байт данных представлен двумя символами [2].

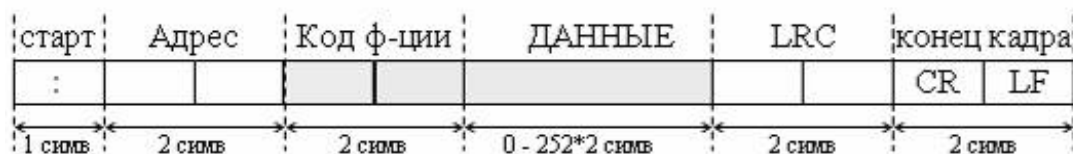


Рис. 2. Формат кадра Modbus ASCII

МЕТОДЫ ОТЛАДКИ ПРОГРАММЫ

Для отладки программы удобно использовать макет, который может принимать данные от симулятора ведущего устройства и обрабатывать их в соответствии с разрабатываемым алгоритмом. Это связано с тем фактом, что датчик влажности зерна А315 имеет закрытую конструкцию, а также довольно массивен и не портативен. Для датчика отсутствуют средства отладки. В то же время, программу, написанную на языке C, легко перенести в датчик.

Написание программы происходило в среде Keil uVision5 – среде разработки, представляющей собой набор утилит для выполнения полного комплекса мероприятий по написанию программного обеспечения (ПО) для микроконтроллеров.

Для отладки также использовался симулятор ведущего устройства Modbus Tools 2020: Modbus Poll v9.4.0. Он позволяет одновременно

контролировать несколько устройств Modbus, поддерживает модификации Modbus ASCII и Modbus RTU и требуемые команды.

ОБРАБОТКА КОМАНД ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В настоящее время в датчике А315 реализованы 102 команды. Каждая команда – это отдельная функция ПО. Часть из этих функций ориентированы на использование протокола Aquarbus. Например, входные параметры многих функций являются строчными переменными. Это удобно для протокола Aquarbus, но представляет некоторую проблему для протоколов Modbus ASCII и Modbus RTU, в которых передаваемые значения представлены или в шестнадцатеричном, или в двоичном виде.

Особенностью данной работы является то, что необходимо модернизировать ПО прибора, не нарушив при этом его нормальную работу. Оптимальным вариантом инкапсуляции является тот, в котором используется один общий дешифратор команд для протоколов Modbus ASCII и Modbus RTU. В основе объединения протоколов лежат две особенности этих протоколов.

Первая – структура команд протоколов Modbus ASCII и Modbus RTU практически одинакова. Отличие в формате передаваемых данных. Протокол Modbus ASCII использует символьный шестнадцатеричный формат, а протокол Modbus RTU – двоичный [2].

Вторая – для вычисления контрольной суммы пакета протокола Modbus ASCII вначале необходимо содержимое пакета привести к двоичному виду. В результате этого преобразования будет получен пакет, эквивалентный пакету Modbus RTU, за исключением контрольной суммы.

В связи с этим возможна реализация следующего алгоритма обработки пакетов протокола Modbus ASCII (рис. 3). Полученный пакет преобразуется к двоичному виду, далее вычисляется и проверяется контрольная сумма в соответствии с правилами протокола Modbus ASCII и, если ошибки не обнаружены, пакет передается на дальнейшую обработку дешифратору команд протокола Modbus RTU. После выполнения команды подтверждение, полученное в двоичном формате, конвертируется в подтверждение протокола Modbus ASCII.

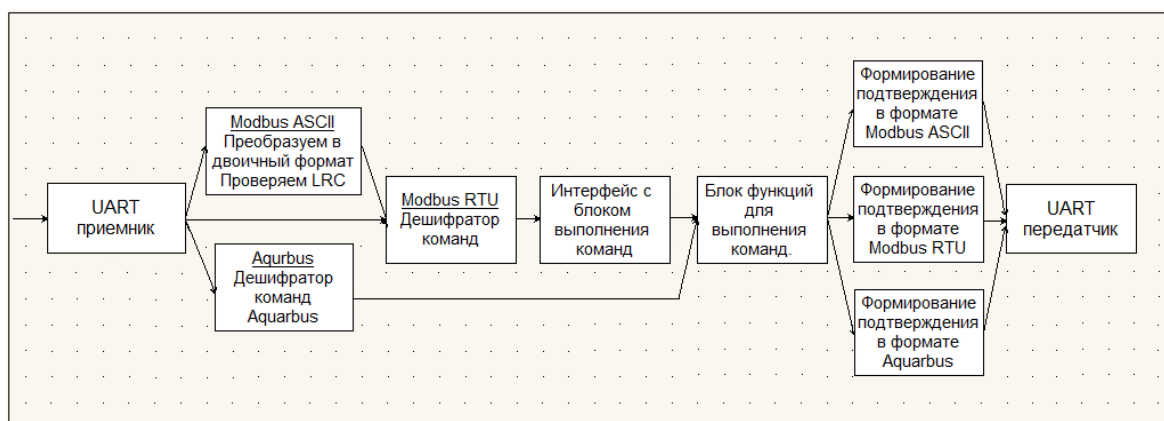


Рис. 3. Структура ПО, с объединением протоколов Modbus ASCII и Modbus RTU

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования предложены методы реализации и отладки протокола Modbus в его модификациях Modbus ASCII и Modbus RTU. Полученные результаты позволяют произвести обновление алгоритма функционирования разработанных ранее датчиков влажности зерна А315.

Библиографические ссылки

1. *Aquar System*. Влагомер зерна в потоке микроволновый А315. Руководство по эксплуатации. 2021. С. 5.
2. Томас Дж. Введение в протокол Modbus. Часть 1 // Современные технологии автоматизации. 2009. С. 52-57.
3. Томас Дж. Введение в протокол Modbus. Часть 2. Modbus Serial и Modbus TCP // Современные технологии автоматизации. 2009. С. 22-26.

БЕСПРОВОДНОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРА ESP32

Е. Д. Золотухо, В. О. Басацкий

staiband2116@gmail.com, forester7251@gmail.com;

Научный руководитель — Н. В. Левкович, старший преподаватель

Предложены программные решения для беспроводного обновления прошивки микроконтроллера ESP32. Разработана программа нижнего уровня, в которой реализован протокол передачи данных между ESP32 и ПК, а также программа верхнего уровня для передачи команд на микроконтроллер. Реализована защита канала связи путём внедрения AES шифрования в программы обеих уровней.

Ключевые слова: обновление прошивки ESP32; протокол связи; таблица разделов.

ВВЕДЕНИЕ

Микроконтроллеры ESP32 могут использоваться на крупных предприятиях или системах умного дома, где они могут быть разнесены по различным труднодоступным местам, причём обеспечение безопасной работы и обновления прошивки может быть весьма важным аспектом в таких случаях, где нарушение производственных процессов может привести к серьёзным последствиям. Разработчик микроконтроллеров ESP32 предоставляет библиотеку для беспроводного обновления программного обеспечения. Недостатками данной библиотеки являются:

- прошивка передается в открытом виде;
- пароль для доступа к режиму обновления передается в открытом виде;
- не поддерживается дозагрузка, в случае обрыва соединения;
- прошивка происходит только через WiFi HTTP соединение через браузер.

Целью работы было расширение возможностей обновления микропрограммы на микроконтроллере ESP32, путем добавления поддержки других интерфейсов связи с использованием шифрования протокола.

Для выполнения работы использовалась отладочная плата LILYGO® TTGO ESP32-Pincounter LoRa32, оснащенная микроконтроллером ESP32-PICO-D4, со встроенными модулями WiFi, Bluetooth. На плате установлены модуль LoRa, USB-разъем, предназначенный для подачи питания на микроконтроллер и его программирования, а также OLED дисплей [1].

Особенности ESP32-PICO-D4:

- WiFi и Bluetooth функционал в миниатюрном SiP корпусе 7×7мм;
- встроенная память 4MB SPI FLASH;
- широкая периферия: ADC, LNA, DAC, SD/SDIO/MMC Host Controller, SPI, SDIO/SPI Slave Controller, EMAC, PWM, LED PWM, UART, I2C, I2S, IR, GPIO;
- аппаратно-реализованные криптографические функции: AES, RSA, SHA-256, RNG [2].

ПРОТОКОЛ ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ

Для передачи данных на микроконтроллер был разработан протокол, структура которого приведена в таблице 1.

Таблица 1

Структура протокола обмена сообщениями

№	Описание поля	Длина поля
1	номер команды	1 байт
2	длина дополнительных данных	2 байта
3	дополнительные данные	0..1024 байта
4	контрольная сумма	2 байта
5	дополнение пакета до размера кратного 16 байтам	0..15 байт

В протоколе используются команды:

- *Код команды 1 – GetID* – запрос названия и версии текущей исполняемой микроконтроллером прошивки в текстовом виде.
- *Код команды 2 – Update* – команда загрузки обновления, разбитого на блоки произвольного размера не более 1024 байт. В пакете запроса передаётся размер прошивки (uint32), смещение текущего записываемого блока относительно начала прошивки (uint32), очередной блок передаваемой прошивки. Микроконтроллер присылает ответ об успешности или неуспешности записи этого блока.
- *Код команды 3 – Restart* перезагружает микроконтроллер.
- *Код команды 4 – GetPartitionTable* – запрос дампа таблицы разделов в текстовом виде. Дополнительные данные в запросе нет.
- *Код команды 5 – GetPartitionData* – запрос бинарного дампа flash-памяти микроконтроллера. В запросе передаётся базовое смещение (uint32) во flash-памяти и размер читаемых данных (uint16). В ответе возвращает запрошенные данные.

В микроконтроллере ESP32 flash-память представлена в виде разделов, которые задаются таблицей. В первом разделе хранится загрузчик, во втором – таблица разделов, остальные разделы могут

использоваться либо для данных, либо для исполняемых прошивок. При загрузке микропроцессора запускается загрузчик, который выбирает какая из прошивок будет выполняться. Перезаписывать можно только тот раздел, который в данный момент не является исполняемым. Команды GetPartitionTable и GetPartitionData использовались для изучения работы таблицы разделов, а также для проверки на правильность при загрузке обновления.

ШИФРОВАНИЕ ПРОТОКОЛА СВЯЗИ

Данные в протоколе связи шифруются алгоритмом AES в режиме ECB (режим электронной кодовой книги) блоками по 16 байт. В микроконтроллере аппаратно поддерживается алгоритм шифрования AES с длинами ключа в 128 бит, 192 бит и 256 бит. Поэтому было необходимо определить с каким из ключей шифрования достигается наилучший баланс производительности и защищенности.

Были реализованы и протестированы алгоритмы с разной длиной ключа. Результаты измерения времени представлены в таблице 2. Как видно из таблицы разница во времени работы алгоритма при различных длинах ключа небольшая и составляет десятые от микросекунды, что позволяет нам сделать вывод, что, выбрав наиболее надёжный ключ в 256 бит мы не потеряем в быстродействии нашей программы, ведь разница во времени шифрования и дешифрования одного блока 16 байт для различных длин ключа составляет лишь 0,5–0,6 мкс.

Таблица 2

Среднее время шифрования блока 16 байт для ключа разной длины

Направление Размер ключа	Шифрование	Дешифрование
128 бит	10.6 мкс	10.6 мкс
192 бит	11.1 мкс	11.1 мкс
256 бит	11.5 мкс	11.5 мкс

На основании выбранного ключа и соответствующего ему времени шифрования и дешифрования можно вывести формулу для подсчёта времени, которое уйдёт на шифрование или дешифрование N байт:

$$t = \left\lceil \frac{11,5 \text{ мкс} \cdot N}{16} \right\rceil, \quad (1)$$

где t – время, которое уйдёт на шифрование или дешифрование N байт, N – размер шифруемого или дешифруемого пакета в байтах.

Можно подсчитать, что время шифрования одного мегабайта данных будет равно 736 мс, что на фоне времени прошивки микроконтроллера в 11 с является не критичным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана программа нижнего уровня для микроконтроллера ESP32, консольная программа верхнего уровня для ПК. Реализовано шифрование протокола связи, обеспечивающее сокрытие передаваемых данных. На текущий момент передача обновления прошивки поддерживается через последовательный порт и через TCP соединение по WiFi. Разработанный протокол связи может использоваться и для UDP соединения, и для соединения через LoRa.

Библиографические ссылки

1. LILYGO® TTGOESP32-PancounterLoRa32 V2.1 1.6 Version 433/868/915 MHZLoRaESP-32 OLED 0.96 InchSDCardBluetoothWIFIModule [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50003&Id=1271&Fid=t3:50003:3(датаобращения: 23.05.2023).
2. ESP32-PICO-D4 Datasheet [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-d4_datasheet_en.pdf(дата обращения: 23.05.2023).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖМОДОВОЙ ДИСПЕРСИИ МНОГОМОДОВЫХ КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫМ СПОСОБОМ

А. А. Каваленя

rct.kavaleny@bsu.by;

*Научный руководитель — А. В. Поляков, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Получено значение межмодовой дисперсии многомодового кварцевого градиентного волоконного световода рециркуляционным способом, при этом относительная погрешность измерений не превышала 2 %. Рассчитаны такие характеристики волокна как параметр профиля показателя преломления, форма распределения показателя преломления вдоль сердцевины волокна, число распространяющихся мод.

Ключевые слова: многомодовое оптическое волокно; межмодовая дисперсия; рециркуляционный способ; характеристики градиентного волокна.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на широкое распространение в настоящее время одномодовых волоконных световодов, применение многомодовых оптических волокон (ОВ) не утратило свою актуальность в локальных сетях передачи данных конечному потребителю в том случае, когда длина волоконного световода не превышает нескольких километров. Одним из основных параметров, ограничивающих информационную пропускную способность таких систем, является дисперсия. При эксплуатации многомодовых ОВ часто стоит задача определения их дисперсионных параметров в том случае, когда отсутствуют паспортные данные. Традиционно для определения межмодовой дисперсии используют метод регистрации уширения оптического импульса. Однако данный метод неприменим при исследовании коротких волоконных световодов с длинами от десятков до несколько сот метров.

РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

В данной работе для определения среднеквадратического значения межмодовой дисперсии σ_m (являющейся доминирующей в многомодовых волокнах) в ОВ длиной (10–500) м был использован рециркуляционный способ [1], основанный на изменении частоты рециркуляции одиночного импульса при относительном смещении торцов исследуемого и короткого (длиной 1–2 м) зондирующего ОВ. Для экспериментов использовался волоконно-оптический датчик (ВОД) на основе оптоэлектронной рециркуляционной системы (ОЭРС) с периодической регенерацией

амплитуды, длительности и формы импульсов на каждом цикле рециркуляции. В данной схеме частота рециркуляции однозначно определяется суммой задержек во всех элементах контура. Принцип измерения заключается в следующем. Измеряемый отрезок многомодового волокна жестко закреплен. Один конец короткого (~ 1 м) зондирующего ОВ смещается в радиальном направлении относительно оптической оси с помощью микрометрического устройства, а другой конец соединен с фотоприемником. Воздушный промежуток между торцами ОВ является селектором пространственных мод. При совпадении оптических осей ОВ частота рециркуляции максимальна, поскольку на приемный блок попадают "быстрые" лучи, распространяющиеся вдоль оптической оси. В результате относительного смещения торцов волокон происходит пространственная селекция мод многомодового ОВ и наблюдается уменьшение частоты рециркуляции, поскольку период циркуляции определяется уже более "медленными" модами, распространяющимися под углом к оптической оси. Поскольку диаметр сердцевины зондирующего ОВ является достаточно небольшим (для одномодового ОВ 9 мкм), это обеспечивает повышенную селективность мод. Таким образом, регистрируя изменение частоты рециркуляции и зная длину ОВ, можно оценить величину σ_m .

Для исследуемого волокна выражение для расчета величины смещения имеет вид:

$$\Delta l = \frac{S}{\sqrt{\left(\frac{1}{NA}\right)^2 - 1}}, \quad (1)$$

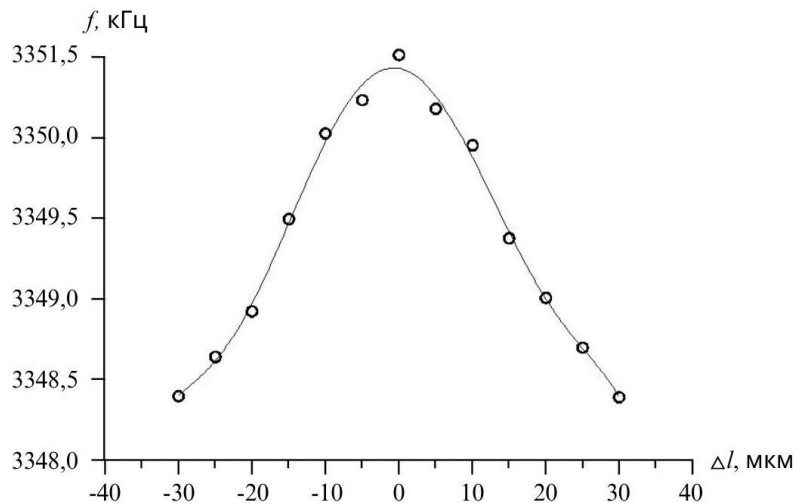
где NA – числовая апертура ОВ.

Согласно выражению (1), при воздушном зазоре между торцами волокон $S=150$ мкм, для того чтобы пространственные моды, выходящие из исследуемого ОВ под критическим углом, попадали на оптическую ось зондирующего ОВ, необходимо сместить его на 30 мкм относительно оптической оси.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. представлена экспериментальная зависимость изменения частоты рециркуляции от величины смещения для многомодового кварцевого градиентного ОВ длиной 52 м на длине волны 0,825 мкм.

Можно видеть, что при совпадении оптических осей волокон средняя частота рециркуляции для времени измерения частотомера 1 с и снятии семи экспериментальных значений для каждой точки, равнялась $f_0=3350516$ Гц. При относительном смещении оптических осей ОВ на $\Delta l=30$ мкм частота рециркуляции уже составляла $f_1=3348416$ Гц, а изменение частоты рециркуляции равнялось $\Delta f \approx 2100$ Гц.



Зависимость частоты рециркуляции ВОД от величины смещения торца зондирующего ОВ относительно оптической оси

Межмодовая дисперсия вычислялась по формуле:

$$\sigma_M = \frac{0,425}{L} \left(h_M \left[\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_0} \right] \right), \quad (2)$$

где длина ОВ измерялась в километрах, а h_M определяла ту часть изменения частоты рециркуляции, которая обусловлена межмодовой дисперсией.

Рассчитанная по формуле (2) с использованием данных на рис. межмодовая дисперсия в нашем эксперименте составляла величину $\sigma_M = 1,190 \pm 0,012$ нс/км. Это соответствует ширине полосы многомодового ОВ $357,1 \pm 3,4$ МГц·км. Экспериментально полученная величина полосы пропускания ОВ хорошо совпадала с паспортным значением исследуемого волокна 350 МГц·км для данной длины волны. Относительная погрешность измерений межмодовой дисперсии не превышала 2%. Данная методика позволяет определять межмодовую

временную дисперсию многомодовых ОВ как с градиентным, так и со ступенчатым профилем показателя преломления.

Дисперсионные свойства многомодовых градиентных ОВ сильно зависят от параметра профиля показателя преломления α и могут различаться на несколько порядков [2]. Для минимизации межмодовой дисперсии при изготовлении волокон обычно стремятся сделать величину α близкой к 2, что соответствует минимальной межмодовой дисперсии, однако в процессе производства ОВ для различных образцов значения α , как правило, отклоняются от оптимальной величины. Известно [2], что среднеквадратическая межмодовая дисперсия σ_m для данной длины волны связана с параметром α следующими соотношениями:

$$\sigma_m = \frac{LN_0\Delta}{c} \left[\frac{C_1^2\alpha^2}{(\alpha+2)(3\alpha+2)} + \frac{C_1C_2\alpha^2\Delta}{(\alpha+2)(2\alpha+1)} + \frac{C_2^2\alpha^2\Delta^2}{(\alpha+2)(5\alpha+2)} \right]^{1/2},$$

$$C_1 = (\alpha - 2 - 4\delta) / 2(\alpha + 1); C_2 = (3\alpha - 2 - 8\delta) / (3\alpha + 2), \quad (3)$$

$$\Delta = (n_0^2 - n_1^2) / 2n_0^2; N_0 = n_0 - \lambda \frac{dn_0}{d\lambda}; \delta = -\frac{n_0}{2N_0} \frac{\lambda}{\Delta} \frac{d\Delta}{d\lambda},$$

где зависимость показателя преломления от длины волны описывается трехчленной формулой Селмейера.

Подставляя в формулы (3) полученное значение σ_m и решая обратную задачу нашли, что для исследуемого волокна с $n_0=1,475$ и $n_1=1,465$ (числовая апертура $NA=0,17$) величина α равнялась 2,12. Для полученного значения α -профиля показателя преломления рассчитаны зависимость распределения показателя преломления вдоль сердцевины градиентного многомодового волоконного световода и количество распространяющихся мод, равное 274.

Библиографические ссылки

1. Поляков А. В., Чубаров С. И. Определение дисперсионных характеристик многомодовых оптических волокон рециркуляционным способом // Датчики и системы. 2002. № 3. С. 12–15.
2. Гауэр Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989. 501 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА НА ОСНОВЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА TELEGRAMБОТА

К. О. Коваленко

kiril.kovalenko.79@gmail.com;

Научный руководитель — Ю. А. Бондаренко, старший преподаватель

Интернет-магазины в Telegram предоставляют удобную возможность продажи товаров и услуг внутри мессенджера. Они позволяют создавать каталоги с описаниями и ценами, оформлять заказы и оплачивать их прямо в Telegram. Пользователи могут получать уведомления о новых поступлениях и акциях, взаимодействовать с продавцом через чат-бот, а также использовать интеграции с другими сервисами для упрощения управления магазином. Это особенно полезно для небольших бизнесов, которым необходим простой и эффективный способ продажи онлайн. В данной работе была реализована лишь малая часть всех возможностей мессенджера: взаимодействие пользователей с чат-ботом, просмотр списка товаров, а также деталей каждого по отдельности, оформление заказа и оповещение об успехе. Для осуществления такой функциональности был разработан веб-интерфейс при помощи библиотеки React [1], RESTAPI на основе фреймворка NestJS [2], включенного в него Telegraf модуля для взаимодействия с Telegram API [3].

Ключевые слова: интернет-магазин; веб-интерфейс; React; NestJS; TelegramAPI; чат-бот; MongoDB.

ВВЕДЕНИЕ

Встроенные веб-приложения в Telegram ботах позволяют разработчикам создавать динамические и интерактивные интерфейсы для взаимодействия с пользователями. Они могут добавлять функциональность, используя JavaScript, что открывает широкие возможности для создания различных приложений в Telegram, включая опросы, формы заполнения, каталоги товаров, бронирование услуг и многое другое, также могут использовать AJAX-запросы для обмена данными с сервером без перезагрузки страницы, что позволяет создавать более динамические и отзывчивые интерфейсы. Веб-приложения могут быть интегрированы с помощью API Telegram, который предоставляет различные методы для взаимодействия с ботами, такие как отправка и получение сообщений, обработка команд, сохранение данных и многое другое. Они также могут использовать эти методы для взаимодействия с пользователями и обеспечения нужной функциональности. Такой подход крайне удобен, поскольку пользоваться веб-приложениями можно внутри

чата, без необходимости переключаться на отдельные веб-страницы или приложения.

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ

Выбор инструмента для создания клиентской части приложения пал на React – это популярная JavaScript-библиотека, используемая для разработки пользовательского интерфейса веб-приложений. Ее удобство проявляется в следующем: основана на компонентном подходе, применяет однонаправленный поток данных, может быть дополнена другими инструментами и библиотеками.

Оптимальным вариантом для создания серверной части стал NestJS–фреймворк для разработки серверных приложений на TypeScript. Он основан на архитектурном стиле MVC (Model - View - Controller) и принципах Dependency Injection, что обеспечивает легкость в организации кода и управлении зависимостями. Модульность является важной частью NestJS, позволяя разделять функциональность и повторно использовать код. Фреймворк поддерживает TypeScript, что обеспечивает статическую типизацию и улучшает надежность кода.

В качестве базы данных использовалась документоориентированная MongoDB – высокопроизводительная и гибкая система управления базами данных, обеспечивающая масштабируемость, поддержку индексов, возможности запросов, репликацию, горизонтальное разделение данных (шардинг), поддержку различных языков программирования и богатую экосистему инструментов. Она удобна для разработчиков, позволяя легко адаптировать данные, обеспечивать эффективный доступ к ним, обрабатывать большие объемы информации.

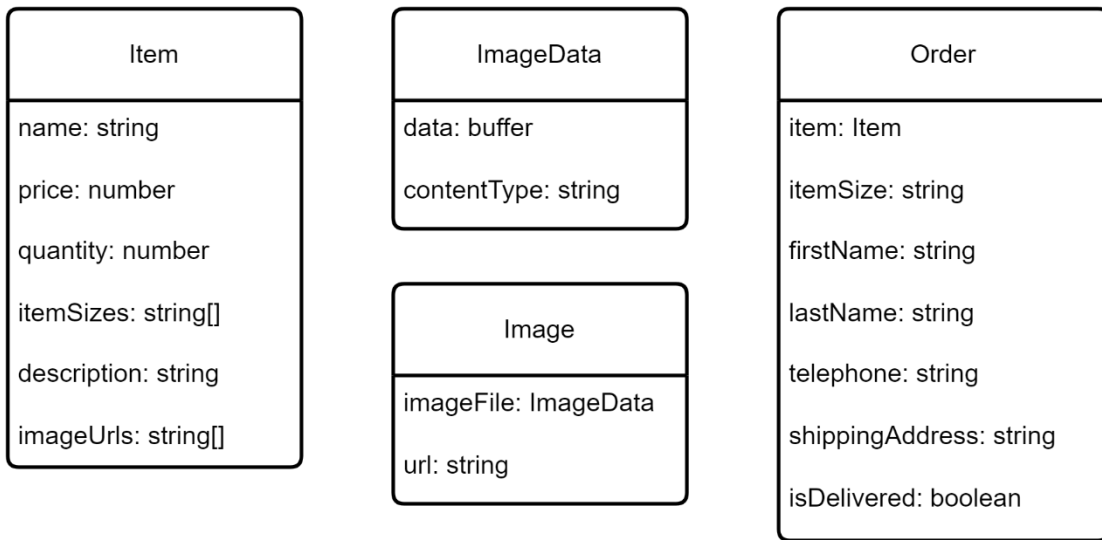
В дополнение к этому, приложение интегрировано в широко используемый мессенджер Telegram для удобного доступа к интернет-магазину. Взаимодействие осуществляется посредством Telegram API, который требует регистрации чат-бота через BotFather и получения уникального API-токена для последующей работы.

СХЕМЫ СУЩНОСТЕЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Так как используемой базой данных является документоориентированная MongoDB, то данные хранятся в виде JSON (JavaScript Object Notation) объектов, схемы которых представлены на рисунке.

Покупаемой единицей в интернет-магазине является «Item». Изображения товаров хранятся в базе данных в формате Base64, поэтому для упрощения нужны две сущности: «ImageData», в поле *data* которой помещена картинка в формате *buffer*, и «Image», в поле *imageFile* которой

вложен документ «ImageData». В соответствии со схемой «Order», в которую вложен «Item», хранятся заказы.



Схемы сущностей базы данных

КЛИЕНТСКАЯ ЧАСТЬ

Были определены пути и страницы, которые по ним открываются: «MarketPage» по пути «/», «ItemDetailsPage» по пути «/item-details/:id», «OrderPage» по пути «/order/:id», где вместо параметра *id* в обоих случаях подставляется уникальный идентификатор (*id*) товара.

При загрузке страниц отправляются запросы на сервер для получения данных о товарах, так как эта процедура повторяется достаточно часто, был написан hook «useFetch» (функция параметром принимающая *url*, то есть адрес, по которому будет отправляться GET запрос и возвращающая преобразованный в JSON объект ответ от сервера), который переиспользуется в разных компонентах.

При помощи props (сокращение от «properties», механизм передачи данных от одного компонента к другому) данные попадают, например, в компонент «Item» и далее отображаются на странице.

Таким образом веб-приложения собирается в единое целое, образуя иерархическую структуру. Это позволяет создавать сложные пользовательские интерфейсы, разбивая их на более мелкие и управляемые компоненты.

СЕРВЕРНАЯ ЧАСТЬ

Задачи сервера на NestJS: валидация, маршрутизация и обработка HTTP-запросов, формирование соответствующих HTTP-ответов, интеграция с базой данных, инициализация Telegram бота.

Так как серверное приложение имеет модульную структуру, то все части необходимо собрать в AppModule (главный модуль, который определяет структуру и зависимости приложения): с помощью пакета Telegraf и токена инициализирован бот, пакета Mongoose подключен удаленный кластер базы данных MongoDB, также Items Module, Image Module, Orders Module и Bot Update (модуль, где прописаны шаблоны, отвечающие за взаимодействие с ботом).

Секретные переменные окружения хранятся в .env файле и подтягиваются при сборке проекта, чтобы злоумышленники не смогли легко получить доступ к ним.

Результатом разработки серверной части является REST API, предоставленный для клиентов, а также чат-бот и шаблоны для взаимодействия с ним.

ВЫВОДЫ

Интернет-магазин, разработанный на основе веб-интерфейса Telegram ботас использованием React, NestJS и Telegram API, предоставляет удобную и интегрированную платформу для пользователей, где они могут заказывать товары и взаимодействовать с магазином, не покидая Telegram. Интеграция с Telegram API обеспечивает возможность взаимодействия через интерфейс чат-бота, а React и NestJS предоставляют реактивность, безопасность и простоту разработки как клиентской, так и серверной частей. Этот проект является результатом эффективного использования современных технологий и может быть дальше расширен и развит для улучшения функциональности и удобства пользователей.

Библиографические ссылки

1. React – JavaScript-библиотека для создания пользовательских интерфейсов [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.legacy.reactjs.org> (дата обращения: 30.05.2023).
2. NestJS – a progressive Node.js framework [Электронный ресурс]. URL: <https://nestjs.com> (дата обращения: 31.05.2023).
3. Telegram API docs [Электронный ресурс]. URL: <https://core.telegram.org/bots> (дата обращения: 03.06.2023).

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ *SAD* ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЙ ОБЛАСТЯМ ВЫСОКОЙ ОДНОРОДНОСТИ

К. Д. Колесников

kolesnikovkirilld@gmail.com;

Научные руководители — Н. Н. Яцков, кандидат физико-математических наук, доцент; О. Ф. Ковалев, старший преподаватель

В работе предложена модификация алгоритма оконного сопоставления стереоизображений *SAD* с использованием процедур адаптации и локализации. Данная модификация решает одну из главных проблем стереозрения – нахождение соответствия между областями высокой степени однородности. Работоспособность подтверждается на примерах обработки наборов стереоизображений.

Ключевые слова: стереозрение; карта глубины; адаптивный алгоритм; однородные области; оконное сопоставление стереоизображений.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом увеличивается интерес к робототехнике, появляются новые технологии, позволяющие создавать сложных и мультифункциональных роботов. Одним из простейших способов практической реализации зрения роботов является использование цифровых камер. Однако стандартные цифровые камеры производят двумерные изображения, не позволяющие определить расстояние от точки съёмки до объектов на изображении. Для определения расстояний используются методы кибернетики, а именно – стереозрения. В общем случае сложно получить точную матрицу расстояний объектов до точки съёмки (часто ее называют картой глубины), что обусловлено наличием окклюзий, отсветов, а также однородных областей.

Для построения карты глубины используются локальные и глобальные методы. Локальные строят карту по частям, глобальные – оптимизируют карту целиком. Достоинствами локальных алгоритмов является скорость, а глобальных – точность. Локальные подразделяются на корреляционные – *SAD*, *SSD*, *NCC*, *CT* (аббревиатуры указывают на используемую метрику сходства областей или преобразование, *SAD* – сумма абсолютных отклонений, *SSD* – сумма квадратов отклонений, *NCC* – нормализованная кросс-корреляция, *CT* – преобразование переписи) и на методы, учитывающие особенности изображений, среди них – *HCD* (алгоритм детекции углов Харриса), *SIFT* (масштабно-инвариантное преобразование особенностей), *SURF* (ускоренный алгоритм надежного

нахождения особенностей). В классических локальных методах не предусмотрен механизм работы с областями высокой однородности [1].

Из вышеперечисленных методов самым простым в программной реализации, надежным и вычислительно эффективным является метод SAD[2]. Наиболее точным, но также и высоко затратным считается метод на основе нейронных сетей (к примеру, Module Net) [3].

В работе предложена модификация метода SAD, основанная на использовании вычислительных процедур адаптации и локализации, позволяющая повысить точность сопоставления однородных областей.

МЕТОДОЛОГИЯ

Идея разработанного алгоритма состоит в адаптивном растяжении областей, для которых ищется соответствие, при их невысокой контрастности. Для оценки порога сохранения информативности в процедуре растяжения применен механизм локализации. В качестве меры контрастности (однородности) области и значения порога используется средне-квадратичное отклонение (СКО) распределения яркости пикселей на изображении. Для повышения точности и увеличения быстродействия предполагается, что стереопара (далее рассматривается как изображение слева и справа) горизонтально ректифицирована – это позволяет ограничить область поиска соответствий до, как минимум, четверти ширины изображения. Для дальнейшей локализации области поиска определяется аргумент максимума корреляционной функции стереопары, с некоторым весовым коэффициентом он принимается за максимальное отклонение объектов на первом изображении от их аналогов на втором.

Алгоритм:

- 1) Вычислить корреляционную функцию изображений стереопары
- 2)

$$R(\tau) = \frac{\sum_{x,y \in I} (I_1(x,y) - \bar{I}_1)(I_2(x-\tau,y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y \in I} (I_1(x,y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x,y \in I} (I_2(x-\tau,y) - \bar{I}_2)^2}}, \quad (1)$$

где I_1, I_2 – первое и второе изображение стереопары, $\tau \in [-N/4; N/4]$ – компенсация сдвига камеры, N – ширина изображения, \bar{I}_1 и \bar{I}_2 – средние значения яркости пикселей на изображениях.

Определить максимум $\max(R(\tau))$ и аргумент $\operatorname{argmax}(R(\tau))$.
Максимальное отклонение принимается равным:

$$MD = \frac{EC}{\max(R(\tau))} \cdot \operatorname{argmax}(R(\tau)), \quad (2)$$

где EC – некоторый весовой коэффициент.

В формуле (2) $\operatorname{argmax}(R(\tau))$ является оценкой среднего отклонения объектов стереопары, $\max(R(\tau))$ характеризует разброс отклонений. Весовой коэффициент подобран равным $EC = 2.2$.

3) Локализовать пороги по СКО. Для этого первое (левое) изображение разделяется на прямоугольные сегменты. Для сегментов вычисляются их СКО, пороги определяются по формуле:

4)

$$AT_{i,j} = AC \cdot \sqrt{\text{СКО}_{i,j}}, \quad (3)$$

где AC – весовой коэффициент, $\text{СКО}_{i,j}$ – значение СКО сегмента $S_{i,j}$.

Квадратный корень в формуле (3) необходим для усиления ограничения растяжения областей в сегментах достаточного контраста. Весовой коэффициент подобран равным $AC = 2.1$.

5) Найти соответствия для областей левого изображения на правом (рис. 1). Для каждой области первого изображения вдоль эпполярной линии (по горизонтали) определить наиболее схожую во втором, ограничивая область поиска рассчитанным максимальным отклонением MD . Модификация корректирует области, которым нужно найти соответствия. После получения базовой области определяется, какому сегменту $S_{i,j}$ она принадлежит, запоминается порог $AT_{i,j}$. Далее область увеличивается влево пока ее контраст не превысит порог, после чего область уменьшается до своей величины на предпоследней итерации.

6) Вычислить карту глубины. Рассчитать по парам соответствующих областей относительные расстояния, заполнить карту глубины.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе рассмотрены три стереопары с наличием однородных областей. Метод был применен со следующими параметрами: количество сегментов – 25, размеры окна сканирования – 7, 5 и 3; значения карты рассчитывались только для неперекрывающихся областей. Для оценки эффективности работы классического и разработанной модификации метода SAD используется максимум корреляционной функции Пирсона между сгенерированной картой и подлинной (R_M).

Результаты анализа стереоизображений двумя методами представлены на рис. 2 и в таблице. Модифицированный *SAD* имеет ряд преимуществ: выше детализация, аккуратная обработка однородных областей (пример – правый верхний угол), а качество карты увеличивается более, чем на 10%. К недостаткам следует отнести возможные дополнительные искажения (в примере часть стола была соотнесена статуэтке), а также относительновысокую вычислительную сложность.

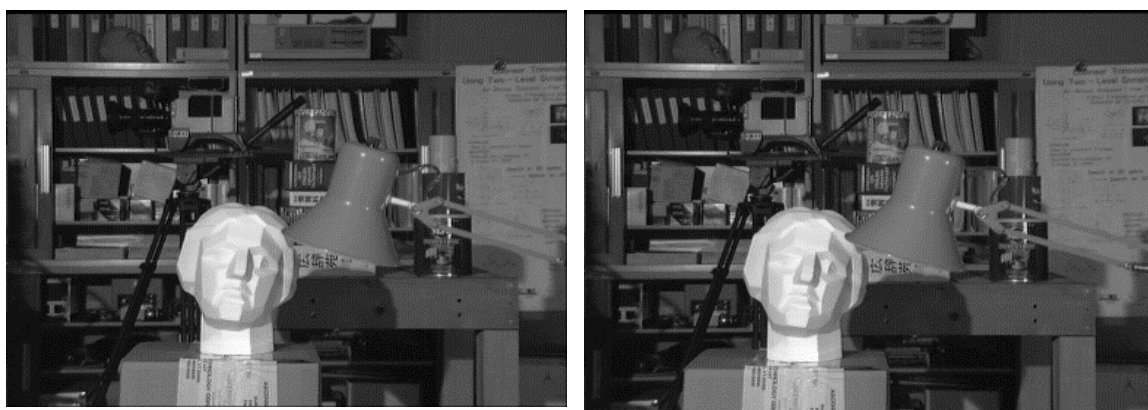


Рис. 1. Пример стереопары (левое и правое изображения)



Рис. 2. а) Визуализация порогов по сегментам (чем выше порог, тем ярче цвет прямоугольника); б) карта глубины полученная классическим *SAD*, в) полученная модифицированным методом *SAD*

Сравнительная характеристика результатов работы методов

Метод	Пример 1		Пример 2		Пример 3	
	Время, с	R_M	Время, с	R_M	Время, с	R_M
Классический метод	3.5	0.40	3.2	0.49	3.7	0.42
Модификация	5.7	0.47	14	0.55	22.1	0.49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена модификация метода *SAD*. Разработанная модификация имеет следующие преимущества в сравнении с классическим *SAD*: позволяет анализировать части изображений низкого

контраста, увеличивает качество карты глубины (при небольших окнах более, чем на 10%) и ее детализацию.

Библиографические ссылки

1. Multi-object detection and tracking by stereo vision / L. Cai [et al] // Pattern Recognition. 2010. Vol. 43. Issue 12. P. 4028-4041.
2. *Liu Y. Local and Global Stereo Methods / Y. Liu, J. Aggarwal // Elsevier eBooks. 2005.P. 297–308.*
3. ModuleNet: A Convolutional Neural Network for Stereo Vision/ O. Renteria [et al]//Pattern Recognition. 2020. P. 219-228.

ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В СТРУКТУРАХ НА БАЗЕ ТОНКИХ СЛОЕВ НИТРИДА КРЕМНИЯ

П. А. Крупенков

pasha.krupenkov1@mail.ru;

Научный руководитель — И. А. Романов, старший преподаватель

В настоящей работе исследованы процессы резистивного переключения и электрофизические свойства мемристорных структур ИТО/SiN_x/Si и Ni/SiN_x/Si. Анализ вольт-амперных характеристик показал, что основными механизмами переноса носителей заряда в исследуемых структурах являются механизм туннелирования между ловушками в нитриде кремния и перенос носителей заряда по проводящим каналам, формирующимся в слоях SiN_x.

Ключевые слова: нитрид кремния; резистивное переключение; мемристор; вольт-амперные характеристики; механизмы проводимости.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с повышением требований вычислительных систем к характеристикам запоминающих устройств, в настоящее время активно разрабатывается новый тип полупроводниковой энергонезависимой памяти – мемристоры [1]. Преимуществами мемристоров перед традиционными элементами флеш-памяти являются: более высокая степень интеграции, большее время хранения информации, радиационная стойкость, низкое энергопотребление [2].

Принцип работы мемристоров основан на переключении между двумя устойчивыми состояниями: состояние с высоким сопротивлением (СВС) и состояние с низким сопротивлением (СНС). Применение нестехиометрического нитрида кремния SiN_x ($x < 1,33$) в качестве диэлектрика, обладающего свойствами резистивного переключения, позволяет решить проблему совместимости мемристоров с традиционной кремниевой микроэлектронной технологией.

В настоящей работе представлены результаты исследования электрофизических свойств структур ИТО/SiN_x/Si и Ni/SiN_x/Si, обладающих эффектом резистивного переключения. Обсуждаются возможные механизмы проводимости в состояниях с низким и высоким сопротивлением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пленки нитрида кремния с избытком кремния (SiN_x) выращены на кремниевых подложках р-типа марки КДБ-10. Пленка SiN_x для структуры ИТО/SiN_x/Si изготовлена методом химического осаждения из газовой фазы при низком давлении из смеси азота (N₂) и моносилана (SiH₄) при

температуре 800 °С. Пленка нитрида кремния для структуры Ni/SiN_x/Si нанесена методом химического осаждения из газовой фазы с индуктивно-связанной плазмой из смеси N₂ и SiH₄ при температуре 350 °С. Термический отжиг структур проводился при температуре 1200 °С в атмосфере аргона в течение 3 минут. Верхние контакты оксида индия-олова (ITO) и никеля (Ni) наносились методом магнетронного распыления. Измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводилось на анализаторе параметров полупроводниковых приборов Agilent B1500 при комнатной температуре.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Толщины слоев нитрида кремния в структурах ITO/SiN_x/Si и Ni/SiN_x/Si, измеренные методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), составили 200 и 53 нм соответственно. Методами РЭМ и резерфордовского обратного рассеяния установлено, что пленка нитрида кремния в структуре ITO/SiN_x/Si имеет высокую неоднородность состава по глубине. Параметр x для этого образца варьируется в диапазоне 0,42 – 0,92. Показатель преломления нитрида кремния в структуре Ni/SiN_x/Si, измеренный методом эллипсометрии на длине волны 632,8 нм, составил 2,5, что соответствует параметру $x \approx 0,92$ [3].

Известно, что нестехиометрический нитрид кремния является диэлектриком с высокой концентрацией дефектов. Среди основных механизмов переноса носителей заряда можно выделить механизм Пула-Френкеля и механизм туннелирования между ловушками [2, 3].

На рис. 1, *a* изображен цикл ВАХ структуры ITO/SiN_x/Si. Стрелками указано направление измерения. Напряжению включения (U_{ON}) соответствует переход из СВС в СНС, напряжению выключения (U_{OFF}) – переходу из СНС в СВС. Путем измерения 70 циклов ВАХ установлено, что значения напряжений включения находятся в диапазоне 12 – 30 В, напряжения выключения – в диапазоне -10 – -25 В.

ВАХ в состоянии с высоким сопротивлением аппроксимированы моделью туннелирования между ловушками (рис. 1, *б*). Концентрации ловушек, определенные для прямой и обратной ветвей, имеют величину близкую к 10^{20} см⁻³, что хорошо согласуется с литературными данными для нестехиометрического нитрида кремния [1 – 3]. Аппроксимация этих ветвей законом Пула-Френкеля дает слишком высокие значения диэлектрической проницаемости слоя SiN_x порядка 25 – 28 [3].

В СНС ветви ВАХ несимметричны. Прямая ветвь аппроксимирована линейной зависимостью тока от напряжения с проводимостью $\sigma = 3 \times 10^{-7}$ Ом⁻¹ см⁻¹. Эта величина близка к проводимости аморфного

кремния. Несимметричность ВАХ и высокая проводимость свидетельствует в пользу того, что проводящий канал формируется из кремния или материала контакта ИТО, проводимость которого на несколько порядков превышает проводимость нитрида кремния [1].

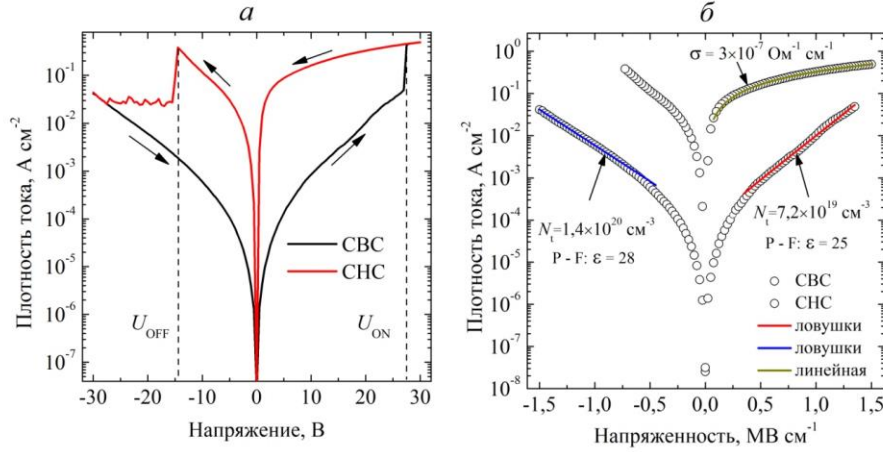


Рис. 1. Один цикл вольт-амперных характеристик структуры ИТО/SiN_x/Si (а); аппроксимация вольт-амперных характеристик структуры ИТО/SiN_x/Si (б)

На рис. 2, представлены вольт-амперные характеристики структуры Ni/SiN_x/Si. Обратные ветви ВАХ аппроксимированы линейными зависимостями с проводимостями $5,7 \times 10^{-5}$ и $15 \times 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Эти величины на 2-3 порядка превышают проводимость предыдущего образца в СНС. Для этого образца предполагается, что и в состоянии с низким сопротивлением и в состоянии с высоким сопротивлением проводимость обусловлена протеканием тока по каналам, сформированным из кремния или никеля. Значения U_{ON} и U_{OFF} для этой структуры составляют 6 и -5 В соответственно.

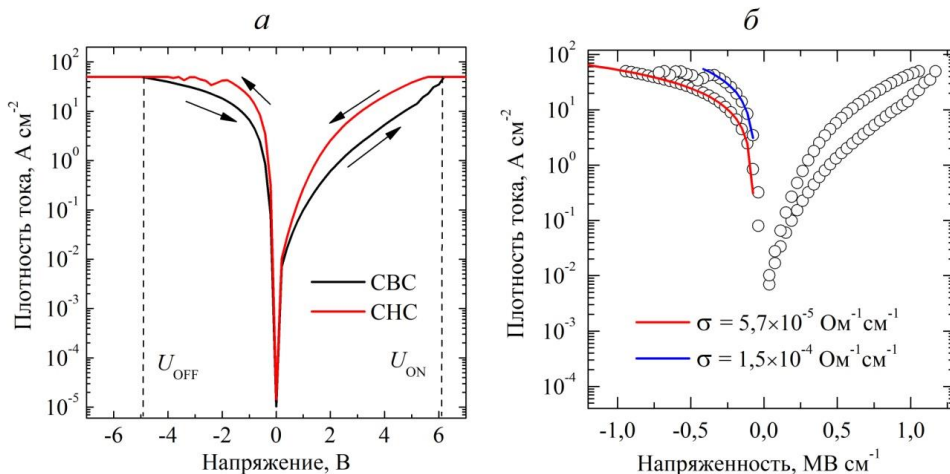


Рис.2. Один цикл вольт-амперных характеристик структуры Ni/SiN_x/Si (а); аппроксимация вольт-амперных характеристик структуры Ni/SiN_x/Si (б)

Формирование проводящих каналов в нашем случае может происходить за счет проникновения атомов из материалов контактов (Si, Sn, In, Ni) в диэлектрический слой SiN_x либо за счет возникновения пробоев между нанокристаллами кремния в матрице SiN_x, сформировавшимися в процессе высокотемпературного отжига. Эффекта резистивного переключения в структурах, не прошедших термообработку, не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По вольт-амперным характеристикам идентифицированы механизмы проводимости мемристорных структур на основе пленок SiN_x.

Установлено, что проводимость структуры ITO/SiN_x/Si в СВС описывается механизмом туннелирования между ловушками в нитриде кремния с концентрацией ловушек $\sim 10^{20}$ см⁻³. В СНС проводимость структуры сравнима с проводимостью аморфного кремния и составляет 3×10^{-7} Ом⁻¹см⁻¹. Обратные ветви ВАХ структуры Ni/SiN_x/Si в СНС и СВС аппроксимированы линейными зависимостями с проводимостями $1,5 \times 10^{-4}$ и $5,7 \times 10^{-5}$ Ом⁻¹см⁻¹. Проводимость структур в СНС объясняется переносом носителей заряда по проводящим каналам в слоях SiN_x.

Библиографические ссылки

1. Мемристорная структура с эффектом переключения сопротивления на основе тонких пленок нитрида кремния / Ф.Ф. Комаров [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 5. С. 403–410.
2. Charge transport mechanism in SiN_x-based memristor / A.A. Gismatulin [et. al.] // Applied Physics Letters. 2019. Vol. 115, N 25. P. 253502(5 p.).
3. Насыров К.А., Гриценко В.А. Механизмы переноса электронов и дырок в диэлектрических плёнках // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, № 10. С. 1099–1114.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ШИНЫ CONTROLLER AREA NETWORK

Д. В. Крупович

KrupovitchDanil@yandex.by;

Научный руководитель — М. А. Павлышко, старший преподаватель

Данная статья посвящена разработке приложения, которое позволяет получать, обрабатывать и анализировать данные, передаваемые по CAN-шине. В статье рассмотрены CAN сеть и её характеристики, протокол SAE J1939, а также структура и описание DBC-файла. Разработка данного программного обеспечения (ПО) имеет практическое значение и большую актуальность, поскольку позволяет мониторить и анализировать состояние CAN-шины в реальном времени, что является важным аспектом в сфере автомобильной промышленности.

Ключевые слова: CAN-шина; протокол SAE J1939; DBC-файл.

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир невозможно представить без компьютерных систем и сетей, которые обеспечивают передачу данных между устройствами и управляют ими. Среди множества различных технологий и стандартов, существующих в области сетей передачи данных, выделяется стандарт CAN (Controller Area Network), который широко применяется в автомобильной и промышленной отраслях.

Цель данной работы – разработать ПО на базе ОС Android, которое позволит получать, обрабатывать и анализировать данные, передаваемые по CAN-шине.

ПРОТОКОЛ CAN

CAN – это протокол связи с высоконадёжной передачей данных по последовательному каналу (шине) в широкополосном режиме. При передаче данных CAN протокол аппаратно обеспечивает формирование сообщения, выполняет передачу данных, осуществляет побитную синхронизацию, выполняет идентификацию сообщения, проводит битстаффинг (механизм разделения сообщений в сети CAN), подтверждает правильность приёма, обнаруживает и исправляет ошибки [1].

Сообщение, используемое CAN узлом, имеет поле арбитража (Arbitration Field) и информационное поле (Data Field), которое может содержать до 8 байтов данных. Кроме того, кадр содержит поле начало кадра (Startof Frame) и конца кадра (Endof Frame), управляющее поле (Control Field), поля контрольной суммы (CRC Field) и поля

подтверждения (ACK Field). Все CAN узлы на шине синхронизируются первым битом поля Startof Frame и далее восстанавливают синхронизацию перепадами битов в кадре [1].

На CAN шине могут передаваться только четыре типа кадров [1]:

- Data Frame кадр данных; используется для передачи данных;
- Remote Frame кадр, используемый для дистанционного запроса данных от удалённого CAN узла;
- Error Frame кадр ошибки; передаётся, когда обнаруживаются ошибки на шине;
- Overload Frame кадр переполнения; передается для задержки передачи пакетов DATA Frame и Remote Frame.

В работе была реализована обработка Data Frame кадра, структура которого представлена на рисунке 1.

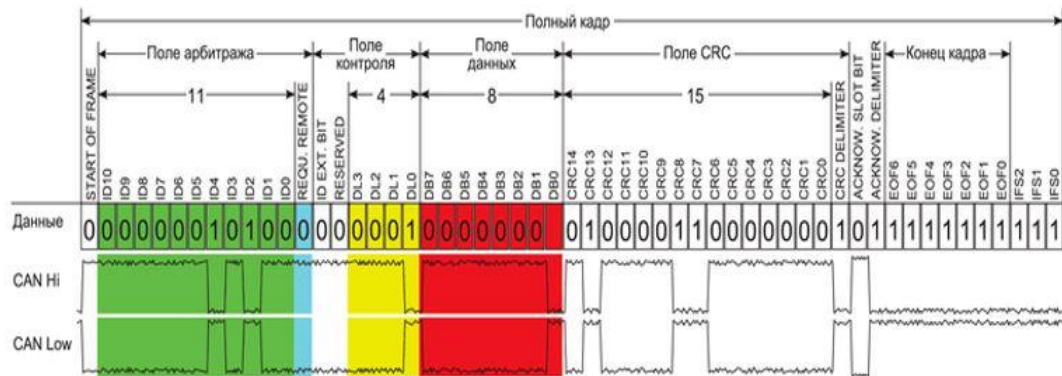


Рис. 1. Структура Data Frame кадра

ПРОТОКОЛ SAE J1939

SAE J1939 – это протокол, разработанный Обществом автомобильных инженеров (SAE) для стандартизации обмена данными между ЭБУ в большегрузных автомобилях. Он определяет, как эти блоки взаимодействуют друг с другом и обмениваются информацией по шине CAN [2]. В данной работе будут обрабатываться и анализироваться сообщения передаваемые по сети с использованием J1939. Сеть, созданная на основе J1939, в качестве канального уровня использует коммуникационную шину CAN. Протокол J1939 имеет набор определяющих характеристик, описанных ниже [3]:

- Поддерживает скорость передачи 250 или 500 Кбит/с;
- Используется расширенный 29-битный идентификатор CAN;
- Сообщения J1939 идентифицируются 18-битными номерами групп параметров (PGN).

DBC - ФАЙЛ

В разработанном программном обеспечении для обработки полученных с шины данных используется DBC-файл, для этого в работе был реализован парсер DBC файлов. DBC (Database File for CAN) – это формат файла, который используется для описания параметров, сообщений и сигналов в сетях CAN для декодирования необработанных данных шины CAN в «физические значения». Информация необходимая для декодирования полученных данных содержится в строках сообщения (Message syntax) и в строках сигнала (Signal syntax) в DBC-файле [4] (рис. 2).

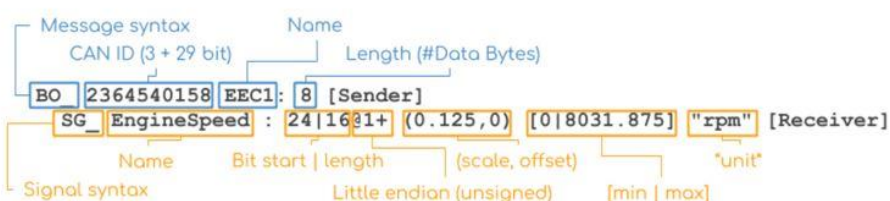


Рис. 2. Структура Data Frame кадра

ОБЗОР РАЗРАБОТАННОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

На рисунке 3 приведены скриншоты разработанного мобильного приложения. В качестве среды разработки для мобильного приложения использовалась Android Studio, а языком программирования был выбран Java. На рисунке 3 представлены обработанные CAN сообщения, а также подробная характеристика идентификаторов этих сообщений.

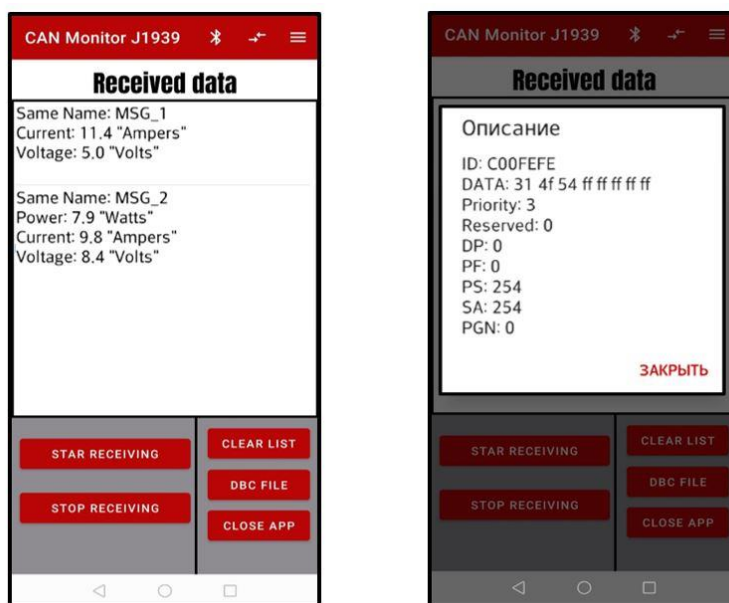


Рис. 3. Скриншоты разработанного мобильного приложения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом выполнения данной работы является разработанное мобильное приложение, позволяющее получать, обрабатывать и анализировать данные, передаваемые по CAN-шине. Также был разработан программный модуль для ESP32, позволяющий получать необработанные данные CAN-шины и отправлять их на Android устройство. Разработанное ПО является актуальным, так как мониторинг состояния CAN-шины является важным аспектом в различных сферах промышленности, в том числе автомобилестроении. Разработанное приложение позволяет анализировать любые CAN-сообщения и протоколы, которые могут быть описаны посредством DBC-файлов, что позволяет использовать разработанное приложение для широкого круга задач.

Библиографические ссылки

1. *С. А. Третьяков*. CAN – локальная сеть контроллеров [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://star.inp.nsk.su/~kozak/canbus/980926_doc-01.pdf. Дата доступа: 04.06.2023.
2. SAE J1939: The Ultimate Guide. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autopi.io/blog/j1939-explained/>. Дата доступа: 05.06.2023.
3. J1939 Explained – A SimpleIntro. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.csselectronics.com/pages/j1939-explained-simple-intro-tutorial>. Дата доступа: 05.06.2023.
4. DBC File Format Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mcu.so/Microcontroller/Automotive/DBC_File_Format_Documentation.pdf. Дата доступа: 06.06.2023.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Е. С. Ласточкина

nikakun181@gmail.com;

Научный руководитель — И. Э. Хейдоров, кандидат физико-математических наук, доцент

В статье рассматривается разработанный программно-аппаратный модуль распознавания голосовых команд на базе платформы Raspberry Pi 4 и скрытой марковской модели.

Ключевые слова: распознавание речи; скрытая марковская модель; голосовое управление; Python; Raspberry Pi.

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание речи – это многоуровневая задача распознавания образов, в которой акустические сигналы анализируются и структурируются в иерархию структурных элементов (например, фонем), слов, фраз и предложений. Каждый уровень иерархии может предусматривать некоторые временные константы, например, возможные последовательности слов или известные виды произношения, которые позволяют уменьшить количество ошибок распознавания на более низком уровне [1, 2].

СТРУКТУРА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

В данной работе использовалась следующая структура распознавания речи.

На вход подается необработанная речь, записанная с высокой дискретизацией (около 20 кГц). Определяются границы речи (данный этап требует наличия детекторов речи, отличающих речь от шума по энергии звукового сигнала). Речевой сигнал разделяется на сегменты, длительностью 10–20 мс, и далее происходит процесс выделения векторов признаков, используемых в распознавании.

Для анализа состава речевых кадров требуется набор акустических моделей. В работе использовалась скрытая марковская модель, которая является моделью состояний [1]. После выбора акустической модели сопоставляются различные акустические модели к каждому кадру речи и выдает матрицу сопоставления последовательности кадров. Для моделей, основанных на состоянии, матрица состоит из вероятностей того, что данное состояние может сгенерировать данный кадр. Далее строится алгоритм модели подготовка обучающих данных, извлечение признаков,

разбиение слов на фонемы, обучение модели). Происходит классификация результатов в соответствии с тем, что мы ожидаем на выходе после распознавания.

В результате работы система распознавания речи выдает последовательность слов, которая, наиболее вероятно, соответствует входному потоку речи.

РЕАЛИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ СЛОВ

Акустическая модель – это функция, принимающая на вход признаки на небольшом участке акустического сигнала и выдающая распределение вероятностей различных фонем на участке [1]. Таким образом можно по звуку восстановить то, что было произнесено.

Была смоделирована марковская цепь для определения оптимального количества скрытых состояний (фонем произнесенных слов "stop" и "start"). На вход подается последовательность [0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1], где 0 – "stop", а 1 – "start". В итоге модель определила 5 скрытых состояний (рис. 1).

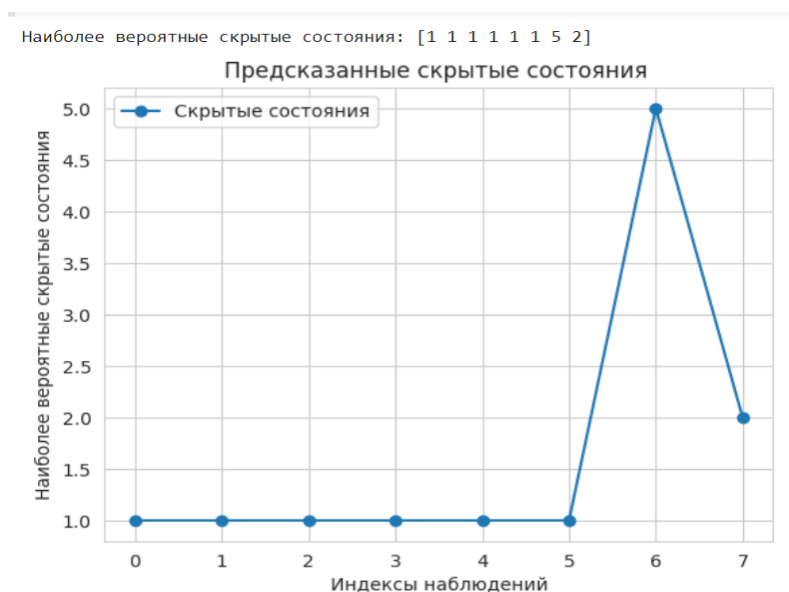


Рис. 1. Результат нахождения оптимального количества скрытых состояний

ВЫБОР АППАРАТНОГО СРЕДСТВА

Для реализации голосового управления был выбран одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 Model B 4GB. Данное устройство предоставляет ряд преимуществ для голосового управления. Raspberry Pi 4 обладает более мощным процессором и большим объемом оперативной памяти по сравнению с другими моделями Raspberry Pi. Встроенный графический процессор обеспечивает высокую производительность обработки видео и аудио. Устройство имеет большое количество портов и интерфейсов.

Raspberry Pi 4 гибок в выборе аппаратного обеспечения, что позволяет его эффективно использовать в распознавании речи и интегрировать в более сложные системы.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД

Алгоритм распознавания реализован при помощи языка программирования Python и его библиотек `numpy`, `scipy.io`, `hmmlearn` и `librosa`. Процесс обучения и предсказания осуществляется следующим образом. Задается скрытая марковская модель с определенным количеством компонент, типом ковариации и числом итераций. Загружаются и обрабатываются обучающие данные. Звуковые файлы из разных категорий (папок) читаются, а затем извлекаются акустические признаки, на которых в дальнейшем модель обучается. Далее загружаются и обрабатываются тестовые файлы (каждого файла извлекаются акустические признаки). Для каждого тестового файла сравниваются оценки каждой обученной модели. Индекс модели с наибольшей оценкой определяет предсказанную метку класса для данного тестового файла. В итоге выводится истинная метка класса и предсказанная метка класса для каждого тестового файла (рис. 2).



```
True: Audio/start
Predicted: Audio\start

True: Audio/start
Predicted: Audio\start

True: Audio/start
Predicted: Audio\start

True: Audio/start
Predicted: Audio\start

True: Audio/start
Predicted: Audio\stop

True: Audio/start
Predicted: Audio\start

True: Audio/stop
Predicted: Audio\start

True: Audio/stop
Predicted: Audio\stop

True: Audio/stop
Predicted: Audio\stop

True: Audio/stop
Predicted: Audio\stop

True: Audio/stop
Predicted: Audio\stop

True: Audio/stop
Predicted: Audio\stop
```

Рис. 2. Результат распознавания голосовых команд "start" и "stop"

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации распознавания голосовых команд была выбрана акустическая модель. Ею является скрытая марковская модель. Ее преимуществом является простота архитектуры по сравнению с другими популярными моделями распознавания (например, нейронными сетями).

Был разработан подход к реализации голосового управления, анализ количества скрытых состояний при помощи марковской цепи. В дальнейшем выявленное количество скрытых состояний использовалось при реализации скрытой марковской модели.

Разработан и реализован программно-технический метод голосового управления для изолированных слов, реализованный на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi 4 с помощью скрытой марковской модели. Разработанный модуль был протестирован на примере аудиозаписей голосовых команд "stop" и "start". Записи различались по длительности, произношению и высоте звука. Результаты показывают, что модуль учитывает данные особенности голосовых команд и успешно их распознает. Таким образом была подтверждена эффективность и надежность разработанного аппаратно-программного модуля на основе метода.

Библиографические ссылки

1. *Рабинер Л.* Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи: Обзор / *Л. Рабинер* // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – М.: Мир, 1989. Т. 77, № 2. С. 86–120.
2. *Огнев И. В.* Предварительная обработка речевого сигнала для построения базы произношений одиночных слов / *И. В. Огнев, П. А. Парамонов* // Информационные средства и технологии: тр. XX Междунар. науч.-техн. конф. – М. : МЭИ, 2012. С. 53–58.
3. *Becchett, C.* Speech Recognition. Theory and C++ Implementation / *C. Becchetti, L. P. Ricciotti*. Wiley, 1999. 428 с.
4. *Rabiner L.* Fundamentals of speech recognition / *L. Rabiner, B.-H. Juang*. – Prentice Hall, 1993. 507 p.

ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАЦИИ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ ПРИ ПРЯМОУГОЛЬНОМ ТОКЕ НАКАЧКИ

Е. А. Лебедева

elizavetalebedeva748@gmail.com;

Научный руководитель — В. М. Стецук, старший преподаватель

Одной из важнейших характеристик полупроводникового лазера является перестройка частоты излучения. Наиболее часто она осуществляется за счет изменения температуры, при которой находится излучатель, или изменением тока накачки. Целью исследования являлось исследование перестройки частоты излучения квантоворазмерных полупроводниковых лазеров при прямоугольном импульсе накачки. Выявлено изменение частоты перестройки при укорочении переднего фронта. Изменения перестройки составили от $2 \cdot 10^{11}$ до $0.63 \cdot 10^{11}$ Гц, при изменении длительности от 350 до 1 мкс. На плоской вершине изменение частоты определяется температурой образца, которая зависит от амплитуды импульса накачки. Максимальная скорость перестройки частоты перестройки достигается в начале плоской вершины.

Ключевые слова: перестройка частоты излучения; интерферометр Майкельсона; прямоугольный импульс накачки; полупроводниковый лазер.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из параметров полупроводникового лазера является спектр генерации. Благодаря такому свойству лазера, как управления спектром генерации, они получили широкое применения в спектроскопии. На практике, чаще всего для регистрации спектра применяют спектрометр с решетчатым дисперсионным элементом. Спектр регистрируется фотоумножителем либо фотоприемником с ПЗС структурой. Регистрация спектра с помощью спектрометров с призмочно решетчатыми дисперсионными элементами позволяют получить усредненный спектр при импульсном излучении лазера [1].

Устройством, позволяющим регистрировать изменения частоты излучения в реальном масштабе времени, является интерферометр. Причем, для получения сигнала пропорционального изменению частоты генерации излучения, необходимо, чтобы разность длин плеч интерферометра ΔL не равнялась нулю. В нашем случае одно из зеркал интерферометра закреплялось на подвижный столик, снабженный микрометрическим измерительным устройством. Одним из вариантов интерферометра является эталон Фабри-Перо. Однако у него отсутствует возможность изменения расстояния между зеркалами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из литературных данных известно, что перестройка частоты генерации чаще всего исследуется с помощью внешних резонаторов Фабри-Перо, а именно твердотельных элементов, именуемых эталонами. [2–5] Данный вид интерферометров является наиболее простым и легко применимым устройством. Однако имеется ряд существенных

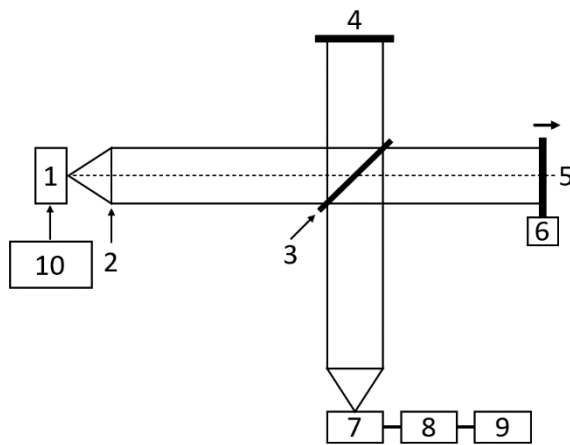


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки для определения изменения частоты перестройки полупроводниковых лазеров при различных типах тока накачки

экспериментальной установки (интерферометра Майкельсона) показана на рис. 1 (1 – полупроводниковый диод, 2 – линза, 3 – светоделительное устройство, 4, 5 – зеркала, 6 – микрометрическая подвижка, 7 – фотоприёмное устройство, 8 – цифровой осциллограф Bordo, 9 – компьютер, 10 – генератор накачки).

Объектом исследования полной перестройки частоты излучения были лазеры с длиной волны $\lambda = 660$ нм, мощностью 50 мВт, производство Южной Кореи QL65J7SA, пороговый ток накачки составлял ~ 55 мА, максимальный ток накачки 105 мА.

недостатков данного устройства. В случае генерации большого количества продольных мод оптическая длина эталона Фабри-Перо чаще всего будет не соответствовать кратному числу оптических длин резонатора лазера, и глубина модуляции сигнала на выходе интерферометра не будет периодической и будет иметь малую амплитуду [6].

С этой точки зрения применение интерферометра Майкельсона позволяющего изменять положение одного из зеркал является более предпочтительным. Блок-схема

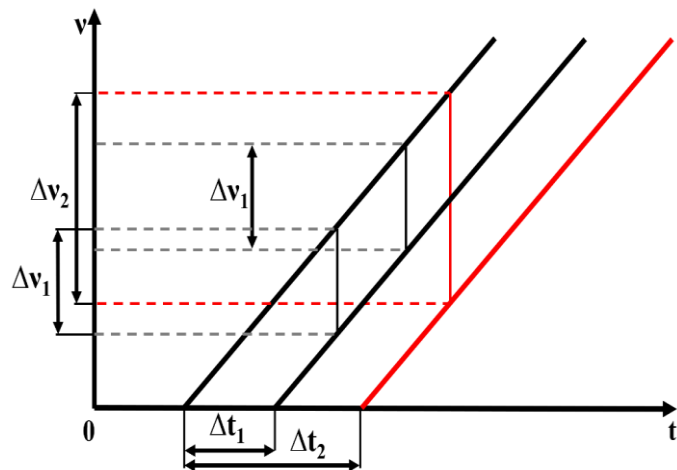


Рис. 2. Получение разностной частоты на выходе интерферометра при наличии временной задержки Δt в одном из плеч и линейном изменении частоты генерации от времени.

На рис. 2 представлены линейные зависимости перестройки частоты генерации лазера на выходе интерферометра. Результатом является появление на входе фотоприёмного устройства сигнала с постоянной частотой $\Delta\nu_1$, которая может изменяться в зависимости от задержки в плечах интерферометра Δt . Графики построены с учетом предположения, что при линейном изменении тока происходит линейное изменение концентрации носителей заряда и показателя преломления. Кратное изменение задержки в плечах интерферометра приводит к аналогичному изменению сигнала на выходе интерферометра $\Delta\nu_2$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте передний фронт прямоугольного импульса накачки модулировался пилообразным импульсом различной длительности. На рис. 3 представлены сигналы на выходе интерферометра при длительности импульса накачки 350 (а) и 1 мкс (б). Из рисунков видно, что количество периодов динамической интерференционной картины на выходе устройства уменьшается с 13 до 8. Это объясняется меньшим температурным нагревом активной области, а следовательно, и меньшей перестройкой частоты генерации.

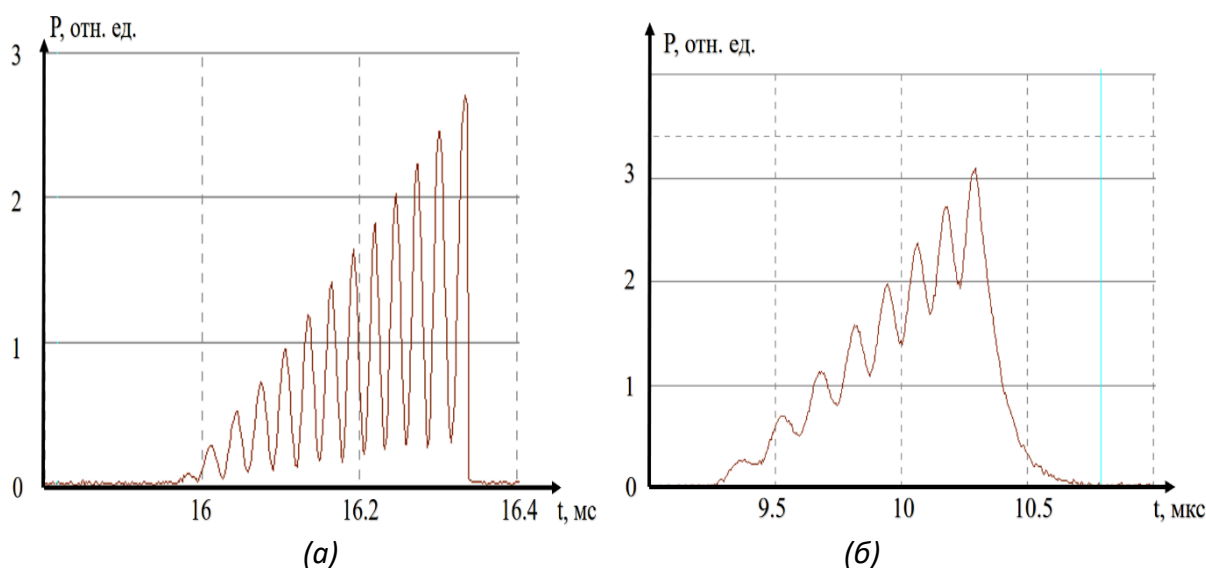


Рис. 3. Сигнал на выходе интерферометра при пилообразном токе накачки полупроводникового лазера при длительности импульса 350 (а) и 1 мкс (б)

При экспериментах с прямоугольным импульсом накачки значение длительности фронта нарастания было менее 100 нс. При этом нагрев кристалла и соответствующая ему перестройка частоты излучения на переднем фронте будет значительно меньше, чем изображенная на рис. 3. б.

На рис. 4 приведены результаты сигнала на выходе интерферометра при токах накачки 60 (а) и 80 мА (б). Данные графики различаются амплитудой и количеством периодов динамической интерференционной картины.

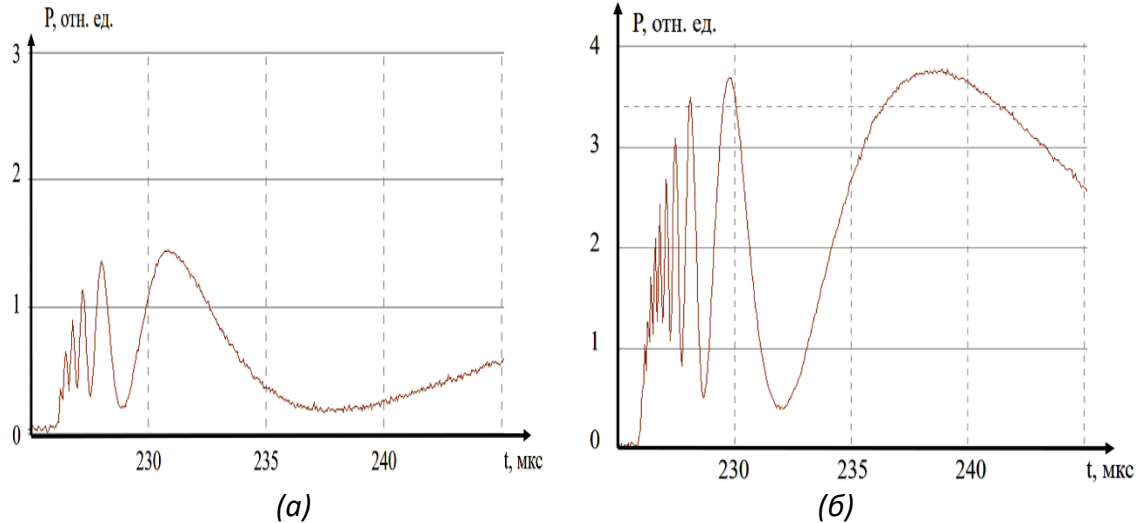


Рис. 4. Сигнал на выходе интерферометра при прямоугольном токе накачки полупроводникового лазера амплитудой 60 (а) и 80 мА (б)

Максимальное изменение частоты генерации происходит в самом начале плоской вершины. Далее эта частота понижается и к концу импульса лазер выходит в режим термодинамического равновесия, и частота перестройки излучения пропадает. Наибольшие частоты перестройки частоты генерации реализуются при больших амплитудах импульса накачки. Изменяя длительность импульса накачки, мы можем управлять импульсным нагревом активной области. Существенный нагрев происходит в начале плоской вершины. В нашем случае временной диапазон этого нагрева составляет ~ 5 мкс. Для лазера, у которых ток накачки существенно превышает 100 мА, временной диапазон нагрева может быть намного больше указанной величины 5 мкс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В случае прямоугольного импульса накачки его можно разделить на следующие участки: первое – фронт нарастания импульса накачки, второе – пологая вершина, третье – фронт спада импульса накачки.

Для первого характерно воздействие на частоту генерации изменения концентрации носителей заряда за счет амплитуды тока и температуры активной области. В случае уменьшения фронта импульса до значений 1 мкс и менее, воздействие температуры значительно уменьшается и область перестройки частоты уменьшается от значения $2 \cdot 10^{11}$ Гц до

$0.63 \cdot 10^{11}$ Гц. Таким образом, можно минимизировать воздействие температуры и изменения частоты будет фактически обусловлено изменением концентрации носителей заряда за счет тока накачки.

Плоская вершина импульса представляет собой включения постоянного тока, который действует в течение импульса накачки. Этот участок импульса определяет изменение частоты генерации за счет изменения температуры.

При больших длительностях импульса накачки можно наблюдать выход лазера в режим термодинамического равновесия (рис. 4 финальная часть импульса). Это хорошо видно по отсутствию колебательного процесса в сигнале на выходе интерферометра вблизи фронта спада.

В случае длительности фронта накачки 100 нс и менее нагрев на фронте минимизируется и резко увеличивается рост температуры в начале пологого фронта. Частота сигнала на выходе интерферометра в этой области может достигать 50 МГц и более. Поэтому уменьшение амплитуды синусоидальной функции в начале плоского фронта обусловлено недостаточной полосой пропускания фотоприёмного тракта.

Библиографические ссылки

1. *Ветров А. А., Данилова Д. А., Есипов С. С., Комиссаров С. С., Сергушичев А. Н.* // Сравнение температурных и электрических методов управления длиной волны излучения полупроводниковых лазеров. “Оптический журнал”. Т. 76. В. 8. 2009. С. 90–96.
2. *Астахова, А.П. Данилова, Т.Н. Именков, А.Н. Колчанова, Н.М. Яковлев, Ю.П.* Одномодовые быстроперестраиваемые лазеры для диодно-лазерной спектроскопии. Т. 37. В. 8. 2003. С. 985–995.
3. *Данилова, Т.Н. Именков, А.Н. Колчанова, Н.М. Яковлев, Ю.П.* Лазеры на основе двойных гетероструктур InAsSb/InAsSbP излучающие в спектральной области 3–4 мкм // Физика и техника полупроводников. Т. 35. В. 12. 2001. С. 1466–1480.
4. *Данилова, Т.Н., Евсеенко О. И., Именков, А.Н., Колчанова, Н.М., Степанов М. В., Шерстнев В. В., Яковлев Ю. П.* Влияние носителей заряда на перестройку в лазерах на основе InAsSb // Физика и техника полупроводников. Т. 31. В. 6. 1997. С. 662–665.
5. *Данилова А. П., Данилова Т. Н., Именков А. Н., Колчанова Н. М., Степанов М. В., Шерстнев В. В., Яковлев Ю. П.* // Безынерционная перестройка частоты генерации диодных лазеров на основе гетероструктур InAsSb/InAsSbP, обусловленная нелинейными оптическими эффектами // Физика и техника полупроводников. Т. 33. В. 2. 1998. С. 243–248.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКУЛЬТЕТА С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М. С. Макейкова

rct.makeykov@bsu.by;

*Научный руководитель — А. И. Головатый, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Данная статья посвящена созданию трёхмерной модели факультета в виртуальной среде с помощью программы для моделирования Blender, а также игрового движка Unreal Engine 5. Рассматриваются перспективы и возможности использования полученной виртуальной сцены в качестве базы для дальнейших исследований и разработок в области виртуальной реальности в образовательном процессе.

Ключевые слова: виртуальная реальность; VR технологии; 3D-модель; Blender; Unreal Engine.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день технология виртуальной реальности находит всё более широкое применение. Несмотря на то, что изначальный толчок развития виртуальная реальность получила от игровой индустрии, в последние годы она нашла своё применение в таких областях как медицина, военное дело и космонавтика [1, с. 9]. Немаловажным является то, что виртуальная реальность открыла новые возможности в сфере образования и развития.

При выборе факультета абитуриенты не редко задумываются о том, как будет выглядеть место, в котором они будут учиться. Их представление складывается на основе фотографий или видео из доступных источников, каких часто бывает недостаточно. Решением этой проблемы может быть разработка модели корпуса факультета в виртуальной среде, который позволит абитуриентам, не прикладывая усилий, получить реалистичное представление о факультете и его образовательной среде.

Целью работы, описанной в статье, является создание виртуальной среды для использования её в качестве базы для дальнейших исследований и разработок в области виртуальной реальности. Такие разработки позволят решить проблему не только для абитуриентов, но и для студентов. Они смогут проводить виртуальные эксперименты, осваивать новые навыки и практически применять свои знания в симулированных условиях, а участие в мероприятиях и проектах, позволит более глубоко погрузиться в учебный процесс и атмосферу факультета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка 3D-модели осуществлялась средствами программы Blender, которая была выбрана за счёт таких качеств, как: широкий набор инструментов, маленький размер исполняемого файла и понятный интерфейс. Помимо этого, Blender является абсолютно бесплатной программой, что отличает её от остальных конкурентов.

В качестве исходных данных были использованы снимки факультета, а также планы этажей, которые были интегрированы в программу в качестве Reference и Background соответственно.

После чего, используя инструментарий Blender, была смоделирована модель здания факультета, которая включала в себя окна, двери, внутренние и внешние стены, а также другие детали. Результат моделирования показан на рис. 1.

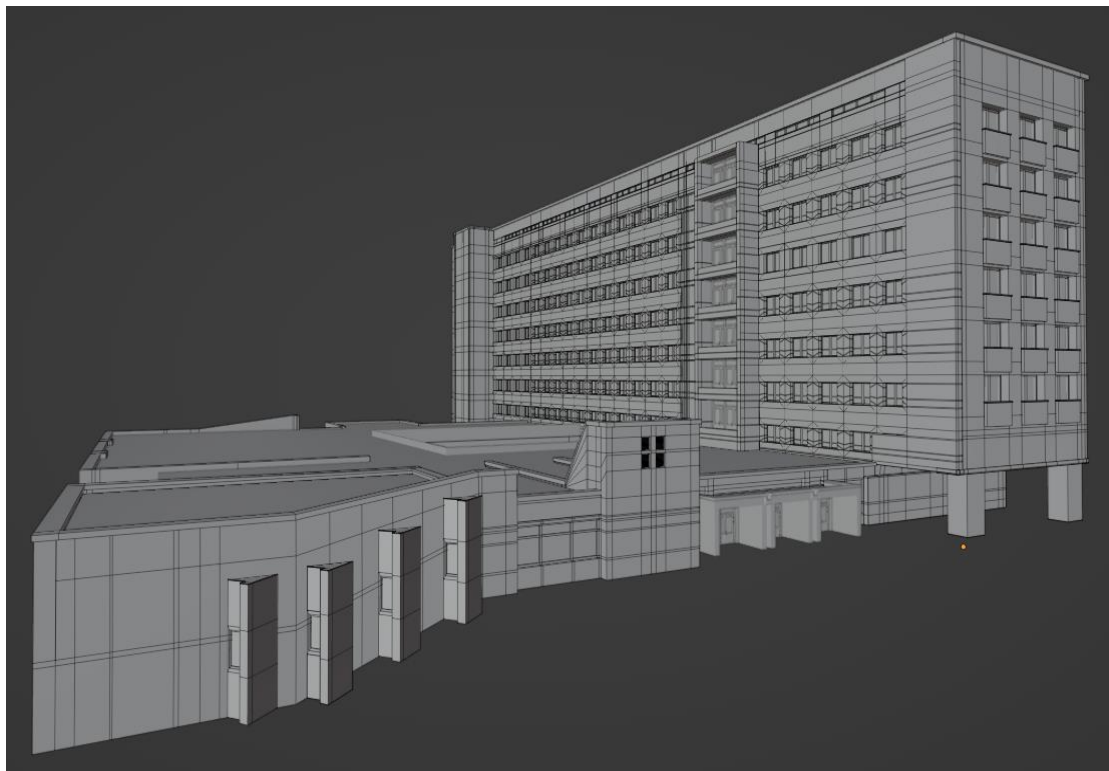


Рис. 1. 3D-модель факультета в Blender

Для дальнейшего корректного наложения текстур на модель в Unreal Engine требовалось разделить модель на отдельные материалы. После создания материалов с соответствующими названиями следовало выделить каждую часть модели и присвоить необходимый материал. Затем, в режиме Viewport Shading, можно было проверить правильность и точность наложения текстур, чтобы убедиться в их соответствии.

Следующим этапом было создание UV-разверток. Для большинства частей модели при создании развёртки хватало применения Smart UV project, но для некоторых, более сложных геометрий, необходимо было накладывать швы, которые являются своего рода указателем для программы, для корректной развёртки модели. После этого при помощи плагина Texel Density Checker устанавливался единый параметр texel density – значение разрешения текстур на площадь геометрии [2, с. 101]. Такой метод позволяет поддерживать одинаковый уровень детализации на всей модели.

После создания 3D-модели, разделения материалов и создании UV-развёрток модель готова к экспорту. Для последующей визуализации в виртуальной среде был выбран игровой движок Unreal Engine 5. Первоначально платформа использовалась для разработки видеоигр от первого лица. В настоящее время она используется для создания игр различных жанров, а также виртуальных туров, трехмерных сцен и экскурсий с интерактивными элементами [3, с. 239].

При экспорте модели использовался формат «.fbx», который обеспечивает необходимую передачу геометрии и материалов в Unreal Engine.

Перед запуском движка требовалось установить соответствующие виртуальному устройству плагины, в рамках данной работы, это были плагины для виртуального шлема HTC VIVE. И только после этого, запустив движок, создавался проект с поддержкой виртуальной реальности.

В проекте было настроено освещение Lumen. Данная технология позволяет реализовать освещение, просчитывая его в реальном времени, учитывая отражённый свет от других объектов. Также были подготовлены материалы, часть из них создавалась вручную в программе Adobe Photoshop и настраивалась непосредственно в самом движке, а другая часть была взята из Quixel Bridge, что является бесплатной библиотекой для загрузки материалов в Unreal Engine.

Настроив освещение и подготовив материал, в проект была импортирована созданная 3D-модель факультета. После чего на неё были наложены подготовленные материалы.

Так как часть здания находится под наклоном, с помощью различных кистей, в режиме Landscape, был модифицирован ландшафт в соответствии с действительностью. Также на него были наложены текстуры и в режиме Foliage была добавлена растительность, в виде травы, деревьев и кустарников. Последним этапом была настройка виртуальной камеры и запуск проекта.

На рис. 2 представлен скриншот, сделанный во время тестирования виртуальной среды.

Таким образом, в данной работе представлен процесс разработки трёхмерной модели здания факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ в виртуальной среде. Результат работы может быть использован для ознакомления с факультетом, а также в качестве базы для обучения и исследований в области виртуальной реальности.



Рис. 2. Скриншот результата виртуальной среды

Библиографические ссылки

1. *Волынов М. М., Китов А. А., Горячкин Б.С.* Виртуальная реальность: виды, структура, особенности, перспективы развития [Электронный ресурс] // EScio. 2020. №5 (44).URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnaya-realnost-vidy-struktura-osobennosti-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 05.06.2023).
2. *Гасанов А. А.* Виртуальная реконструкция индустриального наследия: опыт 3D-реконструкции архитектурного облика производственного корпуса Трехгорного пивоваренного завода в Москве рубежа XIX-XX вв. // Историческая информатика. 2021. № 2. С. 88–114.
3. *Сухотерин Н. С.* Разработка трехмерной интерактивной модели СГУГиТ для абитуриентов средствами Unreal Engine // Интерэкспо Гео-Сибирь 2022. Т. 7, № 1. С. 237-244.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК КРЕМНИЯ НА СОСТАВ И СТРУКТУРУ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ TiAlSiN И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

А. А. Михалёнок

s0rd3s@aol.com;

Научный руководитель — В. А. Зайков, старший преподаватель

Методом магнетронного распыления сформированы наноструктурные нитридные TiAlSiN покрытия. С помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДРС) проведены исследования элементного состава, а методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) их структуры. Полученные покрытия являются однородными, плотными и не содержат видимых дефектов по всей площади поверхности. Установлено, что микромеханические свойства TiAlSiN покрытий позволяют использовать их в машиностроении и изделиях космической техники.

Ключевые слова: магнетронное распыление; энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия; растровая электронная микроскопия; наноиндентирование.

ВВЕДЕНИЕ

Наноструктурные покрытия TiAlN с различным соотношением Ti/Al металлов, представляют большой интерес вследствие их высокой твердости, износостойкости и устойчивости к воздействию радиационного излучения. В работе [1] предложена концепция, согласно которой сверхтвердые покрытия могут быть сформированы добавлением кремния в TiAlN, что способствует образованию нанокompозитных покрытий TiAl-SiN, состоящих из свободных от дислокаций нанокристаллитов размером до 20 нм, разделенных прослойкой аморфной фазы Si₃N₄ размером 1–3 нм. Настоящая работа посвящена практической реализации этой концепции.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ TiAlSiN И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Покрытия TiAlSiN наносились методом реактивного магнетронного распыления на различные типы подложек: титан марки ВТ1-0, монокристаллический кремний Si (100), монокристаллический кремний с термически выращенным оксидом SiO₂. Для контроля и управления процессом реактивного магнетронного распыления использовался разработанный в лаборатории элионики НИИПФП им. Севченко модульный комплекс управления расходом газов (МКУРГ) [3]. С помощью МКУРГа стационарно поддерживался неравновесный режим

распыления мишени, характеризующийся величиной степени реактивности α [3]. Формирование покрытий TiAlSiN осуществлялось из двух композитных мишеней, изготовленных методом взрывного прессования. Состав мишени № 1: 46 ат. % Ti; 46 ат. % Al; 8 ат. % Si и мишени № 2: 69 ат. % Ti; 23 ат. % Al; 8 ат. % Si. Режимы осаждения и нумерация образцов покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы осаждения и нумерация образцов покрытий TiAlSiN в соответствии с технологическими параметрами их формирования

Образец	1N1	1N2	1N3	2N1	2N2
Мишень	1	1	1	2	2
α	0,605	0,526	0,474	0,526	0,421
Ток разряда I , А	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Напряжение U , В	350–365	390–400	390–400	400–410	410–420
$U_{см}$, В	–150	–180	–200	–200	–200
$T_{подл.}$, °С	370	350	370	380	380

Морфология и микроструктура полученных покрытий TiAlSiN, а также их толщина исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа Hitachi SU 3400 (Япония) в режиме вторичных электронов. Элементный состав исследуемых покрытий определялся методом ЭДРС. Микромеханические характеристики полученных покрытий исследовались методом наноиндентирования по методике Оливера и Фарра [4] на приборе NanoHardness Tester (NHT2) CSM Instruments (Швейцария), оснащенный алмазным индентором Берковича.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 по результатам обработки микрофотографий СЭМ и спектров ЭДРС представлены: компонентный состав, толщина, скорость осаждения покрытий TiAlSiN. Обнаружено, что в спектрах ЭДРС присутствуют менее 2 ат. % примесей O и Ar, попадающих в покрытие в процессе осаждения из остаточной атмосферы. Концентрация кремния в составе покрытий (около 8 ат %) примерно совпадает с концентрацией кремния в мишени. В таблицу 2 также добавлены результаты наноиндентирования – нанотвердость (Н) и значения приведенного модуля Юнга (E^*).

Из анализа таблицы 2 следует, что уменьшение степени реактивности α на 22 % от значения $\alpha = 0,605$ до величины $\alpha = 0,474$ для мишени 1 приводит к увеличению скорости формирования TiAlSiN покрытий на Si подложках на 85 %, при этом доля металлической компоненты (Ti+Al) в покрытии увеличивается на 47%; а для мишени 2 уменьшение степени

реактивности α на 20 % от значения $\alpha = 0,526$ до величины $\alpha = 0,421$ приводит к увеличению скорости формирования TiAlSiN покрытий на Si подложках только на 11 %, при этом доля металлической компоненты (Ti+Al) в покрытии увеличивается всего на 24 %.

Таблица 2

Степень реактивности (α), стехиометрия состава, толщина (h), время (τ) и скорость (v) осаждения нитридных TiAlSiN, а также нанотвердость (H) и приведенный модуль Юнга (E^*), полученные наноиндентированием

Образец	α	(Ti+Al) , ат. %	(N+C) , ат. %	(Ti+Al)/(N+C)	h , нм	τ , с	v , нм/ с	H , ГПа	E^* , ГПа
1N1	0,605	39,08	52,62	0,74	1170	2520	0,46	28,74	384,58
1N2	0,526	47,42	42,52	1,12	1370	1860	0,74	35,97	335,85
1N3	0,474	45,56	43,13	1,06	1320	1560	0,85	39,52	324,97
2N1	0,526	48,70	43,86	1,11	880	1380	0,64	37,14	335,92
2N2	0,421	52,42	38,00	1,38	823	1440	0,57	48,99	378,13

На рисунке 1 а) и б) представлены СЭМ – микрофотографии поперечных сечений покрытий TiAlSiN на кремнии для режимов 1N1 и 2N1. Установлено, что полученные покрытия являются однородными, плотными, не содержат видимых дефектов по всей площади поверхности. Анализ совокупности СЭМ – микрофотографий для всех исследованных образцов показывает, что уменьшение степени реактивности α приводит к уменьшению размера зерен. Наибольший поперечный размер столбчатозеренной структуры наблюдается для образца 1N1.

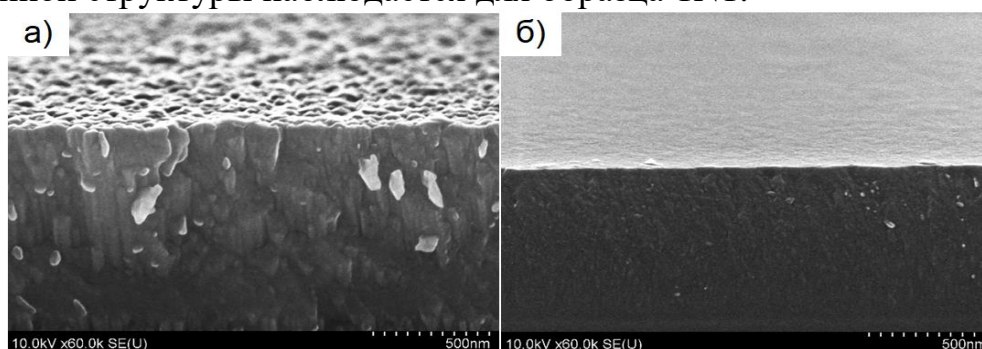


Рис. 1. СЭМ – микрофотографии поперечных сечений покрытий TiAlSiN на кремнии: а) 1N1 – степень реактивности $\alpha = 0,605$; б) 2N1 – степень реактивности $\alpha = 0,526$

На рисунке 2 представлены зависимости показателя ударной вязкости H/E^* и показателя сопротивления пластической деформации H^3/E^{*2} покрытия TiAlSiN от степени реактивности α . (данные таблицы 2). Нанотвердость сформированных покрытий варьируется в диапазоне $H = 28 - 49$ ГПа, а приведенный модуль Юнга – $E^* = 324 - 506$ ГПа.

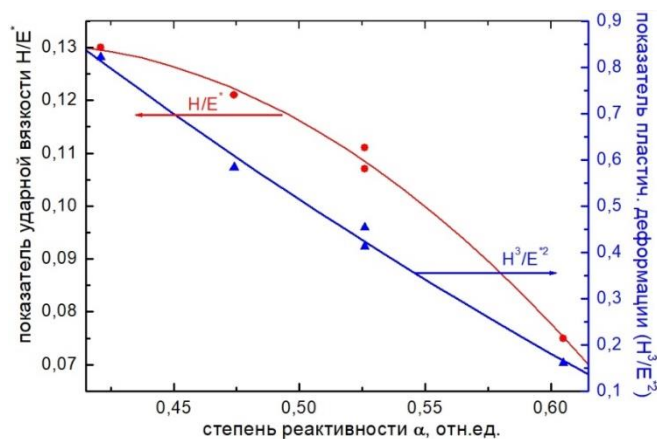


Рис. 2. Зависимость показателя ударной вязкости H/E^* и показателя сопротивления пластической деформации H^3/E^{*2} покрытия TiAlSiN от степени реактивности α

Нанотвердость сформированных покрытий варьируется в диапазоне $H = 28 - 49$ ГПа, а модуль Юнга – $E^* = 324 - 506$ ГПа. Покрытия TiAlSiN демонстрируют высокие показатели ударной вязкости $H/E^* = 0,08 - 0,13$ и сопротивления пластической деформации $H^3/E^{*2} = 0,16 - 0,82$. Микромеханические свойства сформированных наноструктурированных нитридных TiAlSiN покрытий позволяют использовать их в машиностроении и в изделиях космической техники [5].

Библиографические ссылки

1. Витязь П.А., Свидунович Н.А., Куис. Наноматериаловедение // Минск: Вышэйшая школа, 2015. 511 с.
2. Cavaleiro A., Hosson J. T. M. Nanostructured Coatings (Nanostructure Science and Technology) //Berlin, 2006. 648 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-48756-4>.
3. Gas flow control system in reactive magnetron sputtering technology / I.M. Klimovich [et al.] // Instruments and measurement methods, 2015, vol. 6, no. 2, P. 139–147.
4. Oliver, W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // Journal of Materials Research. 2004. Vol. 19, No. 1. P. 3-20.
5. Structural-phase states and micromechanical properties of nanostructured TiAlCuN coatings / S.V. Konstantinov [et al.] // Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus, 2023, vol. 67, no. 2, pp. 101–110.

ВЛИЯНИЕ РЕФРАКЦИИ В СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЕ В ЛАЗЕРНОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

Е. А. Олехнович

rct.olehnoviEA@bsu.by;

Научный руководитель— И. П. Прокопович, кандидат физико-математических наук, доцент

На основе данных стандартной атмосферы, барометрической формулы давления, полуэмпирической функциональной зависимости показателя преломления воздуха от температуры, давления, длины волны лазерного излучения построена и отестирована модель расчета рефракции для различных значений параметров, таких как высота, видимое зенитное расстояние, температура на уровне моря, а также длина волны лазерного излучения.

Ключевые слова: лазерные системы; явление рефракции; модель расчета рефракции; показатель преломления; ближний инфракрасный диапазон.

В настоящее время начинается революционный переход с радиосистем аэрокосмической связи и навигации на лазерные системы. Уже в мае 2022 года NASA на околоземную орбиту была выведена лазерная коммуникационная система TeraByte InfraRed Delivery (Терабайтная передача инфракрасного излучения, TBIRD), созданная в Массачусетском технологическом институте, обеспечившая канал связи с Землей на скорости 100 Гб/с, что в 1000 раз превосходит скорость современной космической радиосвязи (100 Мб/с) [1]. В то же время «Росатом», институт РФЯЦ-ВНИИЭФ (Российский Федеральный ядерный центр— Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики), запланировали выпустить опытный образец аппаратуры для космической лазерной связи на скорости 100 Гб/с, и планируют в 2024 году провести эксперимент с космической лазерной связью, где будут участвовать аппарат «Прогресс» и МКС [2].

В большинстве реализованных лазерных систем или систем FSO-технологии (free-space optics – оптика свободного пространства) используется ближний инфракрасный диапазон (далее ИК-диапазон) (0,7 – 1,64 мкм), что обусловлено рабочей длиной волны наиболее перспективных из используемых на сегодняшний момент источников излучения (ИК-светодиодов и лазеров) и особенностями прохождения света в атмосфере [3–4].

Лазерные системы в ИК-диапазоне позволяют беспрецедентно точно определять скорость и координаты космического объекта. Для их

использования в навигации для более точного наведения на объект необходимо учитывать влияние рефракции.

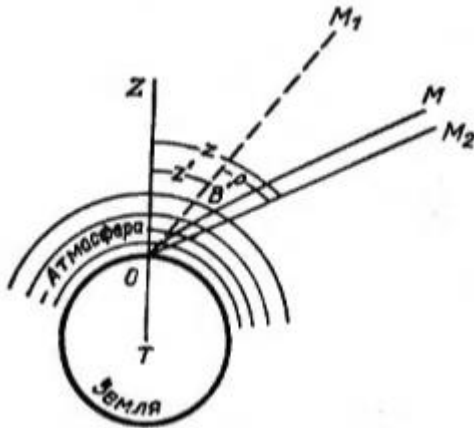


Рис. 1. Атмосферная рефракция [5]

Дело в том, что лучи света от небесного тела, прежде чем попасть в глаз наблюдателя, проходят сквозь атмосферу Земли и преломляются в ней, а так как плотность атмосферы увеличивается к поверхности Земли, то луч света (рис. 1) все более и более отклоняется в одну и ту же сторону по кривой линии, так что направление OM_1 , по которому наблюдатель O видит светило, оказывается отклоненным в сторону зенита и не совпадающим с

направлением OM_2 , по которому он видел бы светило при отсутствии атмосферы.

Явление преломления световых лучей при прохождении ими земной атмосферы называется астрономической рефракцией.

Угол M_1OM_2 называется углом рефракции или рефракцией ρ . Угол ZOM_1 называется видимым зенитным расстоянием светила z' , а угол ZOM_2 – истинным зенитным расстоянием z .

Теория рефракции довольно сложна. Рефракция зависит не только от высоты светила над горизонтом, но и от состояния атмосферы, главным образом от ее плотности, которая сама является функцией, в основном температуры и давления. При давлении B мм.рт. ст. и температуре t °C приближенное значение рефракции вычисляется по следующей формуле [5]:

$$\rho = 60,25'' B/760 \cdot 273^\circ / (273^\circ + t^\circ) \cdot \operatorname{tg} z' \quad (1)$$

По формуле рефракция вычисляется в тех случаях, когда видимое зенитное расстояние $z' < 70^\circ$. При $z' > 70^\circ$ формула дает ошибку больше $1''$, увеличивающуюся при дальнейшем приближении к горизонту до бесконечности. Поэтому для зенитных расстояний $z' > 70^\circ$ рефракция определяется путем сочетания теории со специальными наблюдениями [5].

Исследование рефракции проводилось на модели, основанной на параметрах стандартной атмосферы [6]. Данный стандарт соответствует международному стандарту ISO 2533. Для расчета давления с изменением высоты использована барометрическая формула. Модель также учитывает

отклонение параметров от стандартных, в частности, температуру в нижних слоях атмосферы и влияние кривизны Земли.

Для учета рефракции рассчитывается показатель преломления воздуха по известной полуэмпирической формуле

$$n = 1 + (77,6 \cdot (1 + 7,52 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{-2}) \cdot PT^{-1} \cdot 10^{-6}), \quad (2)$$

где λ – длина волны, мкм, P – давление, мБар, T – температура, К [7–11].

В таблице ниже и на рис. 2 приведены результаты сравнения рассчитанного угла рефракции в зависимости от начального зенитного расстояния с данными, приведенными в [12]. Как видно, на малых углах наблюдается хорошее согласие с приведенными данными, но в углах, больших 80 наблюдаются расхождения. Эти расхождения можно объяснить тем, что используемая полуэмпирическая формула (2) выведена в линейном приближении, а для точности расчета угла рефракции необходимо учитывать нелинейные эффекты.

Угол рефракции в зависимости от зенитного расстояния

Зенитное расстояние, °	Угол рефракции по данным [12] r , "	Угол рефракции, рассчитанный по модели, r , "
30	34	33,1754
60	101	99,5687
80	319	327,5595
85	593	671,1212
86	706	850,5917
87	865	1169,3751
88	1103	1953,8382



Рис. 2. Графики зависимости угла рефракции (в секундах) от зенитного угла

Значение учета рефракции в лазерной связи и навигации проиллюстрируем на конкретном примере. Расчеты линейного отклонения лазерного луча на длине волны 800 нм проведены для космических аппаратов (далее КА), находящихся на орбитах высотой в 500 км, и при азимутальных углах 80 и 86 градусов расстояние от лазера до КА будет составлять 1694 км и 2172 км соответственно, рефракция 325" и 843", а линейное отклонение лазерного луча 2753 м и 9168 м соответственно.

Таким образом, реализованная модель проверена на известных формулах, хорошо согласующихся на углах, где работает формула и экспериментальных данных, где астрономическая формула не работает, и позволяет делать расчет рефракции как для стандартной атмосферы, так и при отклонении параметров температуры от стандартной.

Библиографические ссылки

1. *Kendall Murphy*. The future of NASA's laser communications [Электронный ресурс]// Space Daily [сайт]. 2022. URL: https://www.spacedaily.com/reports/The_future_of_NASAs_laser_communications_999.html (дата обращения: 14.04.2023).
2. Росатом запланировал эксперимент с космической лазерной связью на 2024 год [Электронный ресурс]// Новости в России и в мире [сайт]. 2021. URL: <https://tass.ru/kosmos/12199535> (дата обращения: 10.04.2023).
3. Казанцев С.Г. Вопросы электромеханики // Труды ВНИИЭМ. 2018. Т. 163, № 2. С. 29–47.
4. Официальный сайт АО «НПК «СПП» [Электронный ресурс]. 2023. URL: <http://www.npk-spp.ru/deyatelnost/lazernaya-svyaz.html> (дата обращения: 18.05.2023).
5. Кононович Э. В, Мороз В. И. Общий курс астрономии: Учебное пособие / под ред. В. В. Иванова. Изд. 2-е, испр. М. : Едиториал УРСС, 2004. 544 с.
6. *Глаголев Ю. А.* Справочник по физическим параметрам атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 212 с.
7. Распространение лазерного пучка в атмосфере/ под ред. Д. Стробена. М.: Мир, 1981. 413 с.
8. Edlen B. The Refractive Index of Air // *Metrologia*. 1966. Vol. 2. P. 71–80.
9. Garfinkel B. Astronomical Refraction in polytropic atmosphere // *The Astronomical Journal*. 1967. Vol. 72, № 2. P. 235–254.
10. Thomas M. E. and Joseph R. I. Astronomical Refraction // *Johns Hopkins APL Technical Digest*. 1996. Vol. 17, № 3. P. 279.
11. Auer L. H., Standish E. M. Astronomical Refraction: Computational Method For All Zenith Angles// *The Astronomical Journal*. 2000. Vol. 119. P. 2472–2474.
12. *Аллен, К.У.* Астрофизические величины: [справочник] / перевод с англ. Х. Ф. Халиуллина; под ред. Д. Я. Мартынова. Перераб. и доп. изд. М.: Мир, 1977. 446 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ МОШЕННИЧЕСТВА С КРЕДИТНЫМИ КАРТАМИ

А. М. Пастушенко

Paltus@mail.ru;

*Научный руководитель – Д. В. Щегрикович, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Основная проблема, рассмотренная в данной работе – это интернет мошенничество с кредитными картами банков. В работе представлена разработка полностью интегрированной интеллектуальной системы для обнаружения мошенничества и обеспечения финансовой кибербезопасности. Определены подходящие алгоритмы машинного обучения для решения задачи распознавания мошенничества с банковскими карточками. Предложенная система обнаруживает до 80% мошеннических транзакций.

Ключевые слова: антифрод; полностью интегрированная интеллектуальная система; анализ данных; большие данные; машинное обучение; ансамблевые методы.

ВВЕДЕНИЕ

В постоянно развивающемся современном мире люди всё больше пользуются банковскими картами. Повсеместно в жизнь приходит безналичный расчет за услуги. Большинство транзакций происходит через интернет, но мало кто задумывается о том, как реализована система обеспечения безопасности. В статье представлены этапы разработки интеллектуальной системы для классификации интернет-транзакций на факт мошенничества для обеспечения второго барьера информационной безопасности, когда первый – физическое изъятие банковской карты – уже прорван.

Рассмотрены существующие системы обеспечения безопасности интернет-транзакций, которые используются банками – мониторинг транзакций, 3D-Secure, биометрия, экспертные системы анализа данных, фильтрация данных, блокчейн, правоохранительные органы [1]. Определена ниша, которую может занять разрабатываемая система.

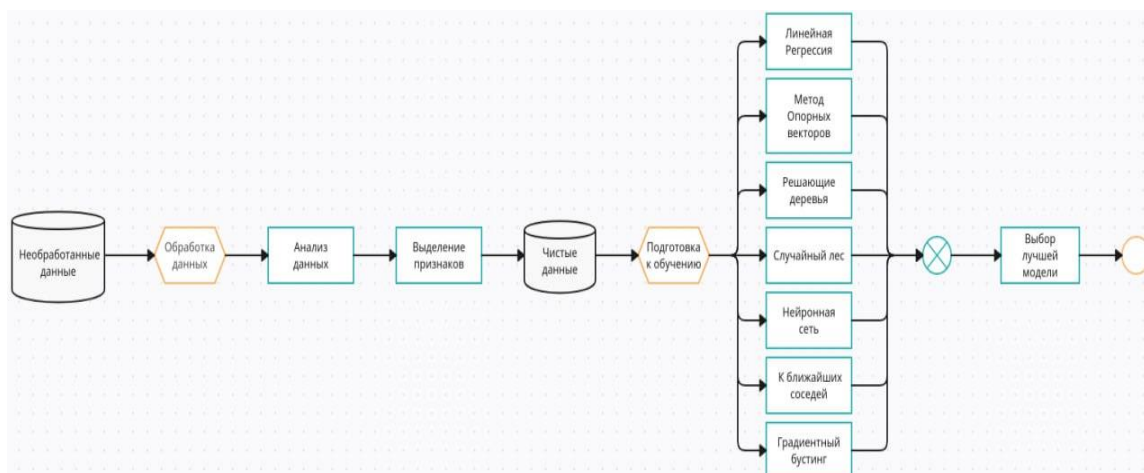
Система занимает нишу на пересечении 3D-Secure, экспертных систем анализа данных, фильтрации данных и мониторинга транзакций.

3D-Secure – дополнительный уровень подтверждения личности пользователя, так же, как и биометрия. Их плюсы в том, что они нетребовательны к вычислительным ресурсам. Анализ и фильтрация данных по сравнению с ними требуют больше вычислений, но позволяют выявлять сложные паттерны поведения данных, скрытые значения.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ

Разрабатываемая система должна удовлетворять перечисленным далее критериям. Обеспечение безопасности данных – хранение и обработка персональных данных в соответствии с действующими политиками безопасности. Высокое качество классификации – система должна иметь высокое качество классификации, чтобы ей было можно доверять и пользоваться ею. Простота вычислений – система должна обрабатывать достаточно быстро обрабатывать, чтобы пользователь меньше ожидал разрешения на совершение транзакции. Масштабируемость – удобство расширения системы на новые базы знаний [2].

Алгоритм работы системы представлен на рисунке ниже. Необработанные данные поступают в блок обработки, где они преобразуются и структурируются, производится их очистка. Затем над обработанными данными производится разведывательный анализ и выделение значащих признаков. Для упрощения моделирования выделенные по признакам данные записываются в хранилище. Следующим шагом является подготовка данных к моделированию, а затем само обучение алгоритмов.



Алгоритм системы

По итогу проведения разведывательного анализа данных были выделены следующие ключевые признаки транзакций, которые имеют наибольшее влияние на целевую переменную – факта мошенничества:

- Возраст.
- Сумма транзакции.
- Время проведения транзакции.

- Категория товара.
- Магазин.
- Население города держателя карты.
- Профессия держателя карты.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучались такие алгоритмы, как линейная регрессия, метод опорных векторов, деревья решений, случайный лес, нейронная сеть прямого распространения, метод К-ближайших соседей, градиентный бустинг. Заключительным этапом разработки является выбор наилучшей модели и ее использование [3, 4].

Оценка обученности алгоритмов проводилась по следующим критериям: точность, полнота, их гармоническое среднее, качество и ROC-AUC-метрика. Были изучены методы борьбы с несбалансированностью данных такие, как SMOTE и ADASYN, undersampling. Oversampling. Были изучены следующие способы кодирования текстовых полей: Ordinal Encoding, Label Encoding, Count Encoding, One-Hote Encoding [5].

Рассмотрены алгоритмы и все комбинации данных методов, и лучший результат показал алгоритм случайного леса с методами предобработки Label Encoding и SMOTE при $k = 5$. Остальные алгоритмы мало подходят для решения поставленной задачи.

По итогу проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Модель случайного леса имеет точность определения мошенничества 79%;
- Система корректно обрабатывает личные данные пользователей;
- Система имеет возможность горизонтальной масштабируемости;
- Система использует относительно нетребовательный алгоритм.

Данная система отличается от существующих тем, что ее легко внедрить в систему безопасности транзакций, как и 3D-Secure, но в то же время она является интеллектуальной с гибкой настройкой параметров и имеет возможность масштабирования.

В перспективе можно использовать вычисления на графических процессорах. Проводить более глубокую аналитику и выявлять мультиколлинеарные зависимости. Использовать Apache Spark для горизонтальной масштабируемости системы и многопоточковой обработки информации. Использовать Apache Airflow для приоритизации

выполнения задач. Целесообразным представляется использование облачной архитектуры для горизонтальной масштабируемости.

Библиографические ссылки

1. *Белянина Н. В., к.т.н., доцент, Кожин Е. В., аспирант.* Информационная система определения мошенничества по платежным картам в режиме реального времени [Электронный ресурс] // Материалы публикации. Современная гуманитарная академия / Москва, 2018. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-sistema-opredeleniya-moshennichestva-po-platezhnym-kartam-v-rezhime-realnogo-vremeni/viewer> (дата обращения: 01.06.2023).
2. *Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009).* The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. URL: <https://hastie.su.domains/Papers/ESLII.pdf> (дата обращения: 01.06.2023).
3. Яндекс. Учебник по машинному обучению [Электронный ресурс]. URL: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml> (дата обращения: 01.06.2023).
4. *Swalin, A. (2018).* Choosing the Right Metric for Evaluating Machine Learning Models Part 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kdnuggets.com/2018/06/right-metric-evaluating-machine-learning-models-2.html> (дата обращения: 01.06.2023).
5. *Воронцов К. В.* Курс лекций «Машинное обучение». URL: <http://www.machinelearning.ru/> (дата обращения: 01.06.2023).

ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

С. В. Ярошевич

svuaytyar2@gmail.com;

Научный руководитель – В.С. Садов, кандидат технических наук, доцент

В работе предложены алгоритмы и варианты реализации системы контроля усталости водителя по мимике лица. Рассмотрен классификатор, полученный в результате эксперимента на основе сверточных нейронных сетей. Предложенные алгоритмы могут использоваться для повышения безопасности на дорогах и снижению социальных и экономических потерь от аварий.

Ключевые слова: детектирование усталости; свёрточные нейронные сети; усталость водителя; классификатор усталости.

ВВЕДЕНИЕ

Целью контроля усталости водителя является предупреждение или уменьшение усталости путем предоставления обратной связи, рекомендаций водителю (например, сделать перерыв, выпить кофе, включить музыку), передача управления автопилоту, если водитель не в состоянии управлять автомобилем. Контроль усталости водителя способствует повышению безопасности дорожного движения и снижению социальных и экономических потерь от аварий.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Контроль усталости водителя реализован на языке Python. Общая структура приложения, показана на рис. 1. Система состоит из модуля обработки входного видеопотока, модуля детектирования и выделения лица, модуля детектирования усталости, модуля принятия решений.

Модуль обработки видео включает в себя работу с библиотеками OpenCV и Imults. Imults используется для запуска видео потока, который передаётся как параметр. OpenCV используется для масштабирования и перевода в другой цветовой оттенок.

Следующий модуль включает в себя детектирование лица. Используется библиотека dlib с обученной нейронной сетью для выделения лица. Далее с помощью OpenCV выделяется изображение лица на картинке, масштабируется и преобразуется к тензору (1, 192, 192, 3), что является входным тензором классификатора усталости.

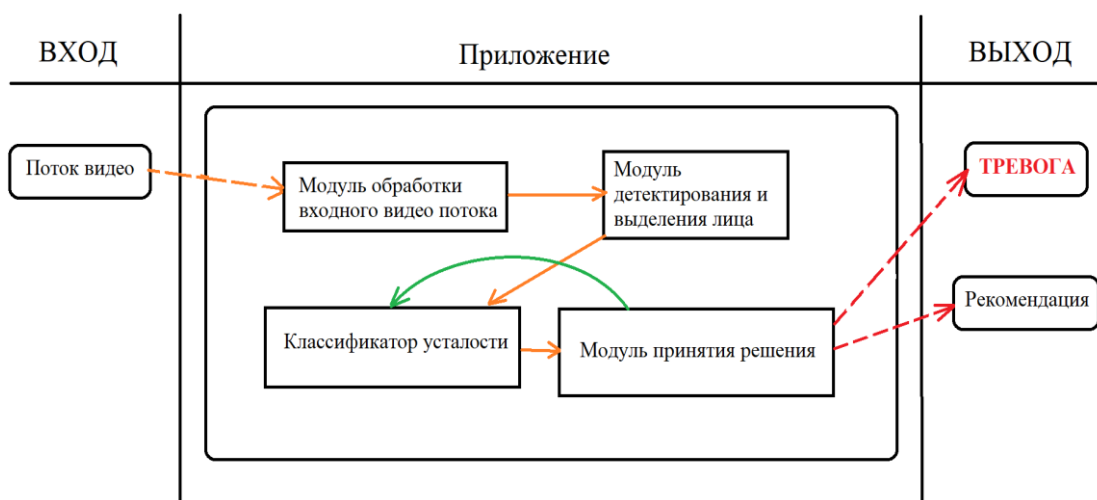


Рис. 1. Общая структура приложения определения усталости по лицу

Модуль детектирования усталости состоит из обученного классификатора на основе сверточных нейронных слоёв [1]. Он даёт на выходе логический ноль, если лицо на кадре считается уставшим, и логическую единицу, если классификатор считает лицо не уставшим. Общая схема нейронной сети представлена на рис. 2.

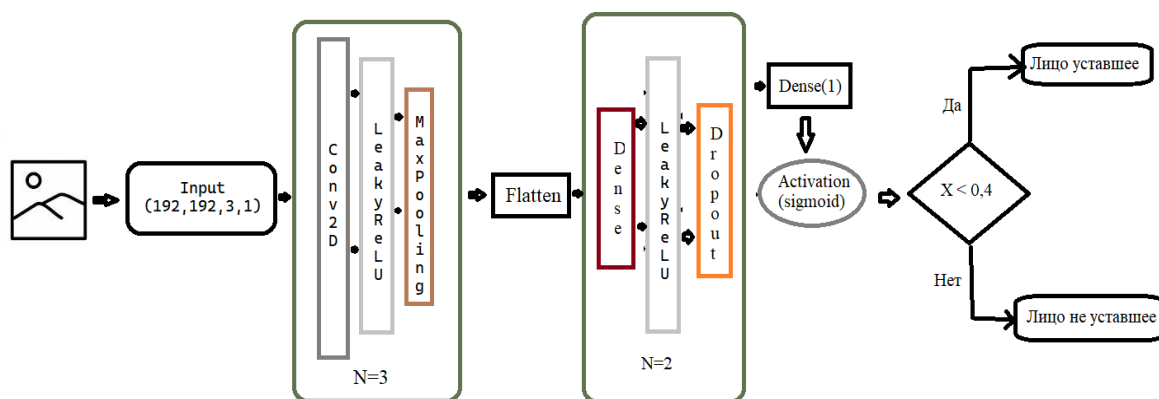


Рис. 2. Общая схема нейронной сети классификатора усталости

Классификатор обучен на созданном автором датасете с тренировочной выборкой объёмом 4518. Обученный классификатор имеет точность классификации 82% на тестовой выборке. Выделены следующие критерии усталости лица, на основе того, что усталость – это запуск восстановительных процессов [2] и мышцы лица стремятся к максимально расслабленному состоянию. Максимально уставшим лицом можно считать полностью расслабленное лицо с закрытыми глазами и ртом, и небольшие отклонения от этого состояния можно считать

усталостью. Например, приоткрытые глаза, рот, когда человек зевает, без эмоционального состояния лица.

Модуль принятия решений состоит из 2 параллельных процессов:

- режим тревоги, когда из 60 кадров, 1-2 секунды, 40 или больше кадров являются «уставшими». Воспроизводится сигнал тревоги,
- режим рекомендаций. Каждые 2 минуты в приложении начинает записываться новый участок оценки усталости длительностью в 10 минут.

Рекомендация об остановке, перерыве, или включении режима автопилота (при возможности) выдаётся, если процент кадров, оцененных классификатором как «уставшие» больше 35%. Это величина выбиралась экспериментально на основе тестирования классификатора, на тестовых видео-фрагментах длительностью 12-15 минут. Примеры полученных результатов представлены на рисунке 3.

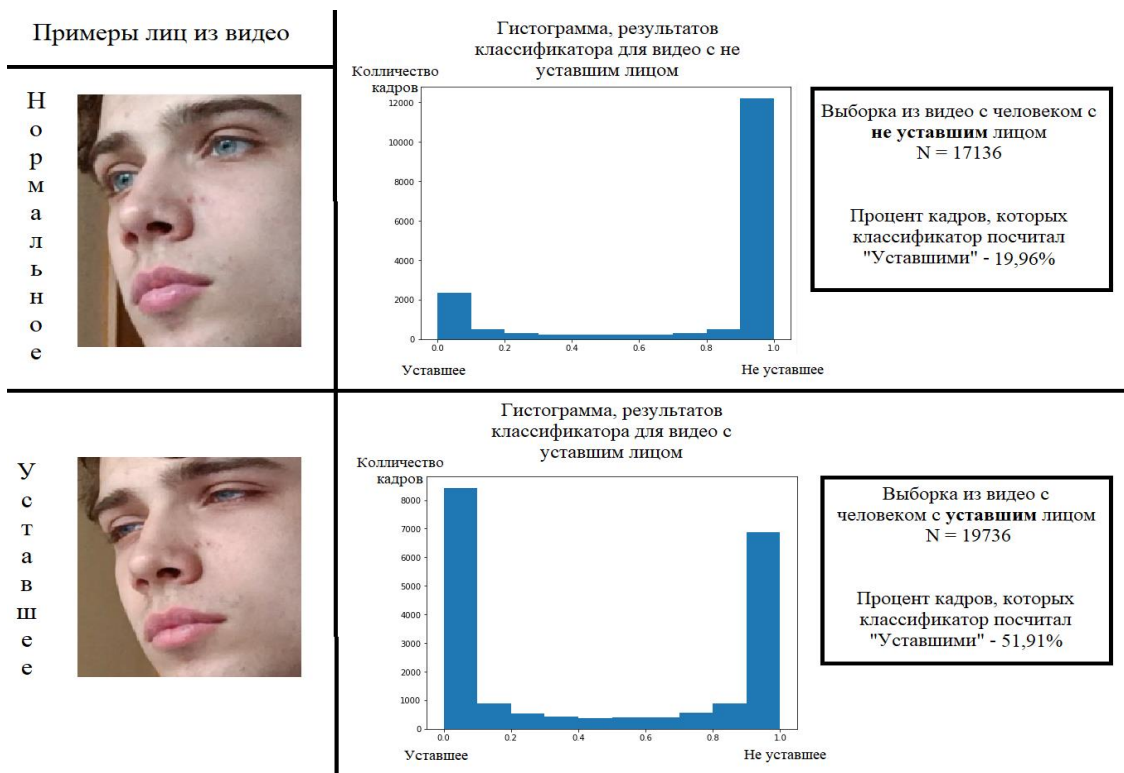


Рис.3. Результаты тестовой работы классификатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате предложены:

- Алгоритм формализации состояния усталости.

- Классификатор состояния усталости, выполненный на основе нейронных свёрточных сетей.
- Создан датасет для обучения классификатора.
- Модуль принятия решений.

Разработанный классификатор обеспечивает точность классификации на тестовой выборке 82%.

Библиографические ссылки

1. Франсуа Шолле. Глубокое обучение с нуля на Python. [Текст] / Шолле Франсуа// СПб.: Питер, 2018. С 400.
2. Vsavm [Электронный ресурс]. URL:<https://www.vsavm.by/wp-content/uploads/2013/11/Fiziologiya-sna.pdf> (дата обращения: 20.03.2022).

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАЗРАБОТКА ПОРИСТЫХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСНЫХ ТЕМПЛАТОВ

М. В. Асадчий

mvasadchiy@mail.ru;

Научный руководитель — В. В. Паньков, доктор химических наук, профессор

В данной работе был получен пористый оксид алюминия из металлоорганического полимера Al-fumarate. По результатам дифференциального термического анализа температура разложения фумарата алюминия составляет 400 °С. Данные энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и рентгенофазового анализа показывают, что при разложении MOF образуется оксид алюминия. Методом электронной микроскопии было определено, что размер частиц материала находится в диапазоне 400 нм. Исследование влагопоглощения показывают о том, что полученные материалы являются пористыми. Максимальный показатель влагопоглощения обнаружен для Al₂O₃, полученном при обработке полимера при температуре 500 °С.

Ключевые слова: металлоорганические координационные полимеры; пористый Al₂O₃; влагопоглощение.

ВВЕДЕНИЕ

Металлоорганические координационные полимеры представляют собой новый перспективный класс соединений, которые создаются на основе неорганических блоков, состоящих из одного или нескольких ионов металлов. Они соединены друг с другом при помощи органических мостиков. Эти объекты привлекают пристальное внимание исследователей благодаря практически неограниченным возможностям структурного дизайна новых соединений и широкому спектру функциональных свойств. Поиск способов направленного дизайна металлоорганических каркасов с заданными свойствами является крайне важным для разработки новых материалов [1].

Цель настоящей работы получить оксид алюминия путем терморазложения фумарата алюминия и изучить его влагопоглощение при разных условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Для изучения свойств полученных соединений был приготовлен Al-fumarate постепенным сливанием растворов гидроксида натрия, фумаровой кислоты и октагидрата сульфата алюминия (мольное соотношение реагентов 5.72 : 1.91 : 1.00 соответственно) [2, 3].

Полученный образец проанализировали дифференциальным термическим методом (ДТА). Диапазон изменения температур колебался от 30 до 950 °С (рис. 1).

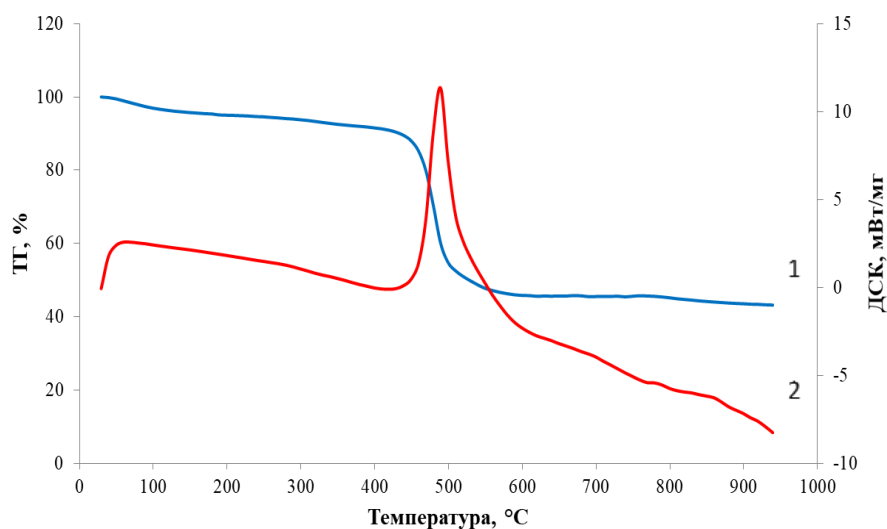


Рис. 1. Кривые ДТА Al-fumarate:
1 – кривая потери масс, 2 – кривая ДСК

Согласно кривой потери масс термогравиметрической составляющей анализа начало разложения металлорганического полимера начинается при температуре равной 400 °С. В этом диапазоне происходит реакция: образуется, предположительно, оксид алюминия. Температуру, при которой происходит максимум превращения, имеющую наибольшую энтальпию процесса, находим из кривой дифференциальной сканирующей калориметрии. Данное значение составляет 487,5 °С.

В настоящей работе были выбраны температуры 500 и 800 °С, чтобы посмотреть, что происходит с веществом вовремя и после фазового перехода соответственно.

Для проведения рентгеновской спектроскопии были выбраны образец чистого Al-fumarate (рис. 2) и образец, прошедший термическую обработку при 500 °С (рис. 3).

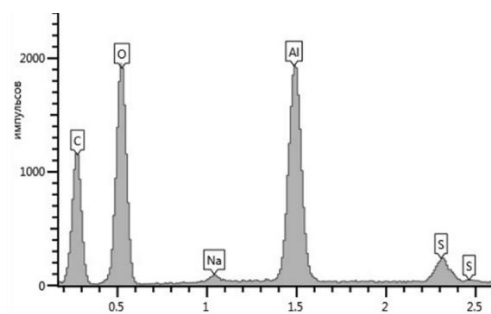


Рис. 2. Рентгеновский энергодисперсионный спектр Al-fumarate

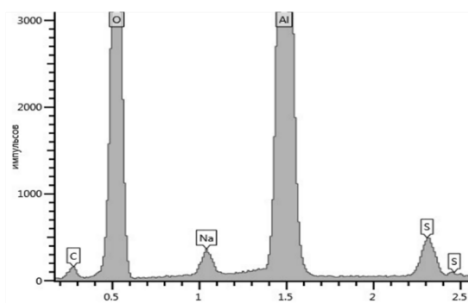


Рис. 3. Рентгеновский энергодисперсионный спектр Al_2O_3

Исходя из данных EDX можно сделать вывод об элементном составе веществ. Спектр Al-fumarate отличается доминирующим значением таких элементов, как С, О и Al (их доли составляют 42, 46 и 11 % соответственно). После термообработки значения весовых долей изменилось. С, О и Al составляют 8, 56 и 32 % соответственно. Значительное падение количество углерода можно объяснить разложением вещества, в ходе которого органическая составляющая исчезает. Остаточное количество углерода можно объяснить тем, что в ходе замера использовались углеродные подложки, которые также могли давать процентное содержание углерода.

Отметим, что при анализе спектра Al_2O_3 (500 °С) отношение алюминия и кислорода составляют 2.0 : 3.4, что сопоставимо с оксидом алюминия.

Фазовую идентификацию полученных структур провели с помощью рентгенографических спектров, зарегистрированных в $\text{CuK}\alpha$ излучении (рис. 4).

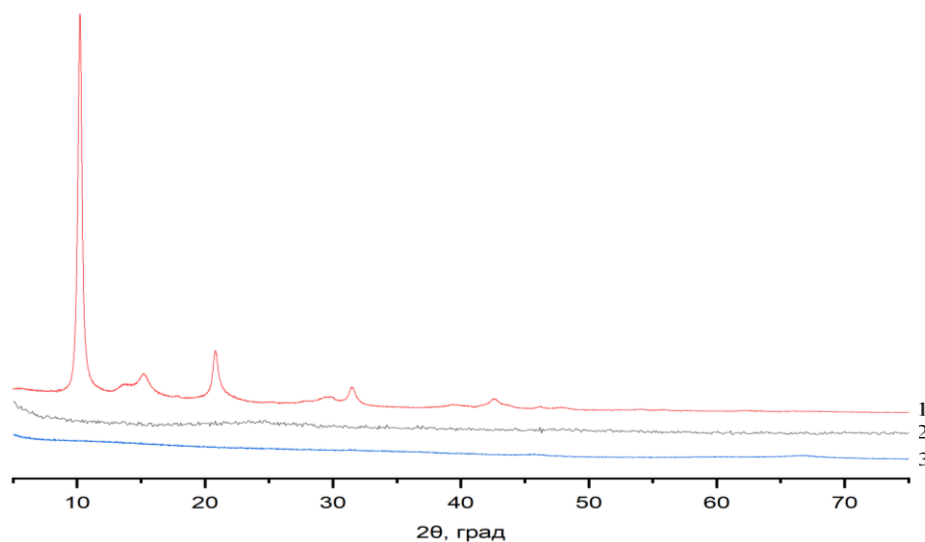


Рис. 4. РФА спектры:
1 – Al-fumarate, 2 – Al_2O_3 (500 °С), 3 – Al_2O_3 (800 °С)

Образец чистого полимера показал рефлексы, описывающие чистый Al-fumarate. Так можно заметить шесть характерных рефлексов высокой интенсивности при значения 2θ равных 10.7° , 16.0° , 21.6° , 31.9° , 42.8° соответственно.

Образцы, обработанные при температурах 500°C и 800°C , характерных пиков не показали. На рентгенографических спектрах данных образцов проявляется аморфное гало. Это может свидетельствовать о пористости оксидов.

Размер частиц, полученных обработкой Al-fumarate, определили методом сканирующей электронной микроскопии. Из рисунка 5 можно заметить, что частицы имеют ограниченную форму с размерами на уровне 400 нм .

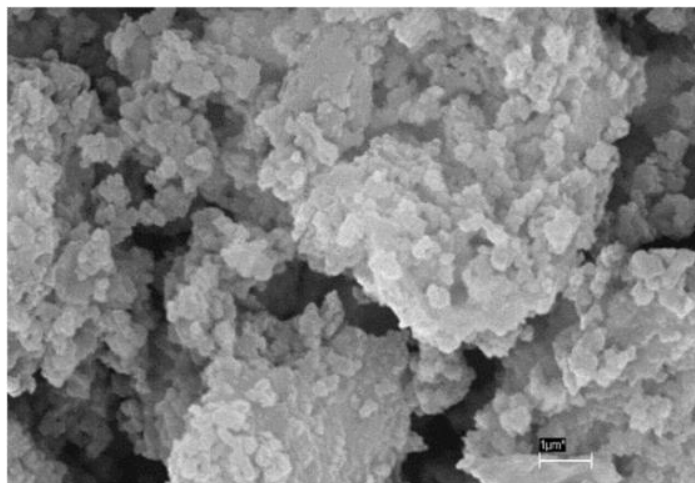


Рис. 5. Изображение СЭМ частиц Al-fum

Для термообработанных образцов и исходного фумарата алюминия были проведены измерения влагопоглощения. Результаты представлены в таблице.

Результаты влагопоглощения образцов

Условия измерения	Образец	Влагопоглощение, г/г
RH 97% (H ₂ O), 6 ч, 19,1-19,5 °C	Al-fumarate	0.4199
	Al ₂ O ₃ (500 °C)	0.7284
	Al ₂ O ₃ (800 °C)	0.3524
RH 97% (H ₂ O), 20 ч, 19,6 °C	Al-fumarate	0.3605
	Al ₂ O ₃ (500 °C)	0.9866
	Al ₂ O ₃ (800 °C)	0.3518
RH 97% (H ₂ O), 48 ч, 22 °C	Al-fumarate	0.5721
	Al ₂ O ₃ (500 °C)	1.0000
	Al ₂ O ₃ (800 °C)	0.2911

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что наилучшие сорбционные способности проявляет оксид алюминия, полученный из фумарата алюминия при 500 °С. Его показатели адсорбции свидетельствуют о высокой пористости материала.

Библиографические ссылки

1. Милюков, В. А. Metal-Organic Frameworks (MOFs), или металлоорганические координационные полимеры (МКОП) / В. А. Милюков – Казань, 2013. с. 41.
2. Process for preparing porous metal-organic frameworks based on aluminum fumarate [Electronic resource]: pat. US 20120082864A1 / Emi Leung, Ulrich, Miller, Natalia Trukhan, Hendrick Mattenheimer, Gerhard Cox, Stefan Blei.– Publ. date 05.04.2012. – Mode of access: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2012042410>.
3. Ricco, R. Applications of magnetic metal–organic framework composites / R. Ricco [et al.] // Journal of Materials Chemistry A. 2013. Vol. 1, № 42. 13033.

ПОЛУЧЕНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПИЩЕВЫХ ПОЛИМЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Т. В. Безносик, Ю. С. Просмыцкая

tbeznosik02@mail.ru;

*Научный руководитель – Т. А. Савицкая, доктор химических наук, профессор;
И. М. Кимленко, кандидат химических наук, доцент*

Подобран оптимальный состав формовочных композиций кукурузного крахмала с альгинатом натрия, содержащих различные биологические добавки, и получены пленки на их основе. Показано, что все виды исследуемых добавок (эфирное масло мяты, экстракт зеленого чая, красная соль со специями) значительно увеличивают антиоксидантную активность пленок.

Ключевые слова: крахмал, альгинат натрия; пищевые полимеры; пленки; антиоксидантная активность; биологически активные добавки.

ВВЕДЕНИЕ

Создание упаковочных материалов на основе природных биоразлагаемых полимеров для пищевых продуктов как альтернативы бионеразлагаемым упаковкам из синтетических полимеров сегодня является актуальным и инновационным направлением исследований, которое привлекает всё большее внимание как ученых, так и производителей упаковочных материалов. Мировой рынок таких упаковочных материалов еще только складывается, но уже в качестве одного из будущих перспективных трендов можно выделить создание пленок на основе полисахаридов с различными добавками для их функционализации [1]. При этом разработка оптимального состава композиции, который бы удовлетворял требованиям к механическим, барьерным свойствам и учитывал специфичность целевого продукта питания, является одной из ключевых проблем в дизайне пищевых пленок.

Целью данной работы явился подбор оптимального состава формовочных композиций для отливки пленок, включающих пищевые полимеры и биологически активные добавки различной функциональности для увеличения срока хранения упакованных продуктов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовали крахмал кукурузный (КК) и альгинат натрия (АН). В качестве добавок в композиции полимеров вводили красную соль со специями (провинция Тайнинь, Вьетнам), эфирное масло мяты

(*Méntha*), экстракт зеленого чая производства Tan CUONG (Вьетнам). Для усиления вкуса добавляли свежесжатый сок грейпфрута. Готовили 4, 6 и 7 % формовочные композиции КК : АН состава 90 : 10. В качестве пластификатора использовали глицерин. Раствор полимеров помещали на водяную баню и при 80 °С перемешивали в течение 20 минут со скоростью 200 об/мин. Пленки формовали на автоматической установке для нанесения покрытий MSK-AFA-L800-H Automatic Thick Film Coater (MTI Corporation) методом полива растворов на подложку Mylar с помощью движущейся фильеры (solvent casting technique). Толщина зазора фильеры 0,7 мм; скорость – 0,34 мм/с; температура подложки – 70 °С. Сушка пленок осуществлялась при температуре окружающей среды в течение суток. После чего пленки снимали скальпелем с полиэфирной подложки. Оценку морфологии поверхности пленок проводили методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе СЭМ LEO 1420. Антиоксидантную активность пленок оценивали по изменению оптической плотности раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) при длине волны 515 нм после его добавления к экстрактам с последующим расчетом % ингибирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно [1, 2], что при составлении композиций полимеров важно подобрать их правильное соотношение и концентрацию, так как при слишком низкой или высокой концентрации получение пленки может быть невозможно или композиционная пленка будет иметь неудовлетворительные механические свойства. Необходимо также учитывать целевой продукт, для которого разрабатывается состав пленки. Например, для мяса или меда необходимы либо гидрофобные пленки, либо пленки не слишком чувствительные к влаге, так как из-за влаги, содержащейся в продукте, они могут набухнуть вплоть до растворения упаковки. Таким образом, для мяса и рыбы подойдут пленки на белковой основе, например, из глютена или желатина. Для пахучих продуктов, например, ягод, обработанных фруктов, специй, необходимы пленки с высокими барьерными свойствами отношению к летучим компонентам запахов. Такими свойствами обладают пленки из крахмала и соевого белка. При добавлении к крахмалу небольшого количества альгината натрия, который является хорошим пленкообразователем, можно получить недорогие в производстве пленки с оптимальными механическими и барьерными свойствами.

Получены формовочные композиции КК с АН, содержащие различные биологические добавки, и пленки на их основе. Результаты представлены в таблице и на рисунке 1.

Состав пленок на основе кукурузного крахмала и альгината натрия и их антиоксидантная активность

Содержание полимеров	Содержание биологически активных добавок	Основные химические компоненты, входящие в состав добавок	Антиоксидантная активность пленок-полосок, % ингибирования
КК : АН 90 : 10 7%	-	-	6,33
КК : АН 90 : 10 6%	Экстракт зеленого чая (100% об.)	Кофеин, танин	17,8
КК : АН 90 : 10 7%	Вода (100% об.) + 0,3 г приправы чеснока + 0,3 г вьетнамской соли	Эфирное масло чеснока – аллицин, витамин С	31,48
КК : АН 90 : 10 7%	Свежевыжатый сок грейпфрута (99,36% об.) + эфирное масло мяты (0,64% об.) + 0,25 г вьетнамской соли	Витамин А, бета-каротин, эфирные масла	76,8



Рис. 1. Быстрорастворимые пленки-полоски на основе КК и АН

Согласно полученным данным, все виды добавок значительно увеличивают антиоксидантную активность пленок. Наилучшими антиоксидантными свойствами обладают пленки КК : АН состава 90 : 10, где в качестве растворителя использовали вместо воды гранатовый сок с добавками эфирного масла мяты и вьетнамской соли. Оценка морфологии

поверхности пленок с помощью СЭМ позволяет заключить, что замена воды на гранатовый сок приводит к изменению надмолекулярной структуры пленки (рис. 2): исчезают агрегаты и поверхность становится более однородной. Показано, что для композиции КК : АН = 70 : 30 уменьшение суммарной концентрации полимеров в растворе, от 6% до 4 %, приводит к увеличению размеров надмолекулярных агрегатов. Это можно связать с переходом при разбавлении макромолекул полимеров, в частности полиэлектролита АН в более развернутую конформацию.

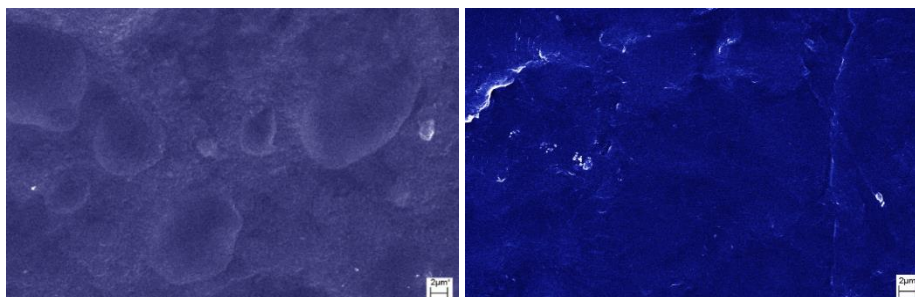


рис. а.

рис. б.

Рис. 2. СЭМ-снимки поверхности пленок состава КК : АН = 90 : 10 :
а – растворитель вода; б – гранатовый сок

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволили разработать новые составы полимерных композиций для формования пленок, содержащих полисахариды (КК, АН) и биологически активные ингредиенты растительного происхождения, которые вводились в формовочные композиции в виде водных экстрактов, соков или порошков.

Библиографические ссылки

1. Савицкая Т.А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов / Т.А. Савицкая // Полимерные материалы и технологии. – Минск: БГУ, 2018. 207 с.
2. Gheorghita (Puscaselu) R. The Use of Edible Films Based on Sodium Alginate in Meat Product Packaging: An Eco-Friendly Alternative to Conventional Plastic Materials / R. Gheorghita (Puscaselu), G. Gutt, S. Amariei // Coatings, 2020. Vol. 10, № 2. P. 166.
3. *Благодарность*: работа поддержана ГПНИ Республики Беларусь «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия» (подпрограмма «Лесохимия-2», НИР № гос. регистрации 20211446).

ВЛИЯНИЕ МЕСТА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛАВАНДЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА

А. С. Демченко

jimin921038@gmail.com;

Научный руководитель – Т. Н. Генарова, кандидат химических наук

В рамках данной работы были установлены основные физико-химические свойства эфирных масел и проведена сравнительная оценка данных констант для эфирных масел лаванды различных стран производителей. Так же были сделаны выводы о зависимости данных свойств эфирных масел от региона произрастания растения. Проведен анализ эфирного масла лаванды французского, английского и российского производства и полученные результаты сравнили с нормативными документами для данных регионов производства.

Ключевые слова: лаванда; эфирное масло лаванды; контроль качества; анализ эфирных масел.

ВВЕДЕНИЕ

Эфирные масла нашли большое применение в современном мире: их применяют не только в ароматерапии и парфюмерии, но также и в косметологии, и медицине. Наиболее широко известным и употребляемым в мире является эфирное масло лаванды. Оно обладает очень большим перечнем лечебных и успокаивающих свойств, а низкая вероятность появления аллергической реакции делает его ценным средством для ежедневного использования. Данное масло проявляет такие свойства как антибактериальное, обезболивающее, противосудорожное. Его также рекомендуют применять при бессоннице и депрессии [1].

Для эфирных масел устанавливают такие физические константы как плотность, угол вращения, показатель преломления и растворимость в спирте.

Из химических свойств основными являются кислотное число (КЧ), эфирное число (ЭЧ) [2].

Эфирное масло лаванды является бесцветной или бледно-жёлтой подвижной жидкостью горького вкуса с характерным запахом, который может сохраняться в течении двух-трех дней.

Физико-химические константы для эфирного масла лаванды:

- Плотность $d_{20}^{20} = 0,878 \div 0,890$;
- Показатель преломления $[n]_D^{20} = 1,457 \div 1,466$;
- Удельное вращение $[\alpha]_D^{20} = -12^\circ \div -6^\circ$;

- Растворимость в спирте (75%) составляет 2 объема этилового спирта к одному объему эфирного масла;
- Кислотное число для масла не должно превышать 1,2 (мг КОН/1г масла);
- Эфирное число не должно быть ниже 102,5 (мг КОН/1г масла) и не превышать 160 (мг КОН/1г масла) [3];

Все физико-химические характеристики будут варьироваться в определенных пределах для каждой страны производителя, которые в свою очередь будут зависеть от химического состава масла. Это можно объяснить сортом лаванды; климатом, где выращивалось растение; временем сбора сырья (лучшим считается начало ее цветения и утреннее время, когда сошла роса – именно в это время растение содержит максимальное количество эфирных масел); методом сушки сырья; технологическим способом извлечения масла из сырья; хранение и т. д.

Также для каждого эфирного масла, полученного в разных регионах характерен свой хроматографический профиль. Испытания проводят с помощью газовой хроматографии, и по полученной хроматограмме определяют репрезентативные и сопутствующие компоненты, а также их соотношение.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для определения подлинности и качества эфирного масла лаванды были выбраны образцы французского (Образец 1), английского (Образец 2) и российского (Образец 3) производителей. Они полностью соответствовали по пунктам: внешний вид, цвет и запах.

Проведен физико-химический анализ качества образцов методом рефрактометрии. Показатель преломления используется как константа для установления подлинности и чистоты исследуемых веществ. Испытание проводят в соответствии с общей фармакопейной статьей «Рефрактометрия».

Пробоподготовка перед хроматографированием. Перед определением компонентного состава образца методом газовой хроматомасс-спектрометрии эфирное масло лаванды растворяли в гексане в объемном соотношении 1:10

Данные хроматографического анализа были любезно предоставлены моим научным руководителем – Генаровой Т. Н.

Суммарная площадь пиков была принята за 100%. Коэффициенты чувствительности для всех веществ были условно приняты равными единице.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При хроматографировании образцов эфирных масел лаванды в среднем было выявлено до сотни различных соединений.

В таблице 1 представлен компонентный состав исследуемых образцов эфирных масел лаванды

Компонентный состав исследуемых образцов эфирных масел лаванды

Соединение	Относительное содержание, %		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
alpha-Pinene	0,07	0,02	1,19
alpha-Thujene	0,07	0,09	–
Camphene	0,44	0,53	0,07
beta-Thujene	0,02	0,03	–
Sabinene	0,14	–	–
beta-Pinene	0,37	0,81	0,55
beta.-Myrcene	0,64	–	0,45
D-Limonene	–	–	2,33
.beta.-Phellandrene	11,08	0,71	0,03
(+)-3-Carene	0,19	0,22	0,28
trans-.beta.-Ocimene	11,7	11,5	–
.beta.-Ocimene	2,83	2,93	0,17
Terpinene	0,16	0,11	0,01
Linalool	30,18	30,21	15,36
2,4,6-Octatriene,2,6-dimethyl-	1,06	1,19	–
Eucalyptol	0,33	0,11	0,6
Lavandulol	4,52	0,21	–
(+)-2-Bornanone	–	–	1,83
iso-Borneol	0,12	0,23	0,38
iso-Pulegol	1,27	1,71	–
.alpha.-Terpineol	2,12	0,13	1,67
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	–	–	15,38
1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl butyrate		24,18	–
Isobornyl acetate	–	–	2,08
(+)-4-Carene	–	–	1,12
(R)-lavandulyl acetate	26,3	4,9	–
Borneol	0,34	0,12	0,09
Nerol acetate	1,14	2,1	–
Geranyl acetate	1,98	2,12	0,23
alpha-Farnesene	0,15	0,08	–
4,7-Methano-1H-indenol, hexahydro-	–	–	6,0
Alloaromadendrene	3,66	–	–
Caryophyllene	2,47	6,54	–
cis-.beta.-Farnesene	3,12	4,0	–
Humulene	0,12	0,25	0,5
.gamma.-Muurolene	0,23	–	–

Окончание таблицы

Соединение	Относительное содержание, %		
	Образец 1	Образец 1	Образец 1
Carvophyllene oxide	0,38	0,04	–
beta.-Bisabolene	–	0,13	–
Linalyl butanoate	–	24,18	–
Bicyclo[3.1.1]heptane, 6-methyl-2-methylene-6-(4-methyl-3-pentenyl)-,	–	0,05	–
Diethyl Phthalate	–	–	38

Показатели преломления для Образцов 1, 2 и 3 составили 1,46139; 1,46142 и 1,47939, в то время как, согласно нормативным документам, допустимый диапазон значений составляет не более 1,4660. Таким образом, Образец 3 не соответствует стандарту ГОСТа [2], а, значит, не может считаться натуральным продуктом природного происхождения.

Как видно из таблицы 1 состав эфирных масел варьируется в зависимости от страны производителя, но во всех образцах были обнаружены репрезентативные компоненты. Как описано в нормативных документах [3, 4], основным компонентом исследованных образцов является линалоол, однако его содержание в Образце 3 не достигает и минимального значения содержания для данного региона выращивания, что может свидетельствовать о недоброкачественности эфирного масла.

Также следует учитывать наличие линалилацетата в Образцах 1 и 2 что говорит о том, что эфирное масло натурального происхождения. Качество эфирного масла лаванды, которое используется в парфюмерных целях, определяется как раз высоким содержанием в нем монотерпеновых спиртов и сложных эфиров, среди которых главенствующую роль принадлежит линалилацетату [5]. В Образце 3 данного компонента не обнаружено, но есть альтернативный линалиацетату компонент – 1,6-октадиен-3-ол, 3,7-диметил-2-аминобензоат – линалиламинобензоат или антранилат линалоола. Производные антраниловой кислоты являются синтетическими и применяются в производстве душистых веществ.

Также негативное влияние на аромат эфирного масла оказывает 1,8-цинеол [5]. 1,8-цинеол – моноциклический монотерпен. Он был обнаружен во всех образцах. Еще одно название данного компонента – эвкалиптол.

Лавандулол и лавандулилацетат были идентифицированы только в Образце 1, что свидетельствует о природном происхождении данного эфирного масла.

Цис-β-оцимен и транс-β-оцимен – ненасыщенные соединения, поэтому они чувствительны к окислению при действии кислорода воздуха при хранении. Совместное их нахождение было обнаружено только в

Образце 1. Следовательно, возникает предположение, что Образцы 2 и 3 были произведены гораздо раньше и возможно истечение срока годности данных эфирных масел.

В Образце 3 был обнаружен в большом количестве диэтилфталат (38%). В данном образце диэтилфталат может выполнять роль синтетического фиксатора запаха, так как в производстве дорогостоящих эфирных масел используются фиксаторы запаха природного происхождения, например, жиры [6]. Данное соединение является токсичным.

ВЫВОДЫ

Определены органолептические и физико-химические свойства трёх образцов эфирных масел лаванды французского, английского и российского происхождений. Все образцы отвечают требованиям стандарта по органолептическим характеристикам. По показателю преломления прошли тест только образцы эфирных масел французского и английского производителей. Несоответствие данного параметра и содержание диэтилфталата в образце российского производителя указывает на очевидный факт его низкого качества.

Установлено, что эфирное масло лаванды французского производителя содержит такие вещества природного происхождения как лавандулилацетат, лавандулол, терпен-4-ол, линалилацетат и цис- β -оцимен, которые отсутствуют в других исследуемых образцах, что указывает на то, что масла французского образца имеет природное происхождение по его хемотипу.

В ходе расшифровки хроматограмм всех образцов была установлена природа репрезентативных компонентов и описаны искусственно синтезированные компоненты в эфирном масле лаванды российского происхождения.

Библиографические ссылки

1. Свойства и применение эфирного масла лаванды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecogolik.ru/eco-articles/svoystva-i-primeneniye-masla-lavandy/>.
2. Физико-химические свойства эфирных масел и их стандартизация. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/4104028/page:5/>.
3. ГОСТ ISO 212-2014 «Масла эфирные. Отбор проб»
4. ГОСТ ISO 3515-2017 «Межгосударственный стандарт. Масло эфирное лавандовое. Технические условия»
5. *Lis-Balchin M. Lavander. The Genus Lavandula. Medicinal and Aromatic Plants– Industrial Profiles.* London, 2002, 268 p.
6. Аромат эфирных масел для приготовления духов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://school-science.ru/6/13/38491>.

РАДИОЛИЗ ГЛИЦЕРИНА И ЕГО ДЕЙТЕРИРОВАННОГО ПРОИЗВОДНОГО В ДЕАЭРИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПРИ pH 7,4

Е. С. Лев, О. В. Урбанович

lizaveta.leu@bk.ru, olga.urbanovich@gmail.com;

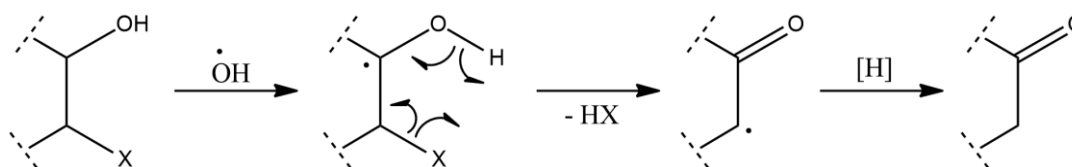
Научный руководитель — Р. Л. Свердлов, кандидат химических наук

В работе был определен состав и рассчитаны радиационно-химические выходы продуктов радиолитического распада 1,0 М и 0,1 М деаэрированных водных растворов глицерина и глицерина-2-d₁. Установлен цепной процесс дегидратации глицерина в его 1,0 М водном растворе. Для глицерина-2-d₁ показано частичное ингибирование дегидратации, что делает его более устойчивым к свободнорадикальным процессам.

Ключевые слова: глицерин; глицерин-2-d₁; радиолитический распад; свободнорадикальная фрагментация; кинетический изотопный эффект.

ВВЕДЕНИЕ

Свободнорадикальные превращения в клетке являются причиной ряда заболеваний: болезнь Альцгеймера, ревматоидный артрит, сердечно-сосудистые и раковые заболевания [1]. Известны процессы, протекающие в отсутствие кислорода, например, взаимодействие свободных радикалов с бифункциональными органическими соединениями, приводящее к фрагментации (рис. 1) [2].



X = -OH, -OR, -OCOR, -NH₂, -NHCOR, -OPO(OR)₂ и т. п.

Рис. 1. Фрагментация бифункциональных органических соединений [2]

Есть работы, посвящённые перекисному окислению дейтерированных по липофильной части молекулы липидов [3, 4], однако процесс фрагментации может быть ингибирован введением дейтерия в гидрофильную часть липидов – остаток глицерина. Целью данной работы является исследование радиационно-индуцированных свободнорадикальных превращений глицерина и глицерина-2-d₁ в деаэрированных водных растворах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все растворы были приготовлены путем взвешивания навесок с последующим разбавлением их 50 мМ фосфатным буфером (pH 7,40 ±

0,10). Дериватирующий агент готовился путем растворения 30 мг ДНФГ в 6,2 мл концентрированной HCl и разбавлением метанолом до 100 мл.

Синтез и очистка дейтерированного глицерина были осуществлены к.х.н., доцентом, Бекишем А. В. в ИФОХ НАН Б по методике [5].

Инициирование свободнорадикальных процессов проводилось γ -излучением изотопа ^{60}Co (установка «Исследователь», НПЦ НАН Б по материаловедению). Мощность дозы – $0,0582 \pm 0,0015$ Гр/с. Партия из 7 ампул с ~200 мкл раствора 1,0 М или 0,10 М глицерина или глицерина-2- d_1 облучались разное время: от 0 до 180 мин. Удаление кислорода из растворов осуществлялось продуванием аргона (99,993%) в течение часа, с последующей запайкой ампул.

Для проведения количественного анализа использовался жидкостный хроматограф Shimadzu LCMS-2020 с колонкой VP-ODS (150 мм, в. д. 4,6 мм, диаметр частиц 4,6 мм, диаметр пор 12 нм) при температуре 40 °С, скорости потока 0,8 мл/мин., градиентном режиме элюирования (линейное увеличение доли MeOH с 40% до 60% 13 минут, 9 минут 60% и уменьшение до 40% – 3 минут). Дериватизация проводилась автоматически: к 100 мкл исследуемого раствора прибавляли 100 мкл дериватирующего реагента, после перемешивания выдерживали в течение 15 минут.

Радиационно-химические выходы образования продуктов реакций рассчитывали на линейных участках зависимости концентраций веществ от поглощенной дозы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В ходе работы были рассчитаны радиационно-химические выходы (РХВ) основных продуктов радиолитического распада водных растворов глицерина и глицерина-2- d_1 , приведенные в таблице ниже.

Радиационно-химические выходы (молекул/100 эВ) основных продуктов радиолитического распада 1,0 М и 0,10 М растворов глицерина и глицерина-2- d_1

Продукты	Глицерин		Глицерин-2- d_1	
	1 М	0,1 М	1 М	0,1 М
3-гидроксипропаналь(I)	$5,007 \pm 0,451$	$2,441 \pm 0,122$	$2,979 \pm 0,351$	$1,610 \pm 0,126$
Гидроксиацетон (II)	$2,857 \pm 0,211$	$0,842 \pm 0,121$	$0,519 \pm 0,040$	$0,210 \pm 0,040$
Глицериновый альдегид (III)	$0,253 \pm 0,040$	$0,223 \pm 0,023$	$0,338 \pm 0,071$	$0,344 \pm 0,027$
Дигидроксиацетон (IV)	–	$0,026 \pm 0,005$	$0,032 \pm 0,003$	$0,025 \pm 0,008$

Инициирование радиолитических превращений органических соединений в водных растворах осуществляется в основном за счет реакций с участием частиц $\dot{\text{H}}$ и $\dot{\text{OH}}$, образующихся при радиолитическом распада воды. Механизмы образования продуктов дегидратации приведены на рис. 2.

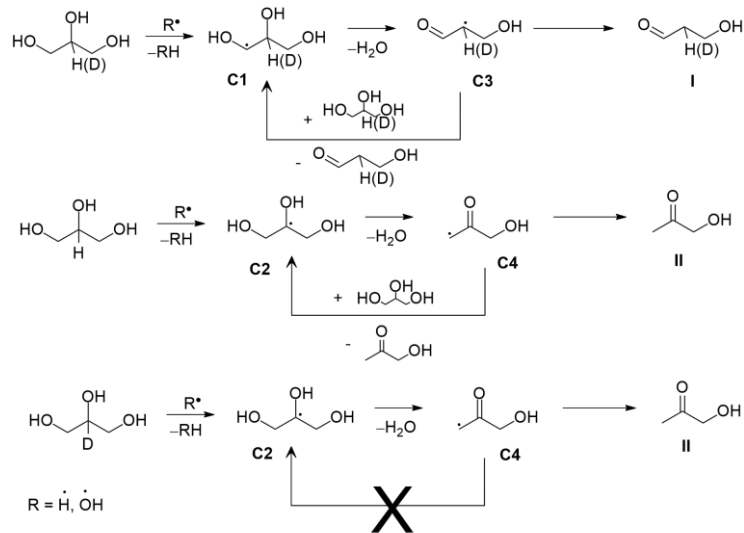


Рис. 2. Продукты дегидратации глицерина и глицерина-2-d₁ в деаэрированных водных растворах

Исходная молекула глицерина взаимодействует с \dot{H} и \dot{OH} с образованием углерод-центрированных радикалов C1 и C2. Эти радикалы подвергаются дегидратации с образованием C3 и C4, которые приводят к накоплению I и II соответственно. В свою очередь радикалы C3 и C4 могут отрывать атом H от исходной молекулы, обеспечивая цепной процесс образования продуктов.

Для глицерина-2-d₁ получение радикалов C2 связано с разрывом связи C–D, которая является более прочной, чем связь C–H. Поэтому разрыв связи C–D требует большей энергии. В результате это приводит к снижению РХВ продукта II.

Уменьшение количества радикалов C4 косвенно влияет на процесс образования I, поскольку оба радикала C3 и C4 участвуют в цепных процессах. Соответственно выход I также уменьшается. В итоге при переходе к глицерину-2-d₁ (1 М) выход I уменьшается в 5,5 раз, а II – почти в 1,7 раз.

Механизмы образования продуктов окисления приведены на рис. 3.

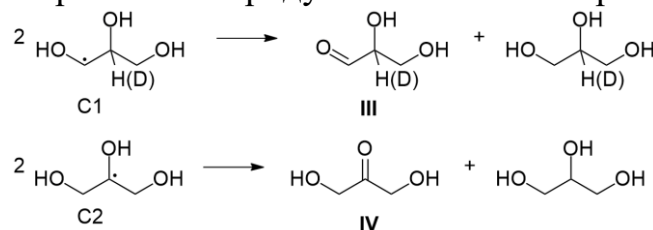


Рис. 3. Продукты окисления глицерина и глицерина-2-d₁ в деаэрированных водных растворах

По рассчитанным РХВ можно сделать вывод о том, что практически все радикалы С1 и С2 участвуют в реакциях дегидратации, так как вероятность встречи радикалов при диспропорционировании мала ввиду их низкой стационарной концентрации и радикалы дегидратируют до осуществления такого типа реакций. При переходе к глицерину-2-d₁ значения РХВ не изменяются. Это указывает на то, что ОН-радикалы с равной вероятностью разрывают связи С–Н и С–D.

При переходе от 1 к 0,1 моль/л раствору глицерина наблюдается снижение РХВ продуктов дегидратации, а для продуктов окисления снижение концентрации практически не влияет на величину РХВ.

Полученные данные указывают на то, что введение дейтерия в положение С₂ глицерина делает его более устойчивым к радиолузу, значительно ингибируя процессы свободнорадикальной фрагментации. Это указывает на перспективность дейтерирования углеродного скелета гидроксилсодержащих молекул для ингибирования их свободнорадикальных превращений и может быть успешно применено в сфере разработки фармацевтических препаратов на основе природных соединений. Также подобные исследования имеют большое значение для изучения механизмов свободнорадикальных превращений биомолекул, в частности липидов.

Библиографические ссылки

1. *Belete, T.M.* Recent updates on the development of deuterium-containing drugs for the treatment of cancer / *T.M. Belete* // *Drug.Des.Devel.Ther.* 2022. Vol. 16. P. 3465–3472.
2. *Петряев, Е. П.* Радиационная химия бифункциональных органических соединений / *Е. П. Петряев, О. И. Шадыро.* Минск: Университетское, 1986.
3. *Elharram, A.* Deuterium-reinforced polyunsaturated fatty acids improve cognition in a mouse model of sporadic Alzheimer's disease / *A. Elharram [et al.]* // *The FEBS Journal.* 2017. Vol. 284, № 23 P. 4083–4095.
4. *Firsov, A. M.* Threshold protective effect of deuterated polyunsaturated fatty acids on peroxidation of lipid bilayers / *A. M. Firsov [et al.]* // *FEBS J.* 2019. Vol. 286, № 11. P. 2099–2117.
5. *Petersen, A. R.* Vanadium-catalysed Deoxydehydration of Glycerol Without an External Reductant / *A. R. Petersen [et al.]* // *ChemCatChem.* – 2018. – Vol. 10, № 4. – P. 769–778.

КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА НА ГЕТЕРОПОЛИСОЕДИНЕНИЯХ ВОЛЬФРАМА

А. М. Левковец

che.levkovecAM@bsu.by;

Научный руководитель — Е. Г. Рагойжа, старший преподаватель

Перспективными катализаторами систем очистки выхлопных газов автомобилей и выбросов предприятий от оксидов азота являются катализаторы на основе гетерополикислот. Для успешной практической реализации данных катализаторов необходимы сведения как об энергетике и структуре поверхности катализатора, так и о закономерностях процессов адсорбции и механизма восстановления NO. Соответствующие данные являются результатами квантовохимического исследования, проведение которого и было целью данной работы.

Ключевые слова: DFT; процесс SCR; гетерополисоединения вольфрама; адсорбция; квантовохимические расчеты; барьер активации.

ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей является разработка каталитических систем очистки выхлопных газов автомобилей и выбросов предприятий от оксидов азота. Перспективными катализаторами такого типа являются катализаторы на основе гетерополикислот. В литературе представлен ряд экспериментальных исследований таких систем, однако для более глубокого понимания природы протекающих процессов необходимо также проведение теоретического исследования. Квантовохимические расчеты дают возможность получить ценную информацию о структуре и энергетике поверхности катализатора, а также о механизме процесса, которая может быть использована для повышения эффективности каталитического процесса. Таким образом, целью данной работы являлось проведение квантовохимического исследования процессов адсорбции и восстановления NO на вольфрамсодержащих гетерополикислотах.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Расчеты проводились в рамках теории функционала плотности (DFT). Использовался функционал TPSSh в комбинации с базисным набором SDD (для атомов вольфрама) и набором 6-311G* (для остальных атомов) с помощью программного пакета Gaussian16 [1]. Точность использованного метода при расчете энергетических и геометрических характеристик гетерополикислоты была показана ранее [2].

Энергия адсорбции рассчитывалась как разница между полной энергией адсорбата и энергией изолированных частиц, участвующих в

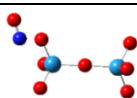
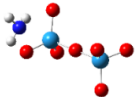
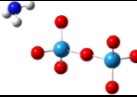
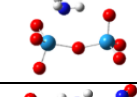
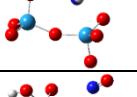
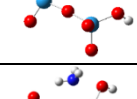
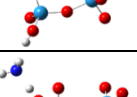
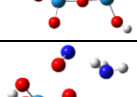
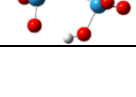
процессе адсорбции, с учетом ошибки суперпозиции базисного набора (BSSE). Расчет BSSE проводился с применением процедуры Counterpoise Correction.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАЛИЗАТОРА

Результаты исследования адсорбции исходных веществ процесса $\text{NH}_3\text{-SCR}$ (NO и NH_3) на простейших модельных системах $\text{W}_2\text{O}_7^{2-}$ (структуры 1–5) и $\text{H}_2\text{W}_2\text{O}_7$ (структуры 6–9) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Оптимизированные структуры адсорбатов

Номер структуры	Оптимизированная геометрия	Энергия адсорбции, кДж/моль	
		Без учета BSSE	С учетом BSSE
1		-26,68	-18,55
2		11,07	29,49
3		-48,18	-37,15
4		-33,53	-10,93
5		-71,61	-45,62
6		-16,79	-6,53
7		-113,07	-92,80
8		-84,96	-68,96
9		-126,74	-99,38

Молекула NO адсорбируется только на одном сайте дианиона (структура 1). В структурах 2 и 3 молекула аммиака адсорбировалась на боковой части катализатора. Вероятно, координация атомов водорода аммиака на линии с атомами кислорода дианиона обусловлена образованием водородных связей, что подтверждается и

энергией адсорбции, однако для дальнейшего взаимодействия с NO необходима локализация на атоме вольфрама (структура 4).

Также возможна совместная адсорбция NO и NH₃ молекул, которая является еще более выгодной (структура 5). Образование данного адсорбата и «запускает» реакцию, согласно механизму восстановления NO.

В случае частицы H₂W₂O₇ молекула NO способна почти безбарьерно сорбироваться-десорбироваться, образуя ряд структур, близких по энергии. Для адсорбции аммиака было обнаружено, что координация на сайте атома вольфрама энергетически выгоднее, чем на OH-группах молекулы катализатора. Следует отметить, что адсорбция молекулы NH₃ на H₂W₂O₇ в разы выгоднее, чем адсорбция оксида азота (II).

Энергия совместной адсорбции NO и NH₃ больше при координации и NO, и NH₃ на поверхности катализатора вблизи к атомам вольфрама вдоль связи W-O-W (структура 9).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА АЗОТА(II)

В рамках исследования был проведен анализ литературы и предложена схема механизма восстановления, включающая первоначальную адсорбцию молекул NO и NH₃ на соседних сайтах (или адсорбция только NH₃, в то время как NO участвует в реакции в неадсорбированном состоянии) с последующим взаимодействием упомянутых молекул между собой с образованием частицы NH₂-NO и отрывом атома водорода.

Были проведены расчеты интермедиатов и переходных состояний для соответствующих стадий, полученные результаты приведены в таблице 2. Барьер стадии передачи атома водорода с использованием в качестве катализатора дианиона значительно ниже, чем в случае протекания реакции без катализатора. Интересно, что в ходе реакции после передачи атома водорода дианион практически безбарьерно диссоциирует с образованием HWO₄⁻. Вероятно, данный процесс дополнительно стимулируется кулоновским отталкиванием двух отрицательно заряженных частей интермедиата.

Разрыв связи N-H в молекуле аммиака с участием молекулы H₂W₂O₇ протекает с большим барьером, чем в случае W₂O₇²⁻, при этом величина барьера практически не зависит от наличия адсорбированной на соседнем сайте молекулы NO.

Как видно из данных таблицы 2, адсорбция аммиака на нейтральной молекуле кислоты гораздо более выгодна, чем адсорбция с участием соответствующего аниона. В случае же энергетики адсорбции NO – ситуация обратная. Возможно, это связано с большей дестабилизацией адсорбата аммиака в случае отрицательно заряженной частицы W₂O₇²⁻ за

счет большего отталкивания с неподделенной электронной парой атома азота.

Таблица 2

Сравнение рассчитанных энергетических характеристик отдельных стадий механизма восстановления NO аммиаком

Стадия	Изолированные NO и NH ₃ [2]	Катализатор	
		W ₂ O ₇ ²⁻	H ₂ W ₂ O ₇
Энергия адсорбции NH ₃ , кДж/моль	—	-10,9	-92,8
Энергия адсорбции NO, кДж/моль	—	-18,6	-6,5
Энергия совместной адсорбции NO и NH ₃ , кДж/моль	—	-45,6	-99,4
Барьер разрыва связи в NH ₃ , кДж/моль	241,5	110,8	177,4
Барьер присоединения молекулы NO к частице -NH ₂ , кДж/моль		65,9	—

В случае скоростьлимитирующей стадии разрыва связи в молекуле аммиака процесс идет с гораздо меньшим барьером в случае дианиона, а дальнейшая передача атома водорода, наоборот, характеризуется меньшим барьером в случае молекулы кислоты. Можно предположить, что для повышения эффективности катализа необходимо создавать условия, способствующие ионизации молекул гетерополикислоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью квантовохимических расчетов была исследована адсорбция NO и NH₃, а также механизм восстановления NO на модельных частицах H₂W₂O₇ и W₂O₇²⁻. В результате данной работы были получены барьеры активации отдельных стадий механизма восстановления. Сравнение этих данных для разных катализаторов позволяет заключить, что для более эффективного катализа необходимо создавать условия для ионизации молекул гетерополикислоты.

Библиографические ссылки

1. Gaussian 16, Revision C.01 / M. J. Frisch [et al.]. Wallingford, 2016.
2. Рагойжа Е.Г., Матулис В.Э., Ивашкевич О.А. Разработка подхода к квантово-химическим исследованиям катализаторов восстановления оксидов азота на основе диоксида титана и гетерополикислот // Свиридовские чтения: сб. ст. 2022. Вып. 18. С. 54–66.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ ТЕРМИНАЛЬНЫХ АЦЕТИЛЕНОВ

Д. А. Леонков

LeonkovDA@bsu.by;

Научный руководитель — А. В. Зураев, кандидат химических наук, доцент

Синтез симметричных и несимметричных бутадиенов-1,3 представляет собой важную задачу, так как эти соединения представляют собой интересные мономеры в синтезе парамагнитных высокомолекулярных соединений и промежуточные продукты в синтезе биологически активных гетероциклических соединений. В данной работе разработана методика синтеза тетразол-содержащих бутадиенов-1,3 на основе реакции Глазера-Хэя и показана ее эффективность на примере синтеза 1,4-бис(2-трет-бутилтетразолил-5)бутадиена-1,3.

Ключевые слова: бутадиен-1,3; гомодин; 5-этинилтетразол; реакция Глазера-Хэя; реакция Глазера-Эглинтон-Хэя.

ВВЕДЕНИЕ

Существует достаточно много методов получения бутадиенов-1,3. Наиболее известными и распространенными являются методы, основанные на реакциях окислительного кросс-сочетания терминальных ацетиленов, и наиболее исследованной и популярной из этих реакций является реакция Глазера-Хэя (рис. 1), основанная на гомогенном катализе координационными соединениями Pd, Cu и Au. Несмотря на высокую эффективность таких каталитических систем, их недостатками являются высокая стоимость используемых благородных металлов, а также необходимость использования труднодоступных лигандов [1].



Рис. 1. Схема получения бутадиеновой структуры методом Глазера

Принимая во внимание вышеизложенное, нами проведено исследование различных медьсодержащих каталитических систем в реакции окислительного кросс-сочетания терминальных ацетиленов и произведена оценка их эффективности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве модельного ацетилена был выбран фенилацетилен, поскольку схож по своим свойствам с 5-этинилтетразолом и коммерчески доступен, а синтезируемый 1,4-дифенилбутадиен-1,3 (ДФБД)

представляет собой мономер для синтеза парамагнитного полидифенилбутадиина, находящего применение в качестве компонента фотопроводящих материалов и электрофотографических слоев, а также широко применяющегося в термореактивных композициях и в качестве прекурсора в синтезе природных и биологически активных соединений [1, 2].

Общая методика синтеза 1,4-дифенилбутадиина-1,3 (Рисунок 2).

К раствору соли меди (0,2 ммоль, 10 мол%) в растворителе (2 мл) добавляли 1 ммоль лиганда и перемешивали при комнатной температуре в течение 30 мин. Затем в реакционную смесь вносили 110 мкл (1 ммоль) фенилацетилена. За начало реакции принимали время внесения в реакционную смесь фенилацетилена. Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре в течение 0,5–3 ч., после чего полученный раствор упаривали при пониженном давлении. Твердые остатки продуктов пропускали через хроматографическую колонку с силикагелем, в качестве элюента использовали смесь PE:EtOAc (2:1). Полученный раствор упаривали и получали белые игольчатые кристаллы с температурой плавления 88 °С.

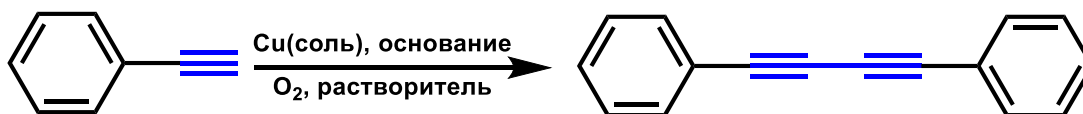


Рис. 2. Схема синтеза 1,4-дифенилбутадиина-1,3

В ходе исследования использовали следующие соединения:

Соли меди: $\text{CuBr}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, CuBr , CuCl , $\text{Cu}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

Основания: пиридин, морфолин, пиперидин, тетраметилэтилендиамин (TMEDA), этилендиамин, гидразин гидрат;

Растворители: дихлорметан, ацетонитрил (MeCN), толуол, метанол, пропанол-2, тетрагидрофуран (ТГФ), N,N-диметилформамид (DMFA), вода.

В ходе исследования выяснилось, что применение TMEDA и морфолина в качестве оснований приводит к количественному выходу ДФБД. Намного более низкие препаративные выходы ДФБД наблюдались в случае использования ацетата меди (II), этилендиамина и пиридина. При использовании гидразина гидрата получить ДФБД не удаётся. Также стоит отметить низкие выходы целевого продукта при использовании в качестве растворителей воды, DMFA и толуола.

Влияние температуры и количества катализатора на выход продукта реакции не рассматривалось в связи с неконтролируемой

олигомеризацией 5-этинилтетразолов при нагревании выше 50°C и способностью 5-этинилтетразолов к эффективному комплексообразованию по атомам азота гетероцикла с медью [3].

Таким образом, проведенные модельные эксперименты по синтезуДФБД позволяют сделать вывод, что ряд соединений можно использовать в реакции окислительного гомосочетания 2-трет-бутил-5-этинилтетразола (рис. 3), а именно CuCl/CuBr, TMEDA/морфолин, CH₂Cl₂/MeCN/ТГФ.



Рис. 3. Схема синтеза 1,4-бис(2-трет-бутилтетразолил-5)бутадиина-1,3

Общая методика синтеза 1,4-бис(2-трет-бутилтетразолил-5)бутадиина-1,3 аналогична таковой дляДФБД.

Полученный сухой остаток перекристаллизовали из EtOH. Получали белые кристаллы с температурой плавления 175-176 °С.

Несмотря на высокие результаты в синтезеДФБД, в случае 2-трет-бутил-5-этинилтетразола применение морфолина и CuCl дает только следовые количества целевого продукта. Наиболее эффективным оказалось применение системы CuBr/TMEDA/CH₂Cl₂ с выходом целевого диина 65%. Строение полученного соединения подтверждено методами ИК- и ¹H, ¹³C ЯМР-спектроскопии [3].

Библиографические ссылки

1. Shi, W., Lei, A. 1,3-Diyne chemistry: synthesis and derivations. *Tetrahedron Letters*, **2014**, 55(17), 2763–2772.
2. Diederich, F., Stang, P. J., Tykwinski, R. R. Acetylene Chemistry: Chemistry, Biology and Material Science; Wiley-VCH, **2005**.
3. Belousov, G. K., Zuraev, A. V. New approach to the synthesis of tetrazole-containing buta-1,3-diyne: The total synthesis of 1,4-Bis(2-(tert-butyl)-2H-tetrazol-5-yl)buta-1,3-diyne. *Tetrahedron Letters*, **2019**, 60(45), 151217.

СИНТЕЗ 4-МЕТОКСИБЕНЗИЗОКСАЗОЛ-5-КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ И ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ АГЕНТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Д. И. Павлович

dimapavlovich@gmail.com;

*Научный руководитель — Ю. А. Пивень, кандидат химических наук,
старший научный сотрудник*

На основе шестичленных циклических β -трикарбонильных соединений впервые синтезирован ряд 4-метоксибенз[*d*]изоксазол-5-карбоновых кислот, которые далее были использованы для получения амидов, представляющих интерес в качестве изоформ-селективных ингибиторов белка теплового шока 90 бета (HSP90 β). При помощи набора физико-химических методов исследований доказана структура и чистота целевых соединений. Тестирование полученных амидов на антипролиферативную активность в отношении линий клеток рака молочной железы HCC1954 и MCF7 продемонстрировало наличие умеренной активности, что свидетельствует о перспективности дальнейших исследований в данном направлении.

Ключевые слова: ингибиторы HSP90; циклические β -трикетоны; изоксазолы; антипролиферативная активность; двумерная ЯМР-спектроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

Белок теплового шока 90 (HSP90) — это АТФ-зависимый молекулярный шаперон, который ответственен за корректный фолдинг, стабильность и функционирование «клиентских» белков. Многие из них являются онкогенными и вовлечены в прогрессирование онкологических заболеваний. Ввиду особенностей среды развития раковых клеток (гипоксия, низкий рН, плохое снабжение питательными веществами), они в большей степени зависимы от нормального функционирования HSP90, что объясняет повышенную в 2-10 раз экспрессию этого белка в раковых клетках по сравнению с нормальными. Таким образом, ингибирование жизненного цикла шаперона HSP90 индуцирует деградацию «клиентских» белков и последующее нарушение многих сигнальных путей в раковых клетках одновременно [1].

Однако, на сегодняшний день лишь один разработанный ингибитор HSP90 получил одобрение для применения в Японии. Среди проблем, которые препятствуют введению ингибиторов HSP90 в широкую клиническую практику, часто указывают различные виды токсичности и активацию ответа на тепловой шок. Для преодоления этих недостатков было предложено несколько путей решения, наиболее перспективный из которых является разработка изоформ-селективных ингибиторов HSP90. Известно четыре изоформы белка теплового шока, каждая из которых

имеет свои особые «клиентские» белки, локализацию в клетке и незначительные отличия от остальных в аминокислотном составе [2]. В данной работе нами была выбрана β -изоформа HSP90 в качестве целевой для разработки и синтеза потенциальных ингибиторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За основу была взята структура уже описанного в литературе ингибитора HSP90 β (рис. 1) [3]. Путём анализа комплекса белок-лиганд было сделано предположение, что введение дополнительного заместителя в положение 3 (см. рис. 1) может привести к увеличению сродства к HSP90 β за счет наличия дополнительных гидрофобных взаимодействий с аминокислотами белка.

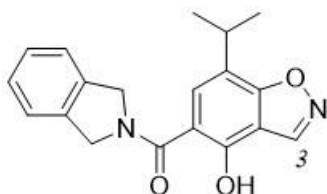


Рис. 1. Описанный ранее HSP90 β -селективный ингибитор

При помощи методов компьютерного моделирования и анализа литературы был выбран ряд соединений для синтеза (**1а-д**). Исходное β -дикарбонильное соединение **2** подвергалось *O*-ацилированию хлорангидридами соответствующих карбоновых кислот с образованием смеси енолацилатов **3а-д** и **4а-д**. Последующая *O*-*C* изомеризация приводила к образованию β -трикарбонильных соединений **5а-д**. β -Трикетоны **5а-д** подвергали гетероциклизации с гидроксиламином, получая смесь региоизомерных изоксазолов. Преобладающий в смеси изоксазол (**6а-д**) выделяли многократной перекристаллизацией продукта из диэтилового эфира. Ароматизация в бенз[*d*]изоксазолы **7а-д** достигалась последовательным бромированием и дегидробромированием изоксазолов **6а-д**. Защита гидроксигруппы и омыление сложного эфира приводили к образованию ряда 3-алкил(арил)-4-метоксибенз[*d*]изоксазол-5-карбоновых кислот **8а-д**. На последнем этапе было осуществлено ацилирование изоиндолина хлорангидридами карбоновых кислот и снятие метильной защитной группы с образованием целевых соединений **1а-д** (рис.2).

Структура конечных соединений была доказана с помощью двумерной спектроскопии ядерного магнитного резонанса, масс-спектрометрии высокого разрешения, а чистота была определена при помощи высокоэффективной жидкостной хроматографии.

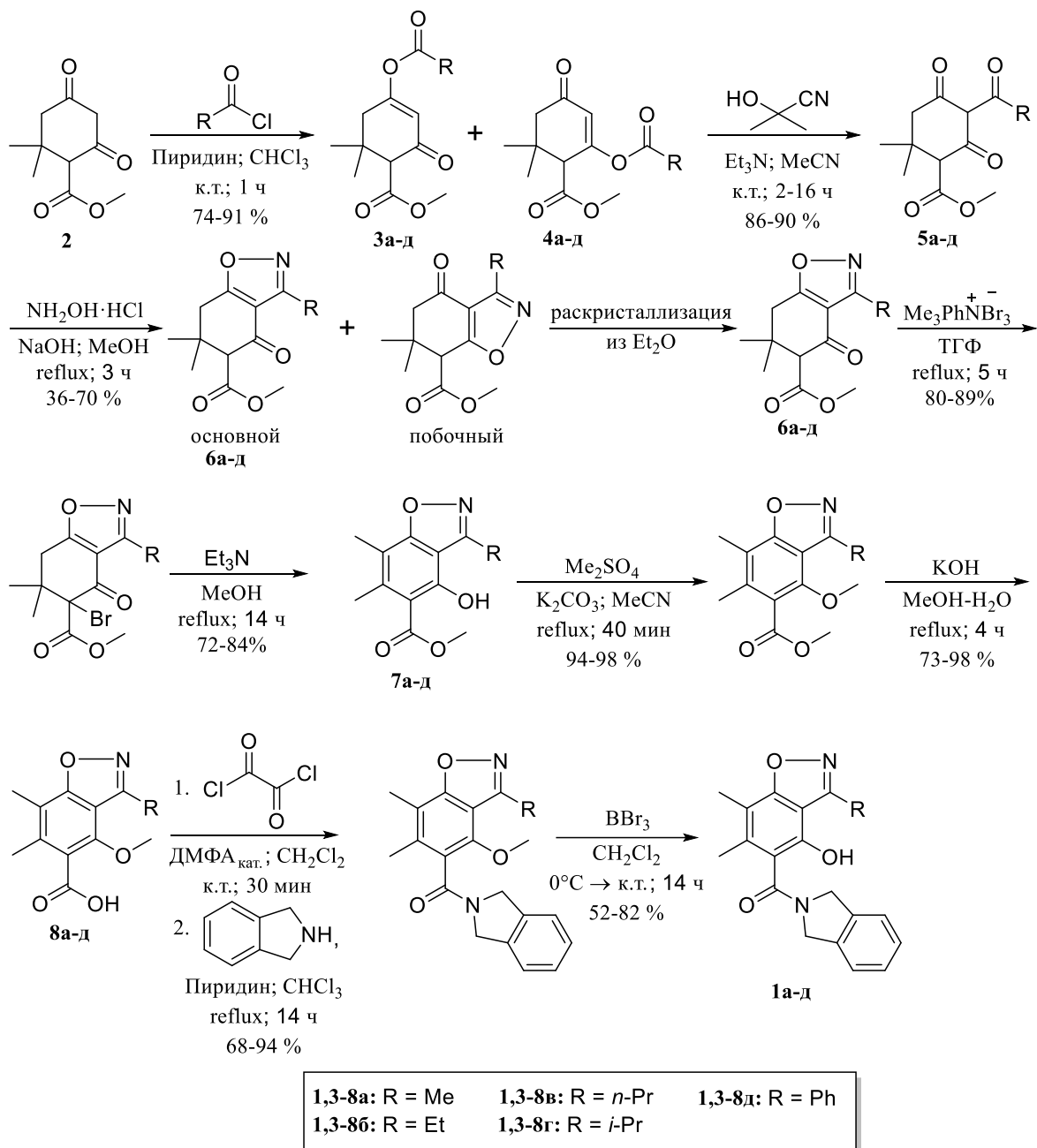


Рис. 2. Полная схема синтеза целевых соединений

Для проведения биоиспытаний полученные соединения были переданы в лабораторию онкопротеомики НМИЦ онкологии Н. Н. Блохина г. Москва. Была проведена оценка антипролиферативной активности соединений **1a-d** на линиях клеток рака молочной железы HCC1954 и MCF7. Соединения проявили умеренную активность в отношении указанных линий раковых клеток (таблица), что свидетельствует о перспективности дальнейших биологических исследований данных веществ.

**Результаты испытания целевых соединений на антипролиферативную
активность**

Соединение	Выживаемость линии клеток при концентрации соединения 50 μM , %		Концентрация полуингибирования (IC_{50}), μM	
	MCF7	HCC1954	MCF7	HCC1954
1a	74.73	71.09	>50	>50
1б	64.03	59.63	>50	>50
1в	72.82	67.34	>50	>50
1г	68.10	36.17	>50	31.7
1д	51.66	77.93	>50	>50

Библиографические ссылки

1. Yu, J. Pan- and isoform-specific inhibition of Hsp90: Design strategy and recent advances / J. Yu, C. Zhang, C. Song // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2022. Vol.238, article 114516.
2. Dernovsek, J. Following the design path of isoform-selective Hsp90 inhibitors: Small differences, great opportunities / J. Dernovsek, T. Tomasic // *Pharmacology & Therapeutics*. 2023. Vol.245, article 108396.
3. Structure-guided design of an HSP90 β N-terminal isoform selective inhibitor / A. Khandelwal [et al.] // *Nature Communications*. 2018. Vol.9. P. 425 – 432.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ФЕРРИТОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ РАЗМЕРАМИ И ФОРМОЙ ЧАСТИЦ

И. Ю. Полын

iliapolyn@gmail.com

Научный руководитель — В. В. Паньков, доктор химических наук, профессор

Целью работы являлось применение различных методов синтеза порошков кобальт-цинкового феррита, а также определение его структурных свойств и морфологических особенностей методами рентгеновского анализа и сканирующей электронной микроскопии. Для получения феррита использовались следующие методы: распылительная сушка, керамический и золь-гель методы.

Ключевые слова: кобальт-цинковый феррит; распылительная сушка; золь-гель метод; керамический метод синтеза.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии получения магнитных порошковых ферритов является областью интенсивных исследований вследствие широкого спектра их применения – от элементной базы электронных приборов до медицинской диагностики. Причем известны многочисленные способы получения порошков ферритов. Наиболее распространены следующие способы: керамический метод; химическое соосаждение; золь-гель метод; восстановление металлосодержащих соединений; высокотемпературный пиролиз; распылительная сушка. Актуальной задачей является возможность управляемого синтеза порошков ферритов этими методами.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРЕМЕНТА

Распылительная сушка. Суть метода состоит в том, что смесь растворов солей, переведенная посредством ультразвукового распылителя в состояние аэрозоля с размером частиц 0,5 – 1,0 мкм, переносится газом – носителем в горячую камеру, где испаряется растворитель; образовавшийся оксидно-солевой продукт собирают на фильтре [1].

Керамический метод синтеза – один из самых распространённых и простых методов, используемых в промышленности для изготовления ферритов. Чаще всего в качестве исходных реагентов используются оксиды и соли соответствующих металлов [2].

Золь-гель метод основывается на образовании из раствора соответствующих солей золя и последующим переводом его в гель. В качестве золя-образователя часто выступает лимонная кислота, которая

при $\text{pH} \approx 7$ образует хелатные комплексы (pH регулируется путем добавления NH_3). Нагревание геля приводит к самовоспламенению смеси и образованию конечного продукта [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Распылительная сушка

На рисунке 1 продемонстрированы результаты исследований образцов ферритов, синтезированных с помощью распылительной сушки.

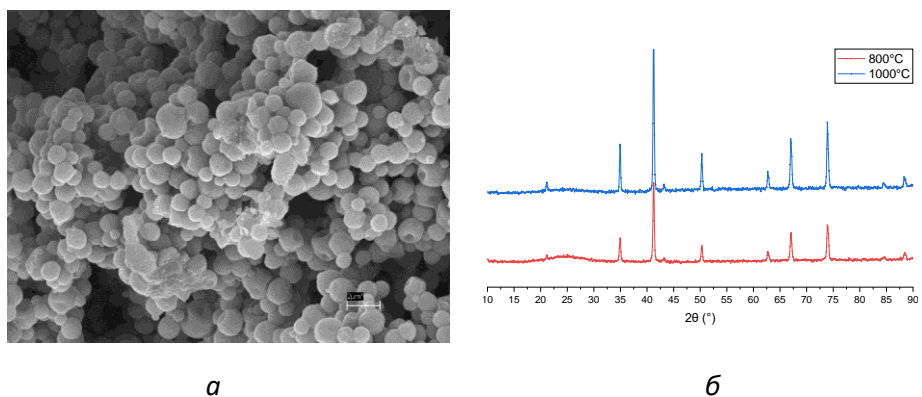


Рис. 1. Микрофотография (а) и рентгеновские спектры (б) порошка CoZn феррита

Проанализировав полученные РФА спектры можно заключить о формировании однофазного после обжига феррита $\text{Co}_{0.65}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_2\text{O}_4$. На фото видны сферические частицы размером до 2 мкм. Исходя из деформаций некоторых сфер, можно предположить о наличии полости внутри.

Керамический метод

На рисунке 2 продемонстрированы результаты исследований образцов ферритов, полученных керамическим методом.

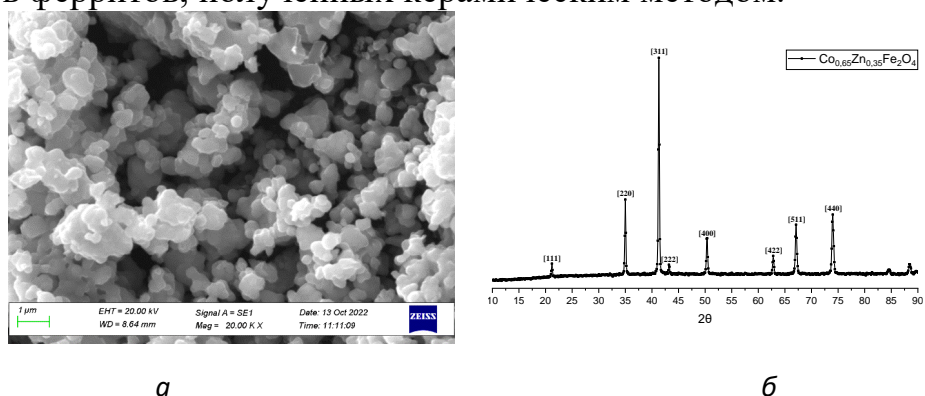


Рис. 2. СЕМ фото (а) и РФА спектры (б) CoZn феррита (керамический метод 1100°C)

Проанализировав полученный спектр можно заключить о формировании однофазного $\text{Co}_{0.65}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_2\text{O}_4$ со структурой шпинели. Небольшая ширина рефлексов, а также низкая интенсивность шумов свидетельствуют о большом размере кристаллитов и малом количестве дефектов.

Снимок, представленный на рисунке 2, демонстрирует ограниченную форму частиц со средним размером 0,5 мкм.

Золь-гель метод

На рисунках 3, 4 продемонстрированы результаты исследований образцов ферритов, синтезированных золь-гель методом.

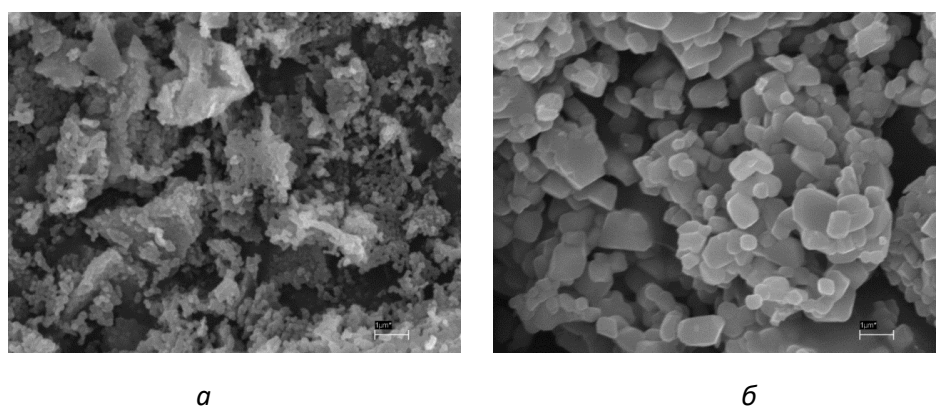


Рис. 3. СЕМ снимки образцов ферритов, обожжённых при 900°C (а) и 1150°C (б)

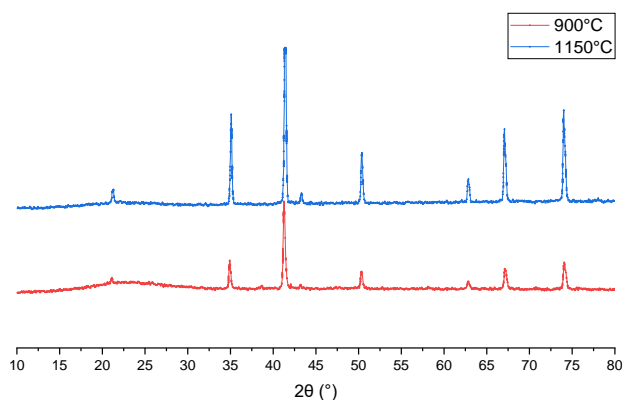


Рис. 4. Спектры образцов, полученных золь-гель методом

На рисунке 3 представлены СЕМ снимки частиц, полученных золь-гель методом и обожжённых при температурах – 900 и 1150°C. Если при

обжиге 900°C размер частиц доходит до 100 нм, то при температуре 1150°C кристаллы увеличиваются до 1000 нм и приобретают огранку.

Анализ рефлексов указывает на формирование однофазных материалов со шпинельной структурой состава $\text{Co}_{0.65}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_2\text{O}_4$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение исследованных методов между собой демонстрирует, что частицы, синтезированные золь-гель методом, будут иметь меньшие размеры (от 20 до 35 нм в зависимости от температуры), чем в случае керамического метода (500 нм) или метода распылительной сушки (1000 нм). Также установлено, что только у частиц, полученных распылительной сушкой наблюдается сферическая форма. Интерес может вызывать то, что размер частиц, полученных керамическим методом, в наших экспериментах (1000 нм) оказался меньше, чем для частиц, получаемых в промышленности. Это может быть связано как влиянием температуры на кристаллообразование, так и интенсивностью помола материала.

Результаты РФА анализа показывают, что частицы, полученные керамическим методом, обладают большей степенью кристалличности, чем полученные золь-гель методом или распылительной сушкой. Также у частиц, полученных распылительной сушкой наблюдается промежуточные фазы, существующие при низкой температуре их обжига.

Библиографические ссылки

1. Методы получения наноразмерных материалов: курс лекций. - Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», Екатеринбург. 2009. 79 с.
2. *Гаврилова Л.Я.* Методы синтеза и исследование перспективных материалов: учебное пособие / Л.Я. Гаврилова. - Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», Екатеринбург. 2007. 79 с.
3. Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application / *D. Bokov, A. Turki Jalil, S. Chupradit, W. Suksatan, M. Javed Ansari, I. H. Shewael, G. H. Valiev, E. Kianfar* // Advances in Materials Science and Engineering 2021. vol. 2021. P 21.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЛЕДОВЫХ КОЛИЧЕСТВ ЛАКТОНОВ В АРОМООБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВАХ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

В. А. Прокопчук

nikaprokopchuk09@gmail.com;

Научный руководитель — В. Р. Юрченко, ассистент кафедры аналитической химии

Разработана методика определения следовых количеств лактонов в ароматообразующих веществах пищевой продукции методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием в режиме мониторинга выбранного иона. В ходе разработки методики определения следовых количеств лактонов в режиме выбранного иона было определено количество характеристических масс, достаточных для нормальной идентификации лактонов в сложных смесях. Было изучено влияние степени разбавления на форму пиков и определен рабочий диапазон концентраций.

Ключевые слова: лактоны; ароматообразующие вещества; следовые количества; газовая хроматография; масс-спектрометрическое детектирование.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы производство алкогольных напитков значительно увеличилось, объем мирового рынка алкоголя в стоимостном выражении составляет триллион долларов. Для получения еще большей прибыли производители фальсифицируют алкогольную продукцию для минимизации издержек при производстве. Выявлению идентификационных признаков крепких алкогольных напитков и их анализу уделяют большое внимание, поскольку фальсифицированные спиртные напитки могут нанести серьезный ущерб здоровью и в некоторых случаях даже жизни человека.

Одним из способов определения фальсификата алкогольной продукции, выдержанной в дубовой древесине, является отсутствие лактонов. Например, γ -лактоны, δ -лактоны, в особенности виски-лактон, являются одними из наиболее важных соединений, влияющих на органолептические характеристики алкогольной продукции, выдержанной в дубовой древесине. Несмотря на их значительный вклад в общее ощущение вкуса, количество лактонов в ароматообразующих веществах очень низкое, и для их определения требуются чувствительные аналитические методы.

Хроматография является основным методом анализа лактонов, а в случае летучих соединений широкое применение находит газо-жидкостная хроматография с масс-селективным детектированием.

Мониторинг выбранных ионов (SIM) — это режим масс-детектора, широко используемый для анализа следовых количеств. В нем масс-спектрометр не записывает полные масс-спектры, а настраивается на мониторинг интенсивности конкретных m/z . SIM позволяет повысить селективность и чувствительность анализа [1].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для разработки методики определения следовых количеств лактонов в SIM режиме следует определить количество характеристических масс, необходимых для нормальной идентификации. Эксперимент проводился на простой смеси бутанола в этаноле с использованием системы HP-5890/5972 в следующих условиях [2]:

- Капиллярная кварцевая колонка «Инновакс» 50% полиэтиленгликоль 55 м на 0,25 мм;
- Газ-носитель – гелий;
- Скорость потока – 0,9 мл/мин;
- Давление на входе в колонку – 97кПа;
- Ручной ввод пробы объемом 1 мкл, режим ввода – со сбросом избытка пробы 1:30;
- Температура инжектора 250 °С, температура колонки изменяется в соответствии с программой: начальная температура 50 °С поддерживается постоянной 3 минуты, далее увеличивается со скоростью 12 град/ мин до 140 °С. Температура детектора 280 °С;
- Условия детектирования: энергия электронов ионизации — 70 эВ, режим сканирования ионов — от 19 до 450 m/z .
- Запись хроматограммы начинается спустя 8 минут после ввода пробы, что связано с задержкой на пик растворителя, который не регистрируется детектором.

В ходе эксперимента выявлено, что при малом количестве характеристических масс пик расщепляется. При уменьшении на одну характеристическую массу при каждом сканировании, малейшее расщепление наблюдается уже при 4 m/z , которое постепенно усиливается (рис. 1).

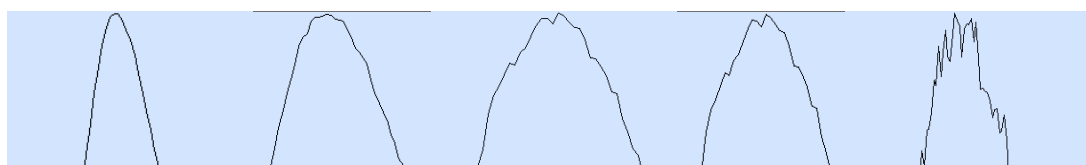


Рис. 1. Хроматограмма бутанола 10^{-8} М sim-режим 9, 4-1 m/z

Предполагаемая причина подобного явления, следующая: хроматограмма – это наложение всех распознанных детектором характеристических масс, соответственно, чем меньше характеристических масс детектируется, тем более резкое падение интенсивности пиков масс-спектра происходит и наблюдается большее расщепление пика, в результате вещество не распознается.

Для определения следовых количеств лактонов в сложной смеси требуется определить рабочий диапазон концентраций (рис. 2).

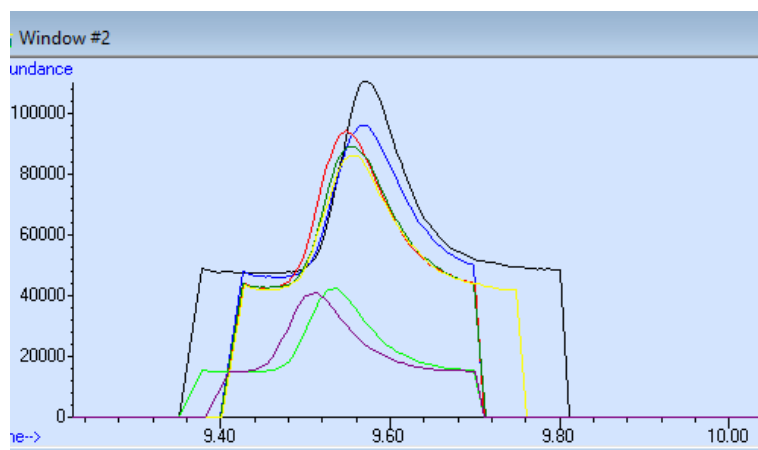


Рис. 2. Хроматограмма бутанола 10^{-6} - 10^{-9} М sim-режим 9 m/z

Установленный рабочий диапазон концентраций составляет 10^{-6} – 10^{-9} М. Показано, что разбавление не влияет на форму пиков.

Следующей задачей эксперимента было определить следовые количества лактонов, а именно дельта-декалактона, дельта-ундекалактона, дельта-додекалактона в образце ароматизирующей добавки, используемой в винной продукции, в режиме полного ионного тока (рис. 3).

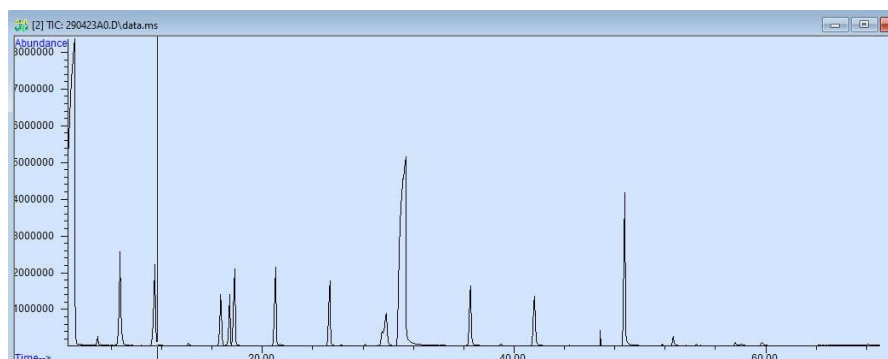


Рис. 3. Хроматограмма образца ароматизирующей добавки в режиме полного ионного тока 10^{-6} М 4 m/z

Искомых веществ обнаружено не было, но органолептический анализ указывал на наличие данных веществ в образце.

После подбора оптимальных условий для разработки методики определения следовых количеств лактонов в режиме мониторинга выбранного иона, проанализирован образец ароматизирующей добавки (рис. 4).

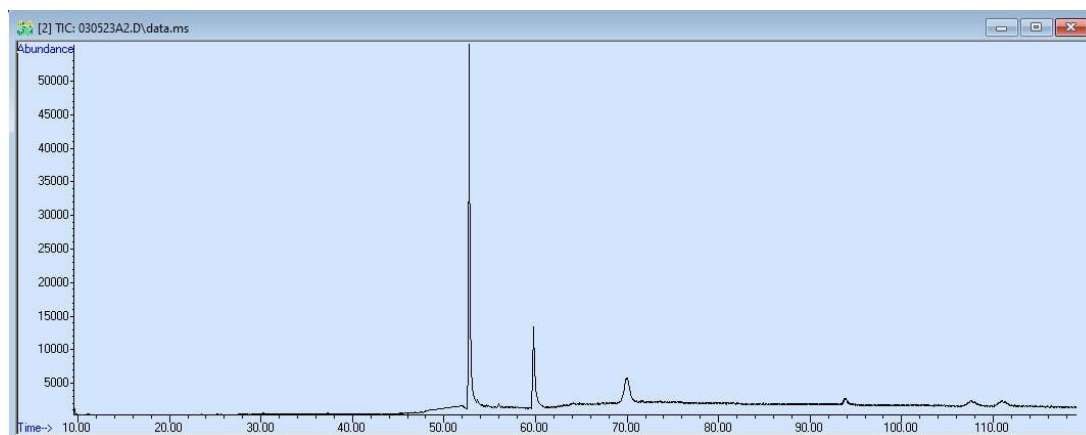


Рис. 4. Хроматограмма образца ароматизирующей добавки $1541 \cdot 10^{-6}$ М sim-режим 4 m/z

В образце подтверждено наличие искомых лактонов.

Таким образом, разработана методика определения следовых количеств лактонов в ароматизирующих веществах пищевой продукции методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием в режиме мониторинга выбранного иона.

Библиографические ссылки

1. Shimadzu.com [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/gas-chromatograph-mass-spectrometry/required_tools/scan_and_sim.html. Дата доступа: 04.06.2023.
2. Масс-селективный детектор 5972 Инструкция по аппаратной оснастке / Agilent Technologies. 1999. 320 с.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 5-(2-ОКСИМЕТИЛ-4-НИТРОФЕНИЛ)-ФУРАН-2-КАРБАЛЬДЕГИДА В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

М. Р. Сысоенков, А. А. Алейникова

maxim.s.chem@gmail.com, sashaleinikova@gmail.com;

Научный руководитель — А. В. Блохин, доктор химических наук, профессор

Производные фурана являются биологически активными соединениями, что актуализирует необходимость определения термодинамических свойств данного класса соединений. В настоящей работе представлено исследование термодинамических свойств 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида в конденсированном состоянии. Полученные данные могут использоваться при решении задач оптимизации производственных процессов.

Ключевые слова: термодинамические свойства; 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегид; арилфурфураны; адиабатическая калориметрия; теплоёмкость.

ВВЕДЕНИЕ

5-(2-Оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегид относится к арилфурфуранам, т. е. органическим соединениям, в структуре которых есть бензольное кольцо и альдегидная группа, присоединённые к гетероциклическому фурановому кольцу. Арилфурановые производные применяются, в частности, в качестве антибактериальных средств, как ингибиторы ВИЧ-1 протеаз, для модификации хитозана с целью увеличения его растворимости и спектра применимости хитозана как антимикробного и антифунгального средства [1, 2, 3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

5-(2-Оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегид был получен по реакции Меервейна. Для подтверждения структуры образца использовались методы ЯМР-спектроскопии. Чистота образца проверялась методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием и подтверждалась результатами газового анализа продуктов сгорания во время калориметрических исследований.

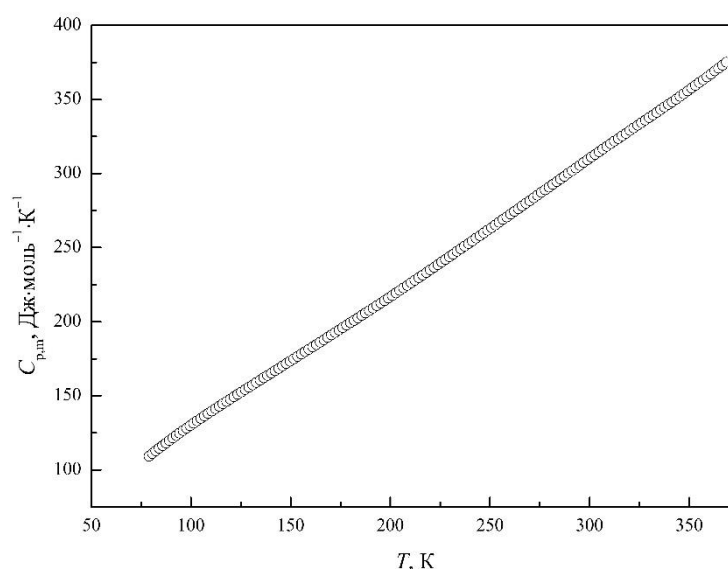
Методом адиабатической калориметрии была получена температурная зависимость теплоемкости 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида в интервале (80–370) К (рис.). Измерения проводились в автоматизированном вакуумном адиабатическом калориметре ТАУ–10 (изготовленном в АОЗТ «Термис», г. Менделеево Московской области), описанном ранее в [4]. Погрешность определения

теплоемкости в температурном интервале (80 – 370) К не превышает $\pm 0,4$ %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сглаженные значения стандартных термодинамических функций (теплоемкости, энтропии, приведенной энтальпии и приведенной энергии Гиббса) 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида в интервале (80–370) К приведены в Таблице.

На основании температурной зависимости теплоёмкости 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида впервые были рассчитаны его стандартные термодинамические функции в конденсированном состоянии в том же температурном интервале.



Температурная зависимость теплоемкости 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида

Сглаженные значения стандартных термодинамических функций 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида в температурном интервале (80 – 370) К

Т, К	$C_{p,m}^o$	$\Delta_{80}^T H_m^o / T$	$\Delta_{80}^T S_m^o$	$-\Delta_{80}^T G_m^o / T$
	Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹			
80	$110,5 \pm 0,4$	0,00	0,00	0,00
90	$120,7 \pm 0,5$	$12,85 \pm 0,05$	$13,61 \pm 0,05$	$0,7598 \pm 0,0030$
100	$130,3 \pm 0,5$	$24,12 \pm 0,10$	$26,83 \pm 0,11$	$2,709 \pm 0,011$

Окончание таблицы

Т, К	$C_{p,m}^o$	$\Delta_{80}^T H_m^o / T$	$\Delta_{80}^T S_m^o$	$-\Delta_{80}^T G_m^o / T$
	Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹			
110	139,3 ± 0,6	34,18 ± 0,14	39,67 ± 0,16	5,488 ± 0,022
120	148,0 ± 0,6	43,31 ± 0,17	52,17 ± 0,21	8,859 ± 0,035
130	156,6 ± 0,6	51,69 ± 0,21	64,35 ± 0,26	12,66 ± 0,05
140	165,1 ± 0,7	59,48 ± 0,24	76,27 ± 0,31	16,78 ± 0,07
150	173,6 ± 0,7	66,81 ± 0,27	87,95 ± 0,35	21,14 ± 0,09
160	182,1 ± 0,7	73,74 ± 0,29	99,45 ± 0,40	25,70 ± 0,10
170	190,6 ± 0,8	80,37 ± 0,32	110,8 ± 0,4	30,44 ± 0,12
180	199,3 ± 0,8	86,73 ± 0,35	121,9 ± 0,5	35,21 ± 0,14
190	207,9 ± 0,8	92,88 ± 0,37	133,0 ± 0,5	40,07 ± 0,16
200	216,8 ± 0,9	98,85 ± 0,40	143,8 ± 0,6	44,98 ± 0,18
210	225,8 ± 0,9	104,7 ± 0,4	154,6 ± 0,6	49,95 ± 0,20
220	234,9 ± 0,9	110,4 ± 0,4	165,4 ± 0,7	54,95 ± 0,22
230	244,1 ± 1,0	116,0 ± 0,5	176,0 ± 0,7	59,98 ± 0,24
240	253,4 ± 1,0	121,5 ± 0,5	186,6 ± 0,7	65,04 ± 0,26
250	262,7 ± 1,1	127,0 ± 0,5	197,1 ± 0,8	70,11 ± 0,28
260	272,1 ± 1,1	132,4 ± 0,5	207,6 ± 0,8	75,20 ± 0,30
270	281,7 ± 1,1	137,8 ± 0,6	218,1 ± 0,9	80,29 ± 0,32
280	291,2 ± 1,2	143,1 ± 0,6	228,5 ± 0,9	85,40 ± 0,34
290	300,7 ± 1,2	148,3 ± 0,6	238,9 ± 1,0	90,51 ± 0,36
298,15	308,5 ± 1,2	152,6 ± 0,6	247,3 ± 1,0	94,68 ± 0,38
300	310,3 ± 1,2	153,6 ± 0,6	249,2 ± 1,0	95,63 ± 0,38
310	319,7 ± 1,3	158,8 ± 0,6	259,5 ± 1,0	100,8 ± 0,4
320	328,9 ± 1,3	164,0 ± 0,7	269,8 ± 1,1	105,9 ± 0,4
330	337,9 ± 1,4	169,1 ± 0,7	280,1 ± 1,1	111,0 ± 0,4
340	347,1 ± 1,4	174,2 ± 0,7	290,3 ± 1,2	116,1 ± 0,5
350	356,5 ± 1,4	179,3 ± 0,7	300,5 ± 1,2	121,2 ± 0,5
360	366,3 ± 1,5	184,3 ± 0,7	310,7 ± 1,2	126,4 ± 0,5
370	376,6 ± 1,5	189,4 ± 0,8	320,9 ± 1,3	131,5 ± 0,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы было выполнено термодинамическое исследование 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида. Полученные результаты могут использоваться при дизайне и синтезе

биологически активных соединений арилфуранового ряда. Также стандартные термодинамические функции 5-(2-оксиметил-4-нитрофенил)-фуран-2-карбальдегида в температурном интервале (80 – 370) К находят применение при моделировании экспериментов с участием данного вещества.

Библиографические ссылки

1. *Duffy J.L. [et al.]*. HIV protease inhibitors with picomolar potency against PI-Resistant HIV-1 by extension of the P₃ substituent // *Bioorganic & medicinal chemistry letters*. 2003. Vol. 13, № 15. P. 2569–2572.
2. *Chethan P.D. [et al.]*. Preparation of substituted quaternized arylfuran chitosan derivatives and their antimicrobial activity // *International journal of biological macromolecules*. 2013. Vol. 59. P. 158–164.
3. *Martins A.F. [et al.]*. Antimicrobial activity of chitosan derivatives containing N-quaternized moieties in its backbone: a review // *International Journal of Molecular Sciences*. 2014. Vol. 15, № 11. P. 20800–20832.
4. *Blokhin A.V., Paulechka Y.U., Kabo G.J.* Thermodynamic Properties of [C₆mim][NTf₂] in the Condensed State // *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2006. V. 51, № 4. P. 1377–1388.