

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАУКИ

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

Материалы конференции

Минск, 15–25 мая 2024 г.

В трех частях

Часть 1

Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2024

ISBN 978-985-881-664-3 (ч. 1)
ISBN 978-985-881-663-6

© БГУ, 2024

УДК 32(06)
ББК 66я431

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* (зам. гл. ред.);
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*

81-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс] : материалы конф., Минск, 15–25 мая 2024 г. В 3 ч. Ч. 1 / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. В. Блохин (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-664-3.

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 06.08.2024. Объем 8,68 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 81-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ	10

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Арзамазкина К. И., Герман А. Д. Воздействие свободных аминокислот на продукцию активных форм кислорода в условиях <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i>	13
Веснина Е. В. Выделение не фитопатогенных бактерий-фосфатмобилизаторов, перспективных для включения в биопрепараты для растениеводства	17
Вечерек М. С. Селекция микроводорослей, продуцирующих биоводород	21
Горелик К. М. Качественный и количественный анализ пигментов бактерий, выделенных из орнитогенных почв восточной антарктиды	25
Григорович В. Г., Журавицкий П.О. Сравнительный анализ эффективности регуляции параметров углеводного и энергетического обмена лабораторных мышей препаратами центеллы азиатской (<i>Centella asiatica</i>) и гуараны (<i>Paullinia cupana</i>) в экспериментальной модели интенсивной физической нагрузки	29
Григорьева Н. А. Иммунная реакция в листьях <i>Solanum tuberosum</i> в ответ на внедрение <i>Pectobacterium versatile</i>	33
Змитрович И. В., Красовский М. А. Влияние мягкой холодной плазмы на ростовые процессы и содержание активных форм кислорода в корнях высших растений	37
Зуёнок С. С. Анализ структуры и функций ионных каналов семейства Cyclic Nucleotide Gated Channels (CNGC) высших растений	40
Илькевич Д. А. Линейные ПЦР ампликоны трансгенов для трансфекции клеток ..	44
Кезик С. В., Кабулов Т. А. Использование нейронных сетей для выделения комет молекул ДНК	48
Клочкова Е. О. Абсцизовая кислота как модулятор иммунного ответа растений ...	52
Копылева Д. В. Выделение и очистка рекомбинантного человеческого интерлейкина-4 из телец включения <i>Escherichia coli</i>	56
Куркач А. С. Выделение, очистка и характеристика физико-химических свойств тирозиназы из грибов <i>Agaricus bisporus</i>	60
Леонович В. В. Изучение фитостимулирующей активности свободноживущих бактерий-азотфиксаторов	63
Лукашенко Н. А. Характеристика транспортеров ГАМК и перспектива применения метода крио-электронной микроскопии для определения 3D-структуры везикулярного ГАМК транспортера	67

<i>Мучинская П. О., Тарима В. В.</i> Воздействие наночастиц оксидов меди и железа на рост и архитектуру корня арабидопсиса	71
<i>Мыслейко М. А.</i> Потенциальная токсичность цианобактериальных «цветений» в водоемах Вилейско-Минской водной системы	75
<i>Новолодская С. Л.</i> Структура и динамика комплексов шмелей (<i>Bombus Latr.</i>) – посетителей соцветий инвазивных золотарников в Минской области	79
<i>Отейчук Е. В.</i> Поиск не симбиотических бактерий-азотфиксаторов, перспективных для использования в агробиотехнологиях	83
<i>Паришута С. С.</i> Создание генно-инженерной конструкции для экспрессии белка E2 капсида вируса диареи крупного рогатого скота 1-го типа в клетках бактерий <i>E. coli</i>	87
<i>Пластинина О. В.</i> Очистка модифицированного белка E2 вируса диареи крупного рогатого скота из телец включения.....	90
<i>Политыко А. А.</i> Выделение микроорганизмов – продуцентов гидролитических ферментов – потенциальной основы биопрепаратов для растениеводства	94
<i>Ромашева А. А.</i> Фотосинтетическая деятельность как основа семенной продуктивности растений гороха посевного (<i>Pisum sativum L.</i>)	98
<i>Савицкий А. С.</i> Использование методов цифрового фенотипирования и компьютерного зрения для анализа ростовых процессов у <i>Arabidopsis thaliana</i> ..	101
<i>Соболева А. А., Шаховская К. С.</i> Структура энтомофауны хorto- и герпетобионтов на разных типах газонов урбоценозов.....	105
<i>Сузько И. А.</i> Поиск актиномицетов, обладающих антагонистической активностью по отношению к фитопатогенным микроорганизмам	109
<i>Толкач А. А., Микша Е. Ч.</i> Влияние диодного ультрафиолетового излучения на рост и накопление АФК в клетках корня <i>Arabidopsis thaliana</i>	113
<i>Шпак А. П.</i> Гепатопротекторные свойства османтуса душистого в условиях хронической алкогольной интоксикации	117
<i>Яковлева В. Г.</i> Однонуклеотидные вариации и их детекция в клетках человека..	120

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

<i>Васькович М. Н.</i> Оледенения и особенности формирования болот Беларуси в четвертичном периоде	124
<i>Воробей М. В.</i> Эффективность геостатистического анализа распределения почвенной кислотности для проведения известкования пахотных земель	128
<i>Давидович Ю. С.</i> Типология геосистем с использованием геоинформационных технологий (на примере Белорусского Полесья)	134
<i>Марченко Ф. М.</i> Оценка экологического состояния зелёных насаждений парка 50 - летия Великого Октября	139

<i>Небышинец А. М.</i> Климатическая уязвимость Беларуси: методы оценки, факторы региональных различий.....	142
<i>Попова Е. С.</i> Особенности лабораторных НРНТ и CVD алмазов	146
<i>Тимошенко В. А.</i> Изменение уровня режима реки западная двина на территории Беларуси за период потепления климата	149
<i>Чарковский В. В.</i> Значение возобновляемой энергетики в обеспечении энергетической и экономической безопасности Республики Беларусь	156
<i>Шалковская И. А., Ярмула А. С.</i> Сеньор-туризм в Европе: география и лучшие практики	161
<i>Шило А. С.</i> Проблемы обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Минской области	168
<i>Шкабара А. В., Сочивко В. Л.</i> Анализ затопляемости пойменных территорий реки Западной Двина	172
<i>Эйвазов Ю. Г.</i> Природный и этнокультурный потенциал Пружанского района как фактор развития устойчивого туризма	178

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<i>Азаров Н. А.</i> Возможности использования искусственного интеллекта в образовательных целях	183
<i>Афанасенко Г. С.</i> Чтение по губам русской речи на основе технологии распознавания лиц	188
<i>Бадак Б. А.</i> О формировании практико-ориентированной математической компетентности студентов инженерных специальностей	192
<i>Борсук Р. А., Дмитриев А. А.</i> Математическая модель в создании виртуальных туров: практическое руководство	196
<i>Бураков Д. И.</i> Сравнение моделей LSTM и Holt-Winters для прогнозирования цен акций apple	200
<i>Гриц А. Ю.</i> Исследование и реализация мобильного приложения «кодексы РБ»: анализ и возможности	203
<i>Гутор А. Г.</i> Формулы для нахождения корней некоторых многочленов над кольцами с делением	207
<i>Карпович В. В.</i> Разработка веб-приложения для верификации информации на историческую тему и по изобразительному искусству	211
<i>Ковалевская В. С.</i> Анализ социальных сетей	214
<i>Люксембург И. Л.</i> Непрерывное представление алгебр разрывных функций.....	218
<i>Марус А. С.</i> Прогнозирование стоимости поездки в такси с помощью методов машинного обучения	223
<i>Михневич Н. В.</i> «Система корпоративного контроля HRM » с использованием технологий Vue.js, Node.js	227

<i>Мордачёв С. В.</i> О разработке и моделировании тестовых заданий по математике в системе Moodle	230
<i>Нгуен Ле Динь</i> Дифференциальные уравнения типа тимошенко длинноволновых деформаций ультратонкой полосы с учетом поверхностных эффектов	236
<i>Слиняков П. А.</i> Метод нахождения допустимых пар функций активации нейронной сети	241
<i>Старовойтов Н. А.</i> Исследование и разработка мобильного приложения «Taste Trove» для оптимизации поиска кулинарных рецептов.....	245
<i>Bochkarev I. S.</i> The ideas of proving the collatz conjecture	249
<i>Bryzgalov V. A.</i> The crucial role of mathematics in electronic warfare operations.....	252
<i>Grits A. Y., Ptushko V. A.</i> The internet of things in the modern world.....	256
<i>Lyapich M. A.</i> The impact of artificial intelligence on cybercrime	261

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<i>Анцух М. А.</i> Оптимизация смешивания в бозонных цепочках типа Руднера – Левитова	265
<i>Борисевич Е. А.</i> Использование метода дискриминации выходных сигналов детекторов ионизирующего излучения по форме их импульса (PSD) для решения спектрометрических задач	269
<i>Городко Т. И.</i> Квантовомеханические исследования нанопластин функционализированного дисульфида молибдена	273
<i>Грудский А. А.</i> Влияние ионной проводимости плазматической мембраны тромбоцитов на их агрегационную активность	277
<i>Ерёменко Е. А.</i> Экспериментальное определение порогов графитизации монокристалла НРНТ -алмаза под воздействием лазерного излучения	282
<i>Павлов Д. А.</i> Распознавание рака кожи с помощью нейронных сетей	286
<i>Помахо В. Ю., Григорьев А. В.</i> Разработка программно-аппаратного комплекса для обеспечения стабильной работы твердотельного лазера с пассивным затвором при работе в широком диапазоне частот следования импульсов	290
<i>Сиротюк А. С.</i> Влияние 4f-электронов на структурные, электронные и магнитные свойства перовскитного ортоалюмината неодима	295
<i>Старцева А. Л., Литовик П. В.</i> Стойкость к окислению сплавов на основе титана и алюминия	299
<i>Штырёв Д. И., Наркевич Д. А.</i> Физико-химические процессы в водных растворах моно- и дисахаридов с точки зрения оптической активности.....	303

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

<i>Азявчиков А. П.</i> Использование параллельных вычислений для ускорения массовых операций с однородными данными	307
<i>Акулич Е. С.</i> Моделирование и оптимизация инсулинотерапии пациентов с сахарным диабетом	312
<i>Бажанова Н. Д.</i> Коррекция прогнозов на основе моделей временных рядов с автокоррелированными остатками	316
<i>Вереник А. А.</i> Моделирование процессов магнитной записи в режиме реального времени	321
<i>Воронкина И. М.</i> Оценивание меры иррегулярности графа	326
<i>Гонтарев И. В.</i> Технология разработки мультимодальных систем поддержки принятия решений	330
<i>Гузаревич А. В.</i> Идентификация микобактерии туберкулеза и нетуберкулезных микобактерий на основе геномных данных	334
<i>Дасько Ф. Б.</i> Алгебраическое описание криптографических преобразований	339
<i>Жалова Д. А.</i> Анализ методов распознавания объектов в видео в задаче распознавания жестовых языков	344
<i>Каркоцкий А. Г.</i> Разработка рекомендательной системы с визуализацией данных	348
<i>Костяной А. А.</i> Исследование практических улучшений для приближенного решения задачи коммивояжера в графах, где расстояние образует метрическое пространство	353
<i>Мальцев М. Д., Темняков Я. В.</i> Создание сайта для факультета прикладной математики и информатики БГУ с миграцией данных из старой версии сайта	357
<i>Матюхин И. А.</i> Разработка модуля «дорогами учёных» для проекта «интерактивная карта БГУ»	361
<i>Метельская Э. В.</i> Условия оптимальности в минимаксной задаче управления типа лагранжа	364
<i>Микулич Г. В.</i> Дискриминантный анализ стационарных временных рядов в пространстве МП-оценок коэффициентов авторегрессии	368
<i>Недзьведь А. А.</i> Определение класса местности на мультиспектральном изображении с использованием ковариационных матриц	373
<i>Петько А. Д.</i> Применение вейвлет-преобразований для анализа временных рядов	377
<i>Сергеев А. В.</i> Разработка рекомендательной системы на основе двухбашенной архитектуры	382
<i>Сергиенко И. С.</i> Мобильный клиент приложения «интерактивная карта БГУ»	387
<i>Слаук Я. А.</i> Исследование аналога модели Курно с негладкой функцией цены	391

<i>Соломевич А. С.</i> Проектирование сервиса машинного перевода с использованием механизма внимания	395
<i>Савенок Е. Н.</i> Структурные свойства графов с экстремальными значениями метрик загребского типа	400
<i>Тышко Ю. Ю.</i> Оптимальные стратегии управления в линейных терминальных задачах с полиэдральными ограничениями	404
<i>Хмель В. П.</i> Методика построения аналитических систем на основе сервисов искусственного интеллекта.....	408
<i>Шибалко С. А.</i> Нейросетевая модель многомерных двоичных временных рядов.	412

ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

<i>Белодедов А. А.</i> Разработка учебного приложения по изучению механической части устройства контроля воздушного пространства на стационарном компьютере.....	417
<i>Бельчанкова Е. С.</i> Разработка приложения для мониторинга уровня сахара и упрощения самоконтроля диабета	421
<i>Братулин К. Е., Войтович Е. А.</i> Алгоритм построения полезной области на космическом снимке.....	425
<i>Булавко А. А., Труханович А. Л.</i> Измерение ионизирующего излучения с использованием метода обратного счета на базе микроконтроллера STM32	429
<i>Гринадёр О. Д., Ярмантович А. А., Микитчук Е. П., Баранова В. С.</i> Разработка модуля беспроводной оптической связи для космических применений	432
<i>Капура И. В., Корбан А. А.</i> Формирование тонких слоев $\text{LiCoO}_2/\text{LiPON}$ методами магнетронного и электронно–лучевого осаждения.....	437
<i>Качук И. А.</i> Локализация одиночных молекул в биоизображениях	441
<i>Колесников К. Д.</i> Разработка программного приложения для корреляционного анализа стереоизображений.....	445
<i>Коровицкий А. С., Филиппович В. Ю.</i> Формирование широкополосных антиотражающих покрытий на основе полимера и стекловолокна с углеродными наполнителями	449
<i>А. Д. Косенко</i> Разработка программно-аппаратного комплекса для детектирования эмиссии метана на участках торфодобычи	454
<i>Мазец В. Л., Буняк А. Г., Переверзева О. В., Микитчук Е. П.</i> Гоморфная фильтрация МРТ-изображений для визуализации структур головного мозга.....	458
<i>Маслак Т. О.</i> Разработка модуля измерения температуры для датчика А315.....	462
<i>Медведев Н. И.</i> Портативный модуль измерения диаграммы направленности антенны S-диапазона	466
<i>Рундыгин С. Д.</i> Использование АЦП для детектирования неисправности в низковольтной сети электропитания	470

<i>Савицкий С. А.</i> Измерения профиля широкоапертурной антенны активной оптической системой.....	474
<i>Федосеев В. С.</i> Методы анализа спектральных характеристик объектов, регистрируемых аппаратурой дистанционного зондирования Земли.....	478
<i>Филей К. Е.</i> Создание голосового ассистента для операционной системы Windows.....	482
<i>Челевич И. М.</i> Реализация сервера протокола SCPI для измерительных устройств семейства Almameter	486
<i>Шевченко З. А.</i> Модель оптимизации движения на дорожном участке города	491
<i>Хунъюань Ван</i> Разработка безопасной информационной системы с веб-интерфейсом	495

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<i>Завалинич В. А.</i> Хемоселективные реакции окислительного раскрытия циклопропанолов в присутствии катализаторов на основе меди(II).....	499
<i>Куницкий А. В.</i> Синтез оксидно-композитных покрытий на магниевом сплаве методом плазменно-электролитического оксидирования	504
<i>Сердюк М. Е.</i> Фотокаталитические свойства диоксида титана с контролируемыми фазовыми и размерными характеристиками	508
<i>Петрусенко Е. В.</i> Систематический анализ межатомных взаимодействий лигандов с белками на примере стероид-гидроксилаз человека	512
<i>Некрасова Е. А.</i> Разработка нового стереоселективного метода синтеза <i>транс</i> -2;6-дизамещенных тетрагидропиранов каскадной реакцией олефинирования лактолов / циклизацией по <i>оса</i> -Михаэлю.....	516

ОБ ИТОГАХ ПРОВЕДЕНИЯ 81-Й НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ БГУ

А. А. КУХАРЕНКО, Ю. С. СЕМЕНЮК

С 15 по 25 мая 2024 года в Белорусском государственном университете была проведена 81-я научная конференция студентов и аспирантов. Заслушивание докладов было организовано в офлайн и онлайн форматах на 318 секциях и подсекциях 18 подразделений университета. На конференции выступили с докладами 4041 участник из БГУ, других УВО Республики Беларусь и стран ближнего и дальнего зарубежья. В рамках конференции было прочитано 4168 докладов. В работе конференции приняли участие учащиеся гимназий и лицеев г. Минска. В рамках конференции были проведены научно-популярные мероприятия «Декада студенческой науки».

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

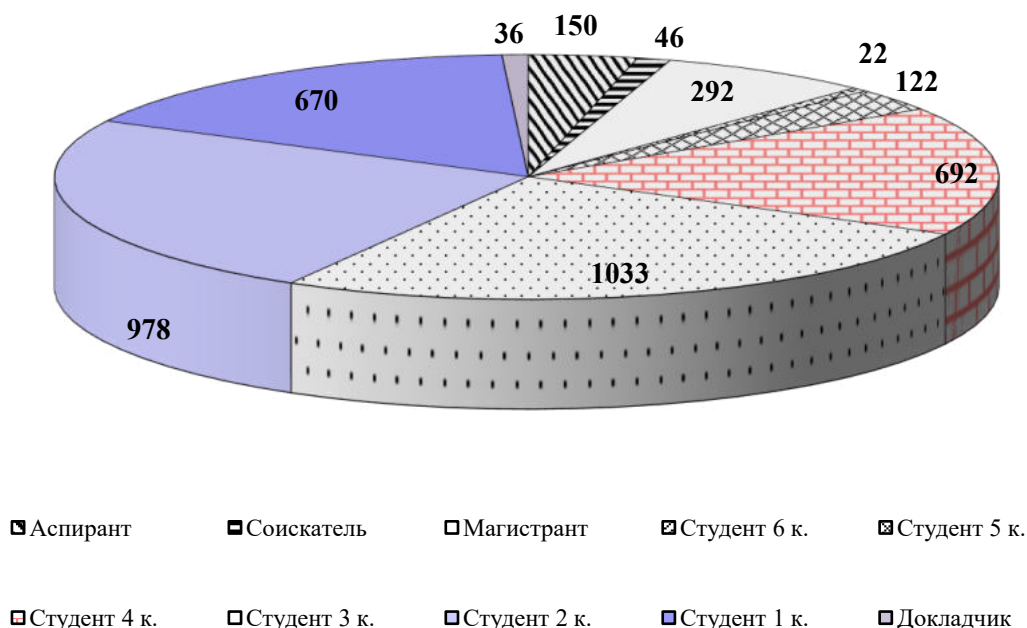
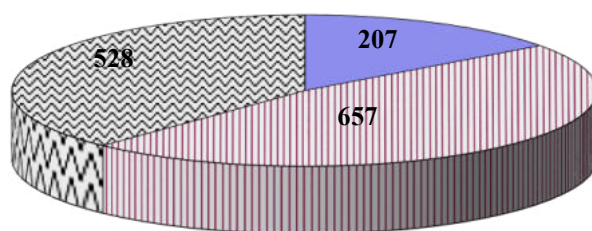


Рис. 1. Участники конференции

Качество докладов участников конференции в значительной степени определяется профессионализмом их научных руководителей. Количе-

ство 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 1392 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	556	314	148	106	68	49	49	17	29	11	11
Количество докладов, подготовленных под руководством одного сотрудника БГУ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Продолжение таблицы 1

Количество научных руководителей докладчиков	11	4	2	4	4	3	3	1	1	1
Количество докладов, подготовленных под руководством одного сотрудника БГУ	12	13	14	15	16	17	18	21	22	27

Эффективность участия в конференции студентов и аспирантов разных подразделений БГУ отражена в таблице 2. Наибольшее количество участников (604 человека) являются студентами и аспирантами факультета международных отношений, они прочитали 713 докладов на 66 секциях и подсекциях.

Таблица 2

Количество участников и докладов, представленных на конференции

Название подразделения БГУ	Кол-во докладов	Кол-во участников	Кол-во заседаний
Факультет международных отношений	713	604	66
Филологический факультет	521	471	43
Юридический факультет	360	350	24
Факультет социокультурных коммуникаций	359	359	31
Факультет философии и социальных наук	291	303	26
Факультет журналистики	256	225	15
Экономический факультет	244	259	15
ГУО «Институт бизнеса Белорусского государственного университета»	241	276	7
Исторический факультет	225	217	14
Факультет прикладной математики и информатики	159	162	16
Физический факультет	145	144	12
Химический факультет	144	143	12
Факультет радиофизики и компьютерных технологий	140	142	8
Механико-математический факультет	117	118	11
Факультет географии и геоинформатики	113	113	12
Биологический факультет	99	107	4
Кафедра педагогики и проблем развития образования	35	42	1
ГУО «Институт теологии имени святых Мефодия и Кирилла» БГУ	6	6	1

Таким образом, 81-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 XXXI Республиканском конкурсе научных работ студентов учреждений высшего образования Республики Беларусь.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ВОЗДЕЙСТВИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ НА ПРОДУКЦИЮ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В УСЛОВИЯХ *IN VITRO* И *IN VIVO*

К. И. Арзамазкина¹⁾, А. Д. Герман²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, arzamazkina@yandex.by

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь
Научный руководитель – В. С. Мацкевич

Активные формы кислорода (АФК) являются продуктами нормального метаболизма в клетках живых организмов, однако их повышенная продукция в ответ на действия абиотических и биотических факторов среды приводит к развитию оксидативного стресса, который в свою очередь приводит к повреждению биомолекул и даже гибели. В данной работе была изучена способность различных аминокислот влиять на выработку АФК в условиях *in vitro* и *in vivo*.

Ключевые слова: активные формы кислорода; гидроксильный радикал; ЭПР-спектроскопия; арабидопсис.

Одним из наиболее значимых повреждающих факторов среды, действующих на биологические макромолекулы, являются активные формы кислорода (АФК). Среди них гидроксильный радикал ($\text{HO}^\bullet$) обладает наивысшей реакционной способностью и является наиболее опасным для живых систем [1]. За счет высокого редокс-потенциала ($E_0 = +2,32 \text{ В}$, рН 7) гидроксильный радикал может окислять практически любое химическое соединение, включая ДНК, белки и липиды [2], опосредуя большинство цитотоксических эффектов в аэробных организмах. Один из путей образования $\text{HO}^\bullet$ в живых системах – это восстановление H_2O_2 , катализируемое ионами переходных металлов (Fe^{2+} , Cu^+ и др.). В связи с этим, данная реакция часто используется для количественной оценки антиоксидантной способности растительных экстрактов и биологически активных веществ. Известно, что пул свободных аминокислот играет важную роль в росте и развитии растений, сигнальных явлениях, а также участвует в реакции растения на стресс [3]. Целью данной работы было оценить способность важнейших аминокислот влиять на продукцию $\text{HO}^\bullet$ в условиях *in vitro* и *in vivo*.

Для исследования химии свободных радикалов использовался метод ЭПР-спектроскопии. В качестве контроля выступал буфер: 0,1 ммоль/л KCl, 0,1 ммоль/л CaCl₂, 1 ммоль/л ТРИС, 2 ммоль/л МЕС, pH 6. В качестве системы генерации гидроксильного радикала была использована смесь: 1 ммоль/л CuCl₂, 1 ммоль/л L-аскорбата, 1 ммоль/л H₂O₂ (Cu/a). В данные растворы вводился 1 ммоль/л аминокислоты (пролина, гистидина, аланина или аспарагина). В качестве спиновой ловушки добавляли ДМПО (5,5-диметил-1-пирролин-N-оксид) в концентрации 100 ммоль/л. Эксперимент проводился с помощью ЭПР-спектрометра SpinscanX, ADANI. Было показано, что смесь Cu/a с добавлением ДМПО генерирует характерный четырехпиковый сигнал аддуктов ДМПО-НО• (рис. 1). Интенсивность данного ЭПР-сигнала была в 125 раз выше по сравнению с контролем (буферный раствор).

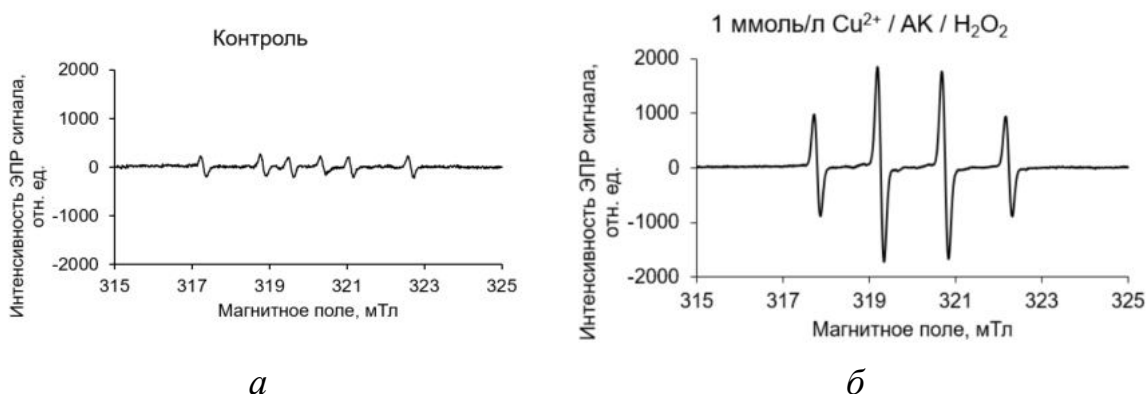


Рис. 1. Типичные ЭПР-кривые сигнала ДМПО-НО•, полученные в тест-растворах: а – контроль (буферный раствор, состоящий из 0,1 ммоль/л KCl, 0,1 ммоль/л CaCl₂, 1 ммоль/л ТРИС, 2 ммоль/л МЕС, pH 6); б – смесь, генерирующая гидроксильные радикалы (Cu/a; 1 ммоль/л CuCl₂, 1 ммоль/л аскорбат, 1 ммоль/л H₂O₂)

При добавлении к Cu/a растворов протеиногенных аминокислот в концентрации 1 ммоль/л интенсивность ЭПР-сигнала ДМПО-НО• значительно снижалась: в случае добавления гистидина на 80%, аланина – на 95%, аспарагина – на 90%. Добавление пролина не оказывало достоверных эффектов. Следует отметить, что сами аминокислоты не модифицировали сигнал ДМПО, т.е. не обладали редокс-активностью.

Аналогичные результаты были получены с использованием эпифлуоресцентной микроскопии и зонда дигидроэтидиум (ДГЭ) в интактных корнях *Arabidopsis thaliana* природного экотипа Col-0, однако в данном случае эффекты были ниже (рис. 2). Было показано, что при добавлении смеси, генерирующей гидроксильные радикалы, интенсивность флуоресценции ДГЭ увеличивалась на 15% в кончиках корней и на 17% в зрелой части ризодермиса по сравнению с контролем.

При совместном введении аминокислот и смеси, генерирующей гидроксильные радикалы, можно увидеть, что пролин снизил интенсивность флуоресценции на 8% и 3% в кончиках корней и зрелой зоне соответственно. Добавление гистидина не повлияло на интенсивность флуоресценции в кончиках корней, а в зрелой зоне снизило ее на 9%. Аланин снизил интенсивность флуоресценции на 6% в кончиках корней и на 7% в зрелой зоне.

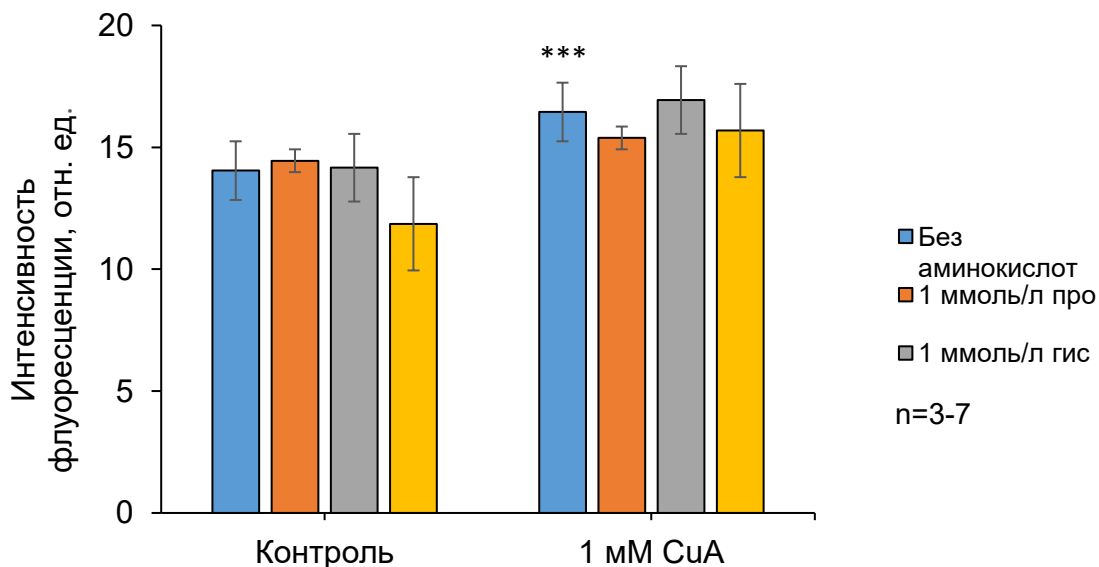


Рис. 2. Среднее значение флуоресценции ДГЭ ($\pm Sx$) в кончиках корней *Arabidopsis thaliana* (тест на накопление АФК).

Примечание. Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю (без добавления Cu/a и аминокислот) при помощи теста ANOVA: *** – $p < 0,001$

Таким образом, в работе было продемонстрировано, что свободные аминокислоты могут снижать неферментативную продукцию $HO^\bullet$ в водных растворах и оказывать умеренное протекторное влияние на генерацию активных форм кислорода в интактных корнях растений при окислительном стрессе. Протекторное действие аминокислот, вероятно, происходит за счет хелатирования меди, а также возможно за счет других механизмов. Полученные сведения могут быть использовано в сельском хозяйстве и при селекции устойчивых сортов.

Работа была выполнена в рамках задания ГПНИ «Исследование функционального взаимодействия сигнально-регуляторных и антиоксидантных систем при стрессе с целью повышения общей стрессоустойчивости высших растений и создания новых биотехнологий» подпрограммы «Молекулярные и клеточные биотехнологии 2»

государственной программы научных исследований «Биотехнологии-2» на 2021–2025 годы.

Библиографические ссылки

1. *Halliwell H., Gutteridge J. M. C.* Free Radicals in Biology and Medicine. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press, 2015.
2. *Sanna D, Fadda A.* Role of the hydroxyl radical-generating system in the estimation of the antioxidant activity of plant extracts by electron paramagnetic resonance (EPR) // *Molecules*. 2022. Vol. 27, iss.14. P.45-60.
3. *Trovato M., Funck D., Forlani G.* Editorial: Amino Acids in Plants: Regulation and Functions in Development and Stress Defense // *Front Plant Sci*. 2021. Vol. 12. P.772-810.

ВЫДЕЛЕНИЕ НЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ-ФОСФАТМОБИЛИЗАТОРОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ В БИОПРЕПАРАТЫ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Е. В. Веснина

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, lizavetavesnina@gmail.com
Научный руководитель – Д. В. Маслак*

Произведен поиск изолятов фосфатмобилизующих бактерий в образцах почвы и ризосферы растений. Выделено 17 изолятов, обладающих фосфатмобилизующей активностью, 13 из них сохраняли свойства в лабораторных условиях. Оценена их безопасность для растений. Отобрано 5 не фитопатогенных изолятов, 2 из которых способны стимулировать рост *Chl. vulgaris* (модельного объекта растительной клетки).

Ключевые слова: фосфор; фосфатмобилизирующие бактерии; микробные препараты; фитопатогенность; растениеводство.

Фосфор незаменим для существования живых организмов в целом и растений в частности. Он является частью нуклеиновых кислот, влияет на регуляторные механизмы клетки, необходим для фотосинтеза и дыхания, задействован в энергетическом обмене. Соответственно, при недостатке фосфора замедляется рост надземных органов растений и формирование плодов. Проблема фосфорного питания растений заключается в том, что почвенный фосфор, в основном, представлен нерастворимыми соединениями. Минеральные фосфорные удобрения призваны восполнить недостаток доступного для растений фосфора, но их применение связано с рядом проблем: производство фосфорных удобрений приводит к загрязнению окружающей среды и высоким финансовым затратам. Использование минеральных фосфорных удобрений повышает содержание тяжелых элементов в почве, а через некоторое время фосфор удобрения связывается с другими почвенными элементами и снова становится недоступным для растения. Эффективным и более экологичным способом повышения доступности фосфора для растений является использование микробных препаратов, созданных на основе фосфатмобилизующих микроорганизмов.

Фосфатмобилизирующие бактерии – микроорганизмы, способные переводить фосфаты в доступную для растений форму (чаще всего при помощи синтеза органических кислот и выделения ферментов). Фосфатмобилизирующие бактерии перспективны для применения в

агробиотехнологии: они эффективно повышают доступность фосфора для растений, обладают более высокой скоростью роста по сравнению с иными биотехнологическими объектами, высокой адаптивностью к среде. Кроме того, препараты на основе живых микроорганизмов чаще всего многофункциональны. Бактерии, входящие в их состав, способны к синтезу вторичных метаболитов, которые не только улучшают минеральное питание растения, но и стимулируют его рост, а также защищают от фитопатогенов [1]. Данное направление биотехнологии активно развивается, но только у семи разрешенных к применению на территории РБ препаратов упоминается наличие фосфатмобилизирующей активности. Так, целью работы является поиск и выделение фосфатмобилизирующих бактерий, перспективных для использования в сельском хозяйстве для оптимизации минерального питания растений.

Для проведения исследования была использована почва из дачного участка, находящегося в Добрушском районе Гомельской области. Почва дерново-подзолистая супесчаная. Пробы почвы отбирали из прикорневой зоны и ризосферы мяты, артишока и земляники. Навеску в 10 г почвы или 1 г корней растения помещали в 100 мл стерильного физиологического раствора и перемешивали на протяжении 1 часа. Далее производили серию последовательных разведений и высев на полноценную среду. Образовавшиеся изолированные колонии пересекали методом истающего штриха для получения чистых культур, которые засевали на среду Муромцева. В случае наличия у микроорганизма фосфатмобилизирующей активности вокруг колоний образовывались зоны гало. Оценка факторов вирулентности у выделенных бактерий проводили стандартным методом [2].

Выделение микроорганизмов производили из почвы прикорневой зоны и ризосферы растений мяты, артишока и земляники. Известно, что бактерии могут утрачивать свои фосфатмобилизующие свойства в лабораторных условиях [1]. Поэтому способность бактерий к фосфатмобилизации дополнительно оценивали после трех пассажей на полноценной агаризованной среде и хранении в холодильнике при 5 °С. В таблице 1 отображено количество изолятов, полученных в ходе работы и отобранных для дальнейшего исследования.

Таким образом, из 119 выделенных изолятов только 17 проявляли фосфатмобилизующие свойства. Но при дальнейших пересевах бактерии 4 изолятов утратили фосфатмобилизующую активность, и дальнейшие исследования проводились с 13 изолятами.

О возможной фитопатогенности микроорганизмов свидетельствует наличие у них комплекса факторов вирулентности, а именно амило-, целлюло- и пектатлитической активностей, фитотоксичности по

отношению к *Chlorella vulgaris* (модельному объекту растительной клетки), способности мацерировать растительные ткани и вызывать некроз на листьях боба обыкновенного [2]. Как видно из данных, представленных в таблице 2, ни один из исследуемых микроорганизмов не обладал целлюло- и пектатлитической активностью. Амилолитическая активность была обнаружена у 4 из 13 изолятов. Семь исследуемых изолятов подавляли рост *Chl. vulgaris*. Как потенциально опасные для растений оценили изоляты, обладающие комбинацией 3 и более факторов вирулентности из шести проверенных. Для дальнейшей работы отобраны изоляты 1,2,5,7 и 8.

Таблица 1

Количество изолятов, выделенных в ходе работы

Образец	Количество изолятов, шт.					
	всего выделено		фосфатмобилизаторов		фосфатмобилизаторов, сохранивших свойства при пересевах	
	ризосфера	почва	ризосфера	почва	ризосфера	почва
Мята	20	18	4	1	3	1
Артишок	27	17	8	3	5	3
Земляника	17	18	2	0	1	0
Всего	119		17		13	

Таблица 2

Наличие факторов вирулентности у изучаемых бактерий-фосфатмобилизаторов

Номер изолята	Амилолитические св-ва	Целлюлолитические св-ва	Пектатлитические св-ва	Фитотоксичность	Мацерация		Гиперчувствительность	Фитопатогенность
					картофеля	моркови		
1	-	-	-	стим	-	-	-	-
2	-	-	-	+	-	-	-	-
3	-	-	-	+	+	+	+	+
4	-	-	-	+	+	+	-	+
5	-	-	-	+	-	-	+	-
6	+	-	-	+	-	-	+	+
7	-	-	-	-	-	-	+	-
8	-	-	-	стим	-	-	-	-
9	+	-	-	-	+	-	+	+

Номер изолята	Амилотические св-ва	Целлюлолитические св-ва	Пекталитические св-ва	Фитотоксичность	Мацерация		Гиперчувствительность	Фитопатогенность
					картофеля	моркови		
10	+	-	-	-	+	-	+	+
11	+	-	-	-	+	-	+	+
12	-	-	-	+	+	+	+	+
13	-	-	-	+	+	+	+	+

Примечание: “+” – тест положительный, “-” – тест отрицательный, “стим” – стимуляция роста *Chl. vulgaris*.

Интересно отметить, что 5 отобранных микроорганизмов выделены из ризосферы растений (2 изолята из ризосферы мяты и 3 из ризосферы артишока). Как видно из представленных выше данных, бактерии изолятов 1 и 8 способны стимулировать рост *Chl. vulgaris* (возможно, клетки этих изолятов синтезируют фитостимулирующие метаболиты).

На основании проведенных исследований изоляты нефитопатогенных бактерий-фосфатмобилизаторов № 1, 2, 5, 7 и 8 помещены в коллекцию НИЛ Молекулярной генетики и биотехнологии и будут использованы в дальнейшей разработке биопрепаратов для растениеводства.

Библиографические ссылки

1. Картыжова Л.Е. Эндофитное микробное сообщество сои и озимой пшеницы // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. 2017. Т. 9. С. 191-201.
2. Желдакова Р.А., Мямин В.Е. Фитопатогенные микроорганизмы. Минск: БГУ, 2005.

СЕЛЕКЦИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ, ПРОДУЦИРУЮЩИХ БИОВОДОРОД

М. С. Вечерек

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vecherekmaksim@gmail.com
Научный руководитель — В. В. Демидчик, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук

Важной задачей современной биотехнологии является поиск альтернатив ископаемому топливу, таких как биоводород. Одним из способов промышленного получения биоводорода является его синтез микроводорослями, такими как представители семейства *Chlorellaceae*. Целью настоящей работы была оценка эффективности использования техники клеточной селекции в циклах субкультивирования в условиях анаэробноза при продукции H_2 штаммом RA-002 микроводоросли *Parachlorella kessleri*.

Ключевые слова: микроводоросли; биоводород; селекция.

Микроводоросли, благодаря наличию фермента гидрогеназы, способны продуцировать молекулярный водород в ходе «биофотоллиза». Однако индукция гидрогеназы осуществляется только в условиях длительного анаэробноза. Для скорейшего наступления, которого, в основном, применяется метод культивирования клеток микроводорослей на средах лишённых основных элементов минерального питания. Чувствительность гидрогеназы к кислороду является ключевым недостатком метода, требуя, использования закрытых систем для получения биоводорода (фотобиореакторов) и центрифугирования для замены среды, что приводит к его высокой стоимости. Для преодоления данного ограничения требуются дополнительные исследования по методам увеличения продукции биоводорода. В настоящей работе изложена попытка селекции зелёной водоросли с целью получения штаммов способных продуцировать большие количества биоводорода.

Микроводоросль *Parachlorella kessleri* RA-002 подвергалась селекции посредством поочерёдной пересадки из аэробных в анаэробные условия каждую неделю на протяжении 6 недель (3 цикла по 2 недели). Предполагалось, что потомки изначальных клеток выработают адаптации, позволяющие им ещё лучше приспособиться к анаэробным условиям.

Культивирование микроводоросли в аэробных условиях осуществлялось на среде ТАР с добавлением 1 мл уксусной кислоты на литр, а в анаэробных условиях на подобной среде, но депривированной по сере. Микроводоросль культивировались в стеклянных ёмкостях при

температуре 26°C, барботирование на аэробном этапе осуществлялось воздухом с долей CO₂ 1%, освещённость была равна 3100 люкс (кроме первых суток анаэробного этапа) при круглосуточном освещении. Продукция биоводорода измерялась на анаэробном этапе культивирования на 2, 3, 6 сутки методом измерения ОВП и пересчёта на концентрацию водород по калибровочной кривой. Также на анаэробном этапе производился анализ скорости роста путём спектрофотометрического измерения плотности культур в те же дни, что и измерение водорода, при длине волны 560 нм и пересчёта оптической плотности на количество клеток. Кроме того, определялась удельная скорость роста культур и для её сравнения проводился ANOVA тест.

Анализ данных по зависимости плотности суспензии культур микроводоросли от времени культивирования в анаэробных условиях на всех трёх циклах, проведённой селекции (рис. 1) показал, что во время первого цикла наблюдался рост количества клеток до 229,7% от изначального значения по состоянию на 6 сутки и наибольшее количество клеток составило $10,7 \pm 0,7$ млн. кл./мл., во время второго цикла наблюдался рост количества клеток до 243,04% от изначального значения по состоянию на 6 сутки и наибольшее количество клеток составило $11,7 \pm 0,3$ млн. кл./мл., во время третьего цикла наблюдался рост количества клеток до 137,1% от изначального значения по состоянию на 3 сутки и наибольшее количество клеток составило $6,7 \pm 1,5$ млн. кл./мл., но затем наблюдалось падение количества клеток и по состоянию на 6 сутки, оно составило 93,5% от изначального значения и 68,2% от значения на 3 сутки.

Анализ данных по удельной скорости роста культур во всех трёх циклах селекции показал, что удельная скорость роста культур уменьшалась в ряду 2 цикл, 1 цикл, 3 цикл.

Удельная скорость роста культур на различных циклах селекции

Удельная скорость роста, сут ⁻¹		
1 цикл (n=4)	2 цикл (n=4)	3 цикл (n=3)
$0,14 \pm 0,013$	$0,15 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,025^{*a}$

Примечание. Достоверность различий определялась по отношению к 1 циклу (ANOVA тест): * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$; достоверность различий определялась по отношению к 2 циклу (ANOVA тест): *a – $p \leq 0,05$, **a – $p \leq 0,01$, ***a – $p \leq 0,001$.

Анализ кривых изменения ОВП сред при культивировании *P. kessleri* в анаэробных условиях для трех циклов селекции (рис. 2) показал, что наименьшее значение ОВП для первого цикла составило $-364,7 \pm 136,7$ мВ и пришлось на 6 сутки, для 2 цикла наименьший ОВП составил $-130,7 \pm 65,2$

мВ и пришёлся на 6 сутки, для 3 цикла наименьший ОВП составил - $230,3 \pm 25,4$ и пришёлся на 2 сутки. Только для одной ёмкости первого цикла из всех 12 в 3 циклах удалось произвести пересчёт ОВП на водород. Количество водорода в ней составило 2,5 ммоль/г сухой массы.

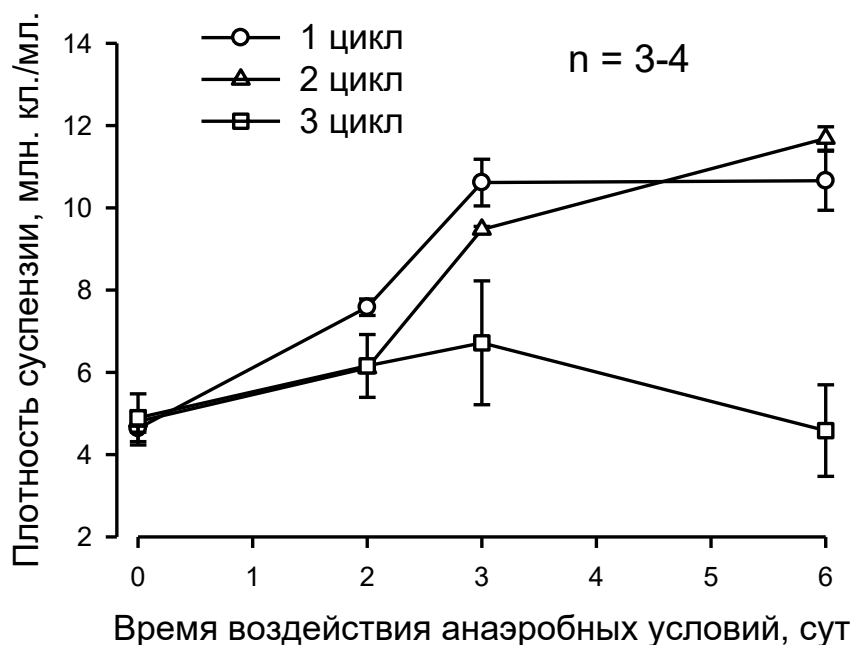


Рис. 1. Изменение плотности суспензии при культивировании *Parachlorella kessleri* RA-002 в анаэробных условиях для трёх циклов селекции

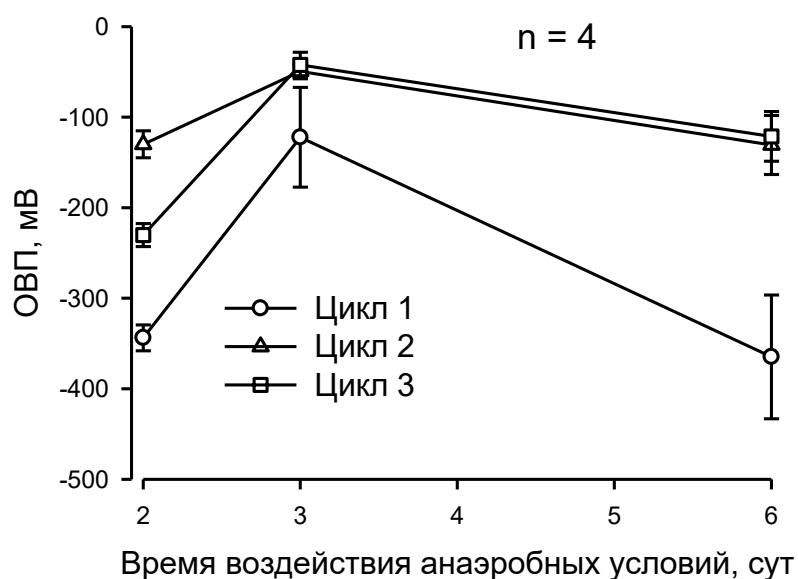


Рис. 2. Изменение ОВП среды при культивировании *Parachlorella kessleri* RA- 002 в анаэробных условиях для всех циклов селекции

Согласно данным, приведенным на рисунке 2, наблюдалось смещение кривых зависимости ОВП от времени пребывания клеток в анаэробных условиях для 2 и 3 циклов в область более положительных значений ОВП. Таким образом, можно сделать вывод, что циклическое анаэробное культивирование было неэффективным в качестве фактора селекции клеток, обладающих более значительной продукцией биоводорода *Parachlorella kessleri* RA-002 (рис. 2). Была также продемонстрирована тенденция снижения плотности суспензии клеток *Parachlorella kessleri* RA-002 в анаэробных условиях (93,46% контроля - изначального значения) во время 3 цикла селекции (рис. 1). Из полученных данных можно сделать вывод о том, что в системах промышленного получения биоводорода не следует использовать клетки изученной микроводоросли повторно, т.е. субкультивировать клетки, уже продуцировавшие биоводород.

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПИГМЕНТОВ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОРНИТОГЕННЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ

К. М. Горелик

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, kirill.soloveov@yandex.by
Научный руководитель — В. Е. Мямин, кандидат биологических наук, доцент

Проведено выделение пигментов из клеток 11 пигмент-синтезирующих почвенных бактерий Восточной Антарктиды. Определено, что 2 штамма образовывали галоксантин, 2 – бактериоруберин, 4 – зеаксантин, 1 – декапреноксантин, 1 – флексирубин, 1 – дейноксантин. Количество образуемых бактериями пигментов находилось в диапазоне от 0,11 мг/л (для декапреноксантина) до 18,3 мг/л (для флексирубина).

Ключевые слова: каротиноидные пигменты; бактерии; орнитогенные почвы; Антарктида; спектры поглощения; концентрация пигмента

Ранее проводилось выделение бактерий из 3 образцов орнитогенных почв Восточной Антарктиды (Земля Эндерби, оазис Холмы Тала, мыс Гнездовой). Было получено 149 чистых культур микроорганизмов, среди которых отобраны 11 изолятов пигментированных бактерий для качественного и количественного анализа пигментов.

В результате видовой идентификации микроорганизмов (на основании анализа гена 16S рРНК) бактериальные изоляты определены как *Rhodococcus fascians* (7b), *Arthrobacter* sp. (58b, 54b), *Deinococcus marmoris* (108b), *Massilia varians* (130b), *Paeniglutamicibacter antarcticus* (57b), *Rhodococcus yunnanensis* (56b, 116b), *Flavobacterium pygoscelis* (131b), *Polaromonas* sp. (109b), *Jeotgalicoccus huakuii* (90b) [1].

Целью данного исследования стал качественный и количественный анализ пигментов из идентифицированных бактерий.

Для получения экстрактов пигментов, бактерий выращивали в жидкой питательной среде с добавлением 2 % глицерина. Экстракцию пигментов проводили этанолом и метанолом. Оптическую плотность экстрактов измеряли в диапазоне 300-600 нм. Полученные спектры сравнивали с имеющимися в литературе [2].

Галоксантин был получен из клеток *Massilia varians* 130b и *Paeniglutamicibacter antarcticus* 57b (рис. 1).

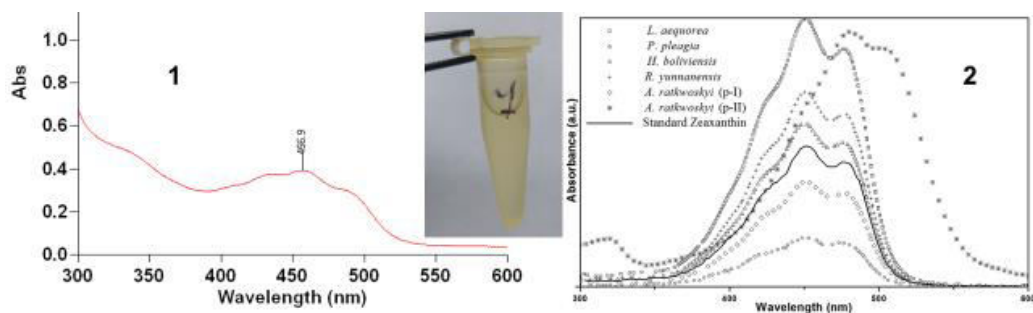


Рис. 1. УФ–видимый спектр поглощения этанольного экстракта галоксантина (1) из *Massilia varians* 130b и чистого пигмента (2) по литературным данным

Бактериоруберин выделен из *Arthrobacter* sp. 58b, а также *Jeotgalicoccus huakuii* 90b (рис. 2).

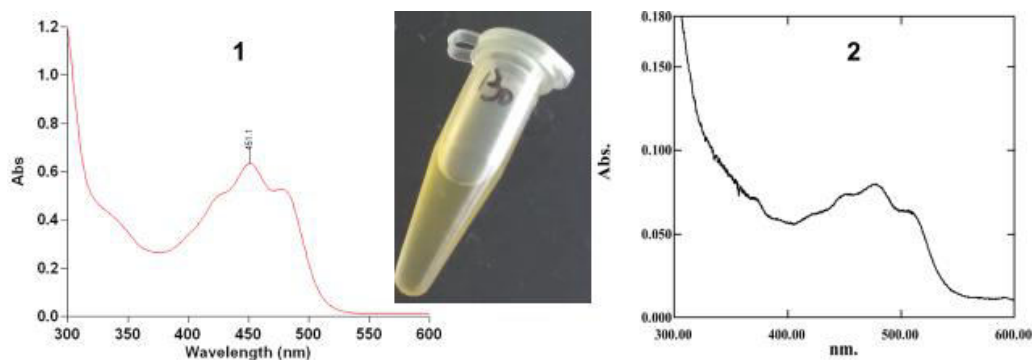


Рис. 2. УФ–видимый спектр поглощения метанольного экстракта бактериоруберина (1) из *Arthrobacter* sp. 58b и чистого соединения (2) по литературным данным

Зеаксантин экстрагирован из *Rhodococcus yunnanensis* 56b, 116b, *Rhodococcus fascians* 7b, а также из *Polaromonas* sp. 109b (рис. 3).

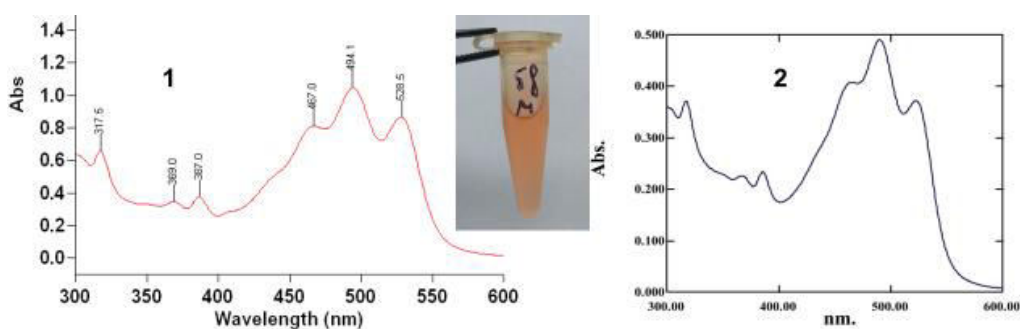


Рис. 3. УФ–видимый спектр поглощения этанольного экстракта зеаксантина (1) из *Rhodococcus fascians* 7b и чистого соединения (2) по литературным данным

Декапrenoксантин получен с клеток *Arthrobacter* sp. 54b (рис. 4).

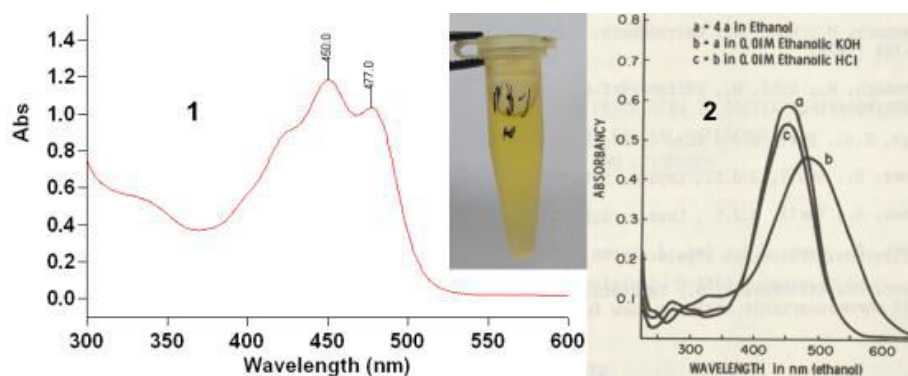


Рис. 4. УФ–видимый спектр поглощения этанольного экстракта декапреноксантина (1) из *Arthrobacter sp.* 54b и чистого соединения (2) по литературным данным

Флексирубин выделен из *Flavobacterium pygoscelis* 131b (рис. 5).

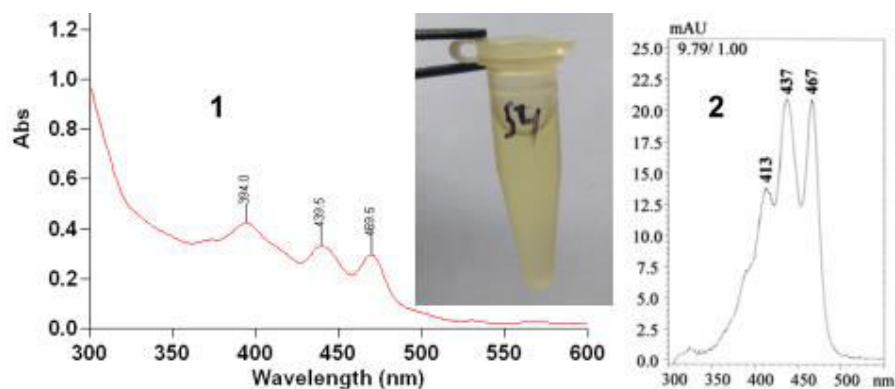


Рис. 5. УФ–видимый спектр поглощения метанольного экстракта флексирубина (1) из *Flavobacterium pygoscelis* 131b и чистого соединения (2) по литературным данным

Дейноксантин получен из *Deinococcus marmoris* 108b (рис. 6).

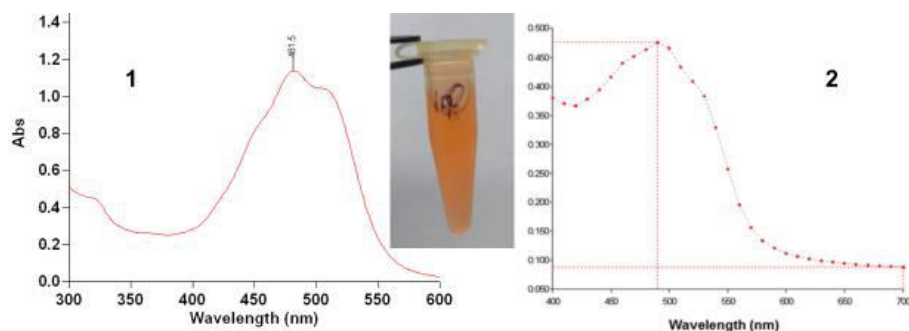


Рис. 6. УФ–видимый спектр поглощения этанольного экстракта дейноксантина (1) из *Deinococcus marmoris* 108b и чистого соединения (2) по литературным данным

Для количественного анализа использовалась формула расчёта концентрации пигмента (с, мг/л) из литературных источников [2]. По расчётам, получены пигменты в следующих концентрациях (таблица).

Концентрация пигментов антарктических бактерий

Пигмент	Штамм	Концентрация пигмента, мг/л
Галоксантин	<i>Massilia varians</i> 130b	0,74
	<i>Paeniglutamicibacter antarcticus</i> 57b	0,23
Бактериоруберин	<i>Arthrobacter</i> sp. 58b	0,42
	<i>Jeotgalicoccus huakuii</i> 90b	0,19
Зеаксантин	<i>Rhodococcus fascians</i> 7b	1,17
	<i>Rhodococcus yunnanensis</i> 56b	0,41
	<i>Rhodococcus yunnanensis</i> 116b	0,57
	<i>Polaromonas</i> sp. 109b	0,55
Декапrenoксантин	<i>Arthrobacter</i> sp. 54b	0,11
Флексирубин	<i>Flavobacterium pygoscelis</i> 131b	18,3
Дейноксантин	<i>Deinococcus marmoris</i> 108b	6,6

Библиографические ссылки

1. Горелик К.М. Характеристика микроорганизмов орнитогенных почв Восточной Антарктиды // Сборник работ 80-й науч. конф. студентов и аспирантов Белорус. гос. ун-та, Минск, 10-21 мая 2023.: в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2023. Т. 1. С. 44-47.
2. Alvares J.J. Characterization of multicomponent antioxidants from *Haloferax alexandrinus* GUSF-1 (KF796625) // Biotech. 2021. Vol. 11, iss. 2. P. 1-12.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ УГЛЕВОДНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРЕПАРАТАМИ ЦЕНТЕЛЛЫ АЗИАТСКОЙ (*CENTELLA ASIATICA*) И ГУАРАНЫ (*PAULLINIA CUPANA*) В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНТЕНСИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В. Г. Григорович¹⁾, П.О. Журавицкий²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, grigorowitsc840@gmail.com

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

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

Проведена сравнительная оценка влияния отваров центеллы азиатской (*Centella asiatica*) и гуараны (*Paullinia cupana*) на биохимические показатели углеводного и энергетического обмена в условиях интенсивной физической нагрузки. Установлена способность центеллы в указанных условиях стабилизировать концентрацию глюкозы в крови и креатинфосфата в скелетных мышцах лабораторных мышей, причем адаптогенный эффект данного отвара превосходил действие экстракта гуараны.

Ключевые слова: физическая нагрузка; центелла азиатская; гуарана; адаптогены; углеводный обмен; энергетический обмен.

Одной из важнейших проблем современного спорта является необходимость повышения работоспособности спортсменов. Сегодня ее нельзя решить только совершенствованием методов тренировки, увеличением объёма и интенсивности нагрузок. Аналогичная проблема стоит и перед обычными людьми, чья профессиональная деятельность связана с высокими физическими и психологическими перегрузками [1]. Поэтому все большую популярность приобретают препараты адаптогенов растительного происхождения, обеспечивающие повышение физической работоспособности и уменьшение отрицательного воздействия избыточных физических нагрузок на организм. Одним из перспективных растений, не вошедшим в справочники по фитотерапии, однако имеющий длительную историю успешного применения в народной медицине Юго-Восточной Азии, является центелла азиатская (*Centella asiatica*), более известная спортсменам-любителям и приверженцам здорового активного образа жизни как “готу кола”, экстракт которой, доступный в любом магазине спортивного питания и биологически активных добавок, мы использовали в нашей работе. Второй препарат, использованный в нашей работе, – экстракт гуараны (*Paullinia cupana*), который широко пользуется

в странах Южной Америки для приготовления энергетических напитков и также хорошо известен как безопасное дополняющее абонемент в спортзал средство всем желающим быстро и эффективно снизить массу тела и приобрести красивый мышечный рельеф. Оба препарата характеризуются перспективным химическим составом и подтвержденной практикой способностью стимулировать биоэнергетические процессы и усиливать углеводный обмен [2]. Однако химический состав, мишени действия и особенности регуляторных эффектов у объектов нашего исследования рознятся, в связи с чем сравнительная характеристика их способности модифицировать показатели энергетического и углеводного обмена представляют большой научный и практический интерес.

Таким образом, целью настоящей работы явилась сравнительная характеристика способности центеллы азиатской и гуараны стабилизировать показатели углеводного и энергетического обмена у лабораторных мышей, подвергнутых неизбежной интенсивной физической нагрузки.

Работа выполнена на беспородных белых мышах массой 30-50 г., находящихся на стандартной диете вивария БГУ. Все эксперименты выполняли в соответствии с этическими нормами обращения с животными.

Постановка экспериментальной модели осуществлялась как описано в [3]. Анализируемые препараты вводились подопытным животным однократно перорально в максимально эффективных экспериментально подобранных дозах 2 мл/ кг (центелла) и 35 мг/ кг (гуарана) соответственно за 10 минут до выведения из эксперимента в случае изучения их влияния на организм интактных животных или за 10 минут до начала интенсивной физической нагрузки. Оценка биологического действия адаптогенов проводилась согласно [3].

Установлено, что интенсивная двигательная активность приводит к ожидаемому наступлению состояния утомления подопытных животных, проявляющегося в их неспособности совершать дальнейшие активные плавательные движения, что являлось проявлением истощения концентрации глюкозы в крови на 35% к контролю и снижения содержания креатинфосфата в мышечной ткани на 54,5% (таблица).

Показано, что анализируемые препараты не оказывают достоверного влияния на содержание креатинфосфата в скелетной мускулатуре интактных мышей. Однако, обращает на себя внимание выраженное гипергликемическое действие экстракта гуараны, наблюдаемое в отсутствие нагрузки и связанное, по всей вероятности, с высоким содержанием в ней кофеина, способного активировать фосфоролиз гликогена, гликогенолиз и липолиз в различных органах и тканях организма.

Введение же обоих растительных препаратов за 10 минут до начала физической нагрузки, обеспечило некоторую стабилизацию уровня глюкозы в крови мышей в сравнении с животными, подвергнутых физической нагрузке, но не принимавших препараты. Более того, экстракт центеллы позволял полностью стабилизировать уровень креатинфосфата в скелетных мышцах животных, что может быть вызвано наличием в его составе стигмастерола и брахмозида, ускоряющих нервно-мышечную передачу, астрагалина, повышающий сосудистый тонус и артериальное давление, и тритерпеновых сапонинов, снижающих утомляемость возбудимых тканей. В то время как активация симпатической нервной системы животных высокой концентрацией кофеина в препарате гуараны и соответствующая высокая активность мышечной, наблюдавшаяся после его введения и до начала экспериментальной нагрузки, не только не позволяло стабилизировать пул данного макроэрга, но и вызывало его снижение даже по сравнению с соответствующей экспериментальной группой.

Влияние экстракта центеллы азиатской (*Centella asiatica*) и экстракта гуараны (*Paullinia cupana*) на биохимические показатели углеводного обмена в цельной крови и содержание креатинфосфата в мышечной ткани интактных мышечных тканей в условиях физической нагрузки

Серия	Биохимические показатели		
	Концентрация глюкозы, ммоль/л	Концентрация пирувата, ммоль/л	Содержание креатинфосфата, мкмоль/г
Интактные мыши	8,84 ± 0,12 (100%)	3,05 ± 0,09 (100%)	0,77 ± 0,10 (100%)
Интактные мыши + физическая нагрузка	5,75 ± 0,53 (65,0%)*	2,77 ± 0,06 (90,8%)	0,35 ± 0,01 (45,5%)*
Отвар центеллы азиатской + физическая нагрузка	6,52 ± 0,60 (73,7%)	1,17 ± 0,06 (38,4%)* ^a	0,91 ± 0,07 (118,2%)* ^a
Экстракт гуараны + физическая нагрузка	6,77 ± 0,18 (76,6%)* ^a	3,06 ± 0,16 (100,3%)	0,22 ± 0,02 (28,6%)* ^a

Примечание. *,*^a - результаты достоверны при $p \leq 0,05$ ($n=5$). Достоверность влияния физической нагрузки на анализируемые параметры оценивалась по отношению к значениям интактных животных (*), а достоверность изменений показателей у мышечных тканей, подвергнутых физической нагрузке после введения экстракта/отвара, - к аналогичным показателям животных, подвергнутых физической нагрузке, но не получавших препарат (*^a).

Таким образом, тонизирующий и адаптогенный эффекты центеллы азиатской в нашем эксперименте превосходили действие кофеин-содержащего экстракта гуараны.

Библиографические ссылки

1. Чудимов В.Ф. Средства восстановления и повышения работоспособности в спорте. Барнаул: Изд-во Барнаульского федерального университета, 2011.
2. Gohil K.D., Patel J.A., Cajjar A.K. Pharmacological review on *Centella asiatica*: a potential herbal cure-all // Indian J. Pharm. Sci. 2010. Vol.72, iss. 5. P. 546 – 556.
3. Исследование адаптогенных, сахароснижающих и гепатопротекторных свойств клитории тройчатой (*Clitoria ternatea* L.) на экспериментальных моделях *in vivo* / Губич О.И. [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2020. № 1. С. 27-38.

ИММУННАЯ РЕАКЦИЯ В ЛИСТЬЯХ *SOLANUM TUBEROSUM* В ОТВЕТ НА ВНЕДРЕНИЕ *PECTOBACTERIUM VERSATILE*

Н. А. Григорьева

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, grigorieva887@gmail.com
Научный руководитель — А. В. Колубако

Pectobacterium versatile – фитопатогенные бактерии, вызывающие заболевание черная ножка вегетирующих растений семейства Пасленовые. Кроме того, фитопатоген поражает клубни картофеля, вызывая мягкую гниль. *P. versatile* способны паразитировать на многих видах семейства Пасленовых, тем самым нанося значительный ущерб сельскому-хозяйству. Экспрессия защитных генов *PR1* и *PR10*, а также транскрипционных факторов с доменом *WRKY* и *AP2* изменяются разнонаправленно в клубнях и листьях растений *Solanum tuberosum* при заражении *Pectobacterium versatile*.

Ключевые слова: реакция гиперчувствительности; *Pectobacterium versatile*; *Solanum tuberosum*; иммунитет растений.

Solanum tuberosum – культурный картофель, ценная сельскохозяйственная культура, являющаяся частью рациона людей по всему миру. Регуляция иммунного ответа растений происходит при помощи сигнальных путей гормонов, но их количество в клубнях и листьях может отличаться из-за особенностей развития органов [1]. В связи с этим у нас появилась потребность выяснить, одинаков ли иммунный ответ картофеля в листьях и в клубнях у *S. tuberosum* в ответ на заражение некротрофным патогеном *Pectobacterium versatile* и возможна ли экстраполяция результатов заражения в листьях на все растение и, в частности, подземную его часть.

Растения картофеля *Solanum tuberosum* сорта Рогнеда были посажены в начале мая, в срок, а заражению они подвергались по истечении 45 дней после посадки. Листья растений картофеля были инфильтрованы суспензиями клеток ($OD_{600} = 0,05$) патогена *P. versatile* JN42 (дикий тип) и *P. versatile* VKE (мутант по эффектору системы секреции III типа DspE). В качестве контроля раневого ответа листья растений инфильтровались физиологическим раствором (NaCl 0,85 %) Регистрация реакции гиперчувствительности и отбор образцов проводились через 24 часа после заражения. Выделение РНК производилось методом с горячим фенолом [2]. Измерение экспрессии генов проводилось методом ОТ-кПЦР. Для подбора наиболее стабильно экспрессирующихся референсных генов использован алгоритм geNorm версии 3.5. В качестве референсных использованы гены *EF1a*, *SAND*. Расчет относительных уровней

экспрессии генов проводился при помощи программы REST 2009 версии 2.0.13.

Инфильтрация суспензиями клеток штаммов *P. versatile* JN42 (дикого типа) и *P. versatile* VKE (*dspE*-мутантом) вызывала индукцию реакции гиперчувствительности в листьях растений *S. tuberosum* по всей зоне инфильтрации в подавляющем большинстве случаев. Наиболее типичная реакция растений на инфильтрацию представлена на рисунке 1.

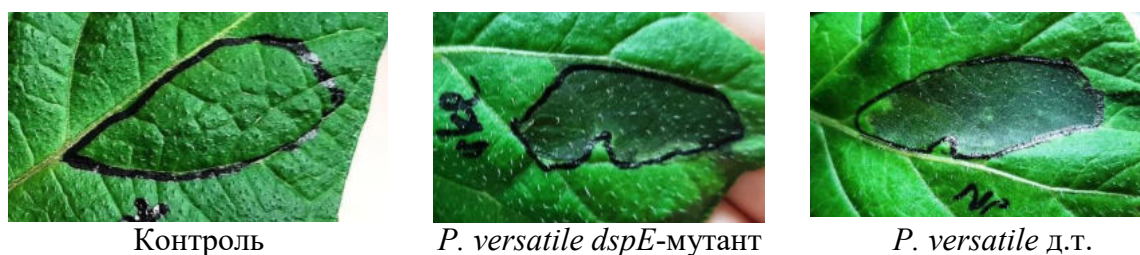


Рис. 1. Индукция реакции сверхчувствительности суспензиями клеток штаммов *P. versatile* JN42 (дикого типа) и *P. versatile* VKE (*dspE*-мутантом) в листьях *S. tuberosum*

Дифференциальные уровни экспрессии генов в листьях *S. tuberosum* показаны на рисунке 2.

Уровень экспрессии генов *NCED3* и *AAO3*, ответственных за биосинтез абсцизовой кислоты (универсального гормона стресса растений) не менялся при заражении штаммом, мутантным по эффектору DspE системы секреции 3 типа патогена. Экспрессия *NCED3* снизилась почти в 3 раза в случае заражения штаммом дикого типа. Уровень экспрессии гена *CYP707a1*, фермента, гидроксилирующего АБК, увеличился 2 раза при заражении *P. versatile* вне зависимости от штамма.

Уровень экспрессии гена *JAZ*, негативного регулятора жасмонат-зависимых генов, увеличился в 5 раз при заражении при заражении мутантным штаммом и почти в 2 раза штаммом дикого типа. Экспрессия гена *HIN1*, кодирующего белок, который индуцируется харпинами, увеличилась менее чем в 2 раза при заражении обоими штаммами. Уровень экспрессии транскрипционного фактора салицилатного сигнального пути *TGA* снизился менее чем в 2 раза при заражении *P. versatile* вне зависимости от штамма. Экспрессия гена *PR1*, который кодирует защитный белок, конечное звено салицилатной сигнализации, увеличилась почти в 10 раз при заражении *dspE*-мутантом и почти в 3 раза при заражении штаммом дикого типа. Экспрессия других защитных генов: *PR2*, *PR5* и *PR10*, кодирующих белки, связанные с патогенезом, которые обычно синтезируются растениями в ответ на заражение патогенами, увеличилась более чем в 9 раз при заражении *P. versatile* VKE и более чем в 2 раза при заражении *P. versatile* JN42.

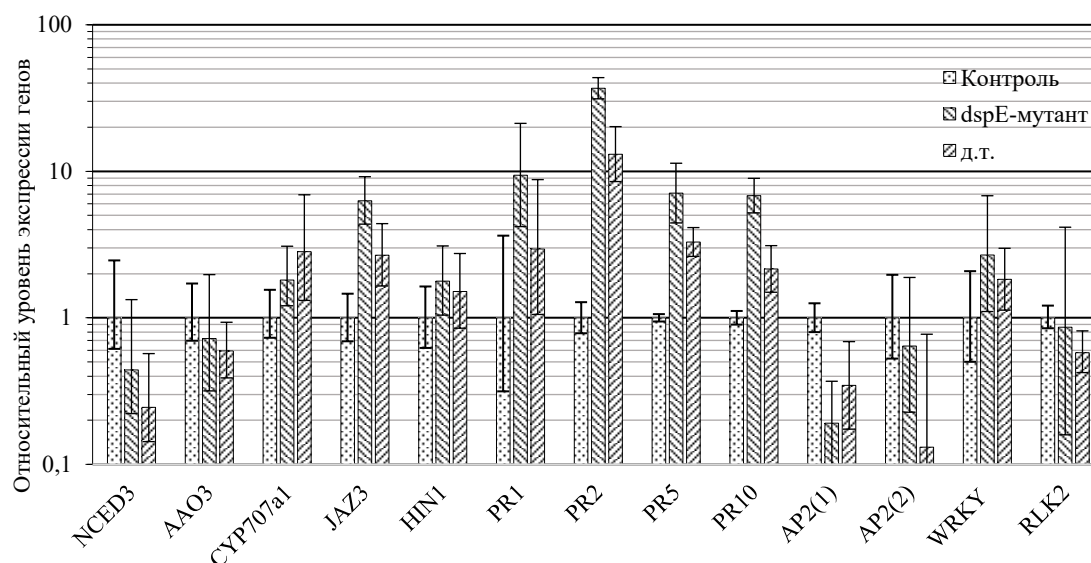


Рис.2. Дифференциальные уровни экспрессии генов иммунного ответа в листьях *S. tuberosum* в ответ на внедрение *P. versatilis* JN42 (дикого типа) и *P. versatilis* VKE (dspE-мутанта)

Уровень экспрессии транскрипционного фактора *AP2(1)*, этиленовой сигнализации, снизился в 5 раз при заражении *dspE*-мутантом и в 2 раза при заражении штаммом дикого типа. Экспрессия *AP2(2)* снизилась более чем в 10 раз при заражении штаммом дикого типа. Экспрессия гена транскрипционного фактора семейства *WRKY* увеличилась более чем в 2 раза при заражении штаммом *P. versatilis* VKE. Уровень экспрессии гена *RLK2*, кодирующего рецепторподобную протеинкиназу, снизился менее чем в 2 раза при заражении *P. versatilis* вне зависимости от штамма.

Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными при заражении клубней растений картофеля того же сорта [3], показало, что экспрессия *NCED3* и *AAO3* в клубнях при заражении снижается более существенно, а уровень экспрессии *CYP707a1* повышается до 9 раз. Однонаправленно меняется (возрастает) экспрессия негативного регулятора жасмонат-зависимых генов *JAZ3*, харпин-индуцируемого белка *HIN1*, связанных с патогенезом генов *PR2* и *PR5*, снижается экспрессия транскрипционного фактора этиленовой сигнализации *AP2(1)* и рецепторподобной киназы *RLK2* как в листьях, так и в клубнях растений картофеля в ответ на заражение патогеном. Экспрессия же защитных генов *PR1* и *PR10*, а также транскрипционного фактора *WRKY* повышалась в листьях, однако снижалась в клубнях при заражении. Экспрессия гена *AP2(2)* значительно повышалась при заражении клубней и снижалась при заражении в листьях картофеля.

Ответ генов метаболизма АБК на заражение более выражен в клубнях. Жасмонатный сигнальный путь, судя по экспрессии *JAZ3*, подавляется и в листьях, и в клубнях, как и этиленовая сигнализация, поскольку конечное

звено ее, транскрипционный фактор *AP2(1)* снижает экспрессию. Другой транскрипционный фактор *AP2(2)* меняет экспрессию разнонаправленно в листьях и клубнях, но его функция еще не описана. Салицилатный сигнальный путь в листьях активируется. В клубнях же конечное звено салицилатной сигнализации *PR1* значительно снижает экспрессию, исходя из этого можно предположить, что салицилатная сигнализация в клубнях подавляется.

Библиографические ссылки

1. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants / N. Aksenova [et al.] // Russian J. Plant Physiology. 2012. Vol. 59. P. 451-466.
2. *Carpenter E.* RNA Isolation from Plant Tissue Protocol 15: Hot Acid Phenol Method for Algae // Methods in Enzymology. 2019. Vol. 194. P. 398-405.
3. *Колубако А.В.* Транскрипционный фактор WRKY65 участвует в регуляции иммунного ответа растений картофеля на *Pectobacterium versatile* // Молекулярная и прикладная генетика. 2021. Т. 27. С. 83-92.

ВЛИЯНИЕ МЯГКОЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И СОДЕРЖАНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В КОРНЯХ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

И. В. Змитрович, М. А. Красовский

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, samokhina@bsu.by
Научный руководитель — В. В. Самохина

В работе было показано, что обработка холодной плазмой вызывает накопление АФК в кончиках корней и ингибирует рост *Arabidopsis thaliana*. Добавление антиоксидантов снижает токсическое действие плазмы. Наиболее эффективно себя показали тиомочевина и СОД, следовательно, повреждающее действие плазмы в первую очередь связано с синтезом гидроксильных и супероксиданионных радикалов.

Ключевые слова: холодная плазма; медь; рост; активные формы кислорода; дигидроэтидиум; арабидопсис.

Плазма – это полностью или частично ионизированная газовая смесь, состоящая из фотонов, электронов, положительных и отрицательных ионов, нейтральных частиц и свободных радикалов [1]. Плазму можно разделить на две группы в зависимости от метода генерации: холодную и высокотемпературную. Холодная плазма (ХП) образуется в условиях электрического разряда, когда к электродам подводится напряжение частотой от 50 Гц до нескольких килогерц амплитудой 2–4 кВ [2]. Не нагревая обрабатываемый объект, плазма воздействует на объекты посредством реакционно активных частиц: активных форм кислорода (АФК: гидроксильного радикала $\text{HO}^\bullet$, озона, пероксида водорода H_2O_2 и др.), окислов азота, фотонов ультрафиолетового излучения [3]. Эти факторы, содержащиеся в холодной плазме, обуславливают ее практическое применение. Цель данной работы – изучить влияние холодной плазмы атмосферного давления на ростовые показатели высших растений, а также возникновение окислительного стресса при воздействии холодной плазмы на различные зоны корневой системы растений.

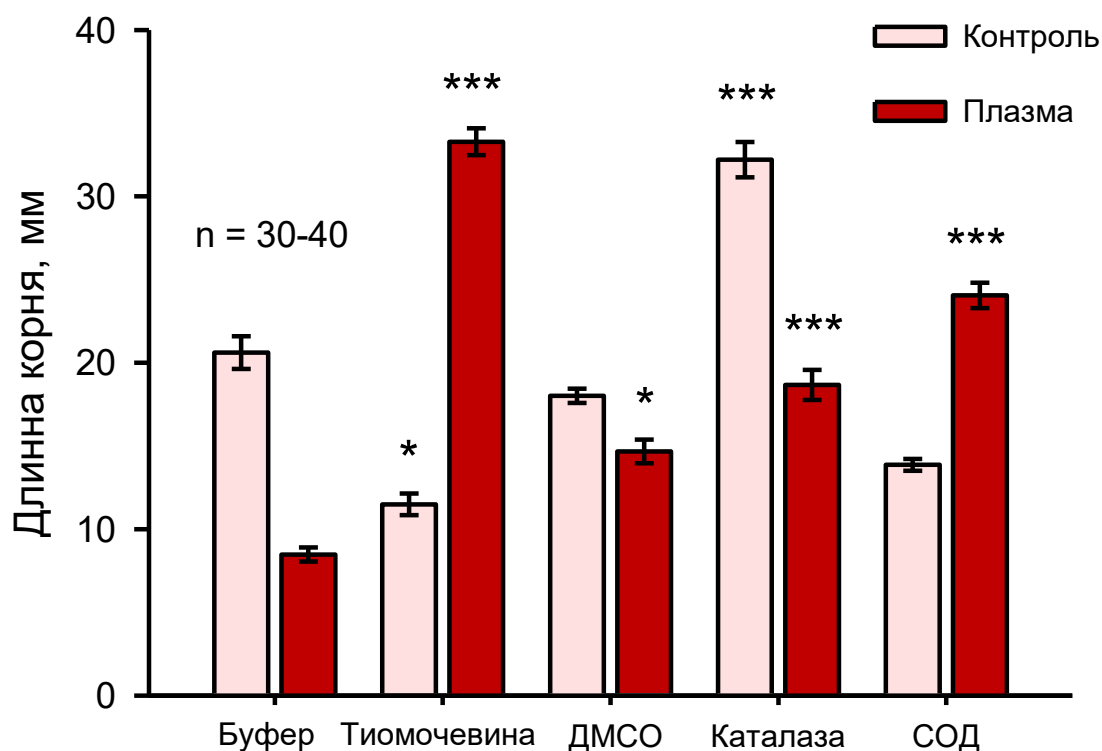
В качестве объекта исследования использовались проростки *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Были проведены ростовые тесты в стерильной культуре, а также проанализирована генерация АФК в клетках корней при обработке холодной плазмой. Плазма генерировалась при общей потребляемой мощности 75 Вт, расходе газа (Ar) 142 л/ч. Расстояние от торца разрядной системы до объекта 20–25 мм. Время обработки составляло 3 секунды. Также эффект плазмы был сравнен с действием

других абиотических факторов, в частности воздействием редокс-активных металлов.

На первом этапе было показано, что воздействие мягкой холодной плазмы на проростки арабидопсиса достоверно уменьшало прирост длины корней на 55% (рисунок). Добавление антиоксидантов: 0,3% диметилсульфоксид (ДМСО), 1 ммоль/л тиомочевина, 1000 ед. каталазы, 600 ед. супероксиддисмутаза (СОД) – оказывало протекторное действие. В случае введения тиомочевина и СОД совместно с обработкой плазмой скорость роста корней восстанавливалась до контрольного уровня. Поскольку наиболее эффективными антиоксидантами являлись тиомочевина и супероксиддисмутаза, можно говорить о том, что основными АФК, которые действуют на корневую систему при обработке плазмой на основе аргона являются гидроксильный радикал ($\text{HO}^\bullet$) и супероксид анион (O_2^-).

Анализ генерации АФК в корнях арабидопсиса в ответ на плазму проводилось с использованием флуоресцентного красителя ди гидроэтидий, который в первую очередь показывает накопление супероксид-анионных радикалов. Обработка плазмой в течение 3 секунд вызывала увеличение флуоресценции ДГЭ в зоне деления корня на 40% по сравнению с контролем, что свидетельствует о сильной степени генерации АФК. Зона всасывания не была чувствительной к плазме. Добавление антиоксидантов снижало уровень флуоресценции ДГЭ в зоне деления корня до уровня контроля, уменьшая токсическое действие плазмы на рост корней. Как и в случае ростовых тестов, наиболее эффективными протектантами были тиомочевина и СОД.

Далее эффекты плазмы были сопоставлены с эффектами действия редокс-активных тяжелых металлов, а именно хлорида меди. Для этого были проведены ростовые тесты с использованием техники замены среды. Металл вводился на 5 сут выращивания, после чего культивирование продолжалось еще в течение 5 сут. Было показано, что добавление хлорида меди в концентрации выше 0,01 мМ достоверно ингибировало рост корней арабидопсиса. У дикого типа арабидопсиса добавление 0,01 и 0,03 ммоль/л CuCl_2 снижало прирост длины главного корня на 15%, 0,1 ммоль/л CuCl_2 – на 60%, 0,3 ммоль/л CuCl_2 – на 75%, 1 ммоль/л CuCl_2 – на 95%. Вероятно, данный ингибирующий эффект связан с тем, что ионы меди могут катализировать производство гидроксильных радикалов и других АФК. Что делает механизм его действия схожим с действием плазмы. Таким образом, обработка плазмой соответствовала токсическому действию 0,1 ммоль/л CuCl_2 .



Изменение длины корня арабидопсиса при воздействии мягкой холодной плазмы и добавлении антиоксидантов (1 ммоль/л тиомочевина, 0,3% ДМСО, 1000 ед. каталаза и 600 ед. СОД).

Примечание. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста по отношению к буферу: *, ** и *** означают $p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ соответственно

Работа была выполнена в рамках задания «Закономерности воздействия холодной плазмы на процессы клеточной сигнализации у высших растений» Государственной программы научных исследований на 2021 – 2025 годы «Конвергенция-2025» подпрограммы «Микромир, плазма и Вселенная».

Библиографические ссылки

1. Cold Atmospheric Plasma Parameters Investigation for Efficient Drug Delivery in HeLa Cells / V. Vijayarangan [et al.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2017. Vol. 2. P. 109–115.
2. Pinson J. & Thiry D. Surface Modification of Polymers. WILEY-VCH, 2020.
3. Improving functional properties of zein film via compositing with chitosan and cold plasma treatment / G. Chen [et al.] // Industrial Crops and Products. 2019. Vol. 129. P. 318–326.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИЙ ИОННЫХ КАНАЛОВ СЕМЕЙСТВА CYCLIC NUCLEOTIDE-GATED CHANNELS (CNGCS) ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

С. С. Зуёнок

*Белорусский государственный университет, г. Минск, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, sofyzuynak@gmail.com
Научный руководитель — В.В. Демидчик, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук*

В статье приведён анализ литературных данных о структуре и функциях Ca^{2+} -проницаемых катионных каналов мембран растений. В частности, мы фокусируемся на семействе Cyclic Nucleotide Gated Channels (CNGC) – неселективных катионных каналах, которые, согласно литературным данным, могут функционировать как Ca^{2+} -проницаемые каналы.

Ключевые слова: ионные каналы растений; CNGC; Ca^{2+} -сигналы; цНМФ.

Важнейшим связующим звеном между внешними стимулами и сигнальными путями растительной клетки является изменение цитоплазматической концентрации свободных ионов Ca^{2+} . В покое уровень химической активности Ca^{2+} в цитоплазме стабилен и составляет около 100 нМ, но в ответ на внешние сигналы он временно повышается в несколько раз. Данное явление называется кальциевым сигналом, и в его основе лежит работа Ca^{2+} -проницаемых катионных каналов клеточных мембран. Хотя роль Ca^{2+} -сигнализации в жизни растения является общепризнанной, остается открытым вопрос о том, какие ионные каналы вовлечены в данное явление. CNGC или каналы, активируемые циклическими нуклеотидами, являются неселективными катионными каналами, способными функционировать как Ca^{2+} -проницаемые каналы [1]. CNGC являются в первую очередь каналами плазматической мембраны. Ионные каналы из семейства CNGC представляют собой тетрамерные комплексы [2]. Каждая субъединица включает шесть трансмембранных доменов (S1-S6) с порой между доменами S5 и S6, которая обеспечивает специфический транспорт катионов. N- и С-концевые домены расположены в цитозоли [3]. С-концевой домен содержит домен связывания циклических нуклеотидов (CNBD). С С-концевой стороной CNBD содержит шарнирную область с кальмодулин-связывающим доменом (CaMBD). Также на С-конце присутствует фосфатосвязывающая кассета (PBC) [3]. CaM-связывающий мотив IQ примыкает к α -спирали в CNBD, но не перекрывает ее [10]. Предполагается, что N-конец содержит домены взаимодействия CNGC-CNGC и сайты фосфорилирования. CNGC представляют собой катионные

каналы с различной степенью селективности ионной проводимости, они обеспечивают транспорт одновалентных и двухвалентных катионов, а их активность регулируется обратимым связыванием цГМФ, цАМФ или СаМ с CNBD, что аллостерически вызывает открытие канала. цАМФ и цГМФ, представляют собой вторичные мессенджеры, синтезируемые аденилатциклазами (АЦ) и гуанилилциклазами (ГЦ) соответственно [4]. Примером осуществления связи нуклеотидциклаза-CNGC является совместное взаимодействие AtCNGC17 и AtPSKR1 (рецептор фитосульфокина 1), который участвует в регуляции реакций роста у растений [2]. PSKR1 имеет как киназную, так и GC-активность [5]. AtCNGC17 здесь не взаимодействует непосредственно с рецептором PSKR1, который генерирует цГМФ. Однако, увеличение $[Ca^{2+}]_{цит.}$ способствует активности ГЦ PSKR1, но ингибирует его киназную активность, что повышает вероятность того, что AtCNGC17-опосредованное повышение $[Ca^{2+}]_{цит.}$ не только создаёт петлю положительной обратной связи для пути цГМФ, но также может ограничивать любой путь, зависимый от фосфорилирования для обеспечения специфичности сигнализации [5]. СаМ представляет собой повсеместно распространенный эукариотический сенсор Ca^{2+} . При связывании Ca^{2+} СаМ меняет конформацию с закрытого состояния, свободного от Ca^{2+} (аро-СаМ), на «расширенную» конформацию Ca^{2+} /СаМ с высоким сродством к широкому спектру белков-мишеней. Расположение СаMBD внутри CNBD позволяет СаМ конкурировать с цНМФ в качестве лиганда в аллостерическом регулировании проводимости канала [3]. В Ca^{2+} -свободной форме СаМ взаимодействует с CNGC и активирует каналы. Для предотвращения перегрузки канала ионами Ca^{2+} , у CNGC развился механизм самоинактивации. Классическая инактивация каналов (CDI) предполагает, что связывание СаМ в присутствии повышенного $[Ca^{2+}]_{цит.}$ может вытеснять цНМФ из CNBD [4], так как последний, перекрывается с СаMBD, блокируя CNGC. При этом захват N- и C-концов запускает CDI, тогда как связывание только с СТ вызывает « Ca^{2+} -зависимую стимуляцию» [4], вызывая дальнейший ток Ca^{2+} . Фосфорилирование также может являться важным регулятором активности CNGC [3]. Возможно, что фосфорилирование может как способствовать передаче сигналов защитным каскадам, так и протеосомо-опосредованной деградации и, следовательно, фосфорилирование CNGC у растений может иметь двойную функцию. Известно, что CNGC способны образовывать гетеромерные комплексы, а различные комбинации их субъединиц определяют функциональные характеристики канала [3]. Взаимодействия между субъединицами таких каналов зависят от определённых областей С-концевого домена, причём некоторые субъединицы способны

ингибировать весь канальный комплекс. Геном *Arabidopsis* содержит 20 членов семейства CNGC, которые демонстрируют различные уровни экспрессии в разных тканях. Семейство CNGC подразделяется на пять подсемейств (I, II, III, IV-A и IV-B) в зависимости от сходства их последовательностей. I, II и III группы тесно связаны между собой, тогда как группы IV-A и IV-B находятся в отдаленном родстве друг с другом и с другими группами [3]. CNGC играют фундаментальную роль в различных физиологических процессах. Было показано, что гены AtCNGC19 и AtCNGC20, а также AtCNGC5 и AtCNGC17 экспрессируются в корнях и побегах *A. thaliana* в ответ на солевой стресс. Они участвуют в реакции на засоление в разных типах клеток и могут помочь растениям адаптироваться к токсическому воздействию солевого стресса. CNGC10 отрицательно регулирует толерантность к соли у *A. thaliana* [6], то есть нокауты по гену CNGC10 имеют большую устойчивость к засолению. Высокие уровни тяжелых металлов также токсичны для клеток растений. Уровень экспрессии ионных каналов AtCNGC1, AtCNGC10, AtCNGC13 и AtCNGC19 отрицательно коррелирует с толерантностью к Pb^{2+} , т.е. данные каналы вероятно транспортируют Pb^{2+} в клетку. В то же время AtCNGC15 и AtCNGC11 возможно участвуют в перераспределении и выведении Pb^{2+} . AtCNGC11, AtCNGC13, AtCNGC16 и AtCNGC20, возможно, транспортируют Cd^{2+} [7]. Некоторые исследования показывают, что AtCNGC16 и AtCNGC6 участвуют в сигнальных путях, которые важны для устойчивости к засухе [8]. Временные и резкие изменения $[Ca^{2+}]_{цит.}$ в растительных клетках в ответ на присутствие патогенных организмов необходимы для ранней передачи сигналов и защитных реакций. CNGC2 и CNGC4, необходимы для PAMP-индуцированной сигнализации с участием кальция [9]. При атаке патогена канал активируется киназой BIK1, что вызывает повышение концентрации цитозольного кальция. Связывание ассоциированных с повреждениями молекулярных паттернов с протеинкиназой PEPR вызывает увеличение концентрации цГМФ, который активирует CNGC2 для облегчения проникновения Ca^{2+} . CNGC2-опосредованный приток Ca^{2+} связан с Ca^{2+} -зависимыми протеинкиназами, CaM и кальмодулин-подобными белками и их активация приводят к активации RbohD и RbohF (гомологов оксидазы респираторного взрыва), которые участвуют в образовании АФК и NO и могут действовать как антимикробные соединения [9].

Библиографические ссылки

1. Dietrich P. Plant cyclic nucleotide-gated channels: new insights on their functions and regulation // Plant Physiol. 2020. Vol. 184, iss.1. P. 27-38.

2. Cyclic nucleotide gated channels in plant signalling: current knowledge and perspectives / M. Duszyn [et al.] // J. Plant Physiol. 2019. Vol. 241. P. 153 -235.
3. The complex story of plant cyclic nucleotide-gated channels / E. Jarratt-Barnham [et al.] // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, iss. 2. – P. 874-889.
4. Maronde E. Cyclic nucleotide (cNMP) analogues: past, present and future // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, iss. 23. P. 128-179.
5. The phytosulfokine (PSK) receptor is capable of guanylate cyclase activity and enabling cyclic GMP-dependent signaling in plants / L. Kwezi [et al.] // J. Biol. Chem. 2011. Vol. 286, iss. 25. P. 22580-22588.
6. Cyclic nucleotide gated channel 10 negatively regulates salt tolerance by mediating Na⁺ transport in Arabidopsis / Y. Jin [et al.] // J. Plant Res. 2015. Vol. 128, iss. 1. P. 211-220.
7. A rabadopsis CNGC family members contribute to heavy metal ion uptake in plants / J.Y. Moon [et al.] // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20, iss. 2. P. 413-420.
8. A cyclic nucleotide-gated channel (CNGC16) in pollen is critical for stress tolerance in pollen reproductive development / M. Tunc-Ozdemir [et al.] // Plant Physiol. 2013. Vol. 161, iss. 2. P. 1010-1020.
9. The Arabidopsis cyclic nucleotide-gated ion channels AtCNGC2 and AtCNGC4 work in the same signaling pathway to regulate pathogen defense and floral transition / K. Chin [et al.] // Plant Physiol. 2013. Vol. 163, iss. 2. P. 611-624.
10. Cyclic nucleotide-gated ion channel 6 mediates thermotolerance in Arabidopsis seedlings by regulating nitric oxide production via cytosolic calcium ions / X. Peng [et al.] // BMC Plant Biol. 2019. Vol. 19, iss. 1. P. 368-375.

ЛИНЕЙНЫЕ ПЦР АМПЛИКОНЫ ТРАНСГЕНОВ ДЛЯ ТРАНСФЕКЦИИ КЛЕТОК

Д. А. Илькевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ilevich.darya.a@gmail.com*

Научный руководитель — М. В. Белевцев, кандидат биологических наук, доцент

В рамках работы был проведен эксперимент, целью которого была проверка гипотезы о возможности и эффективности трансфекции клеток ПЦР-ампликонами при включении в праймеры поли-G-последовательностей, а также их комбинации с фосфоротиоатной модификацией, в сочетании с наличием или отсутствием последовательностей ДНК, нацеленных на ядерное ядро.

Ключевые слова: линейные ПЦР ампликоны; трансгены; GC-богатые повторы; фосфоротиоатная модификация; ядерная нацеливающая последовательность ДНК.

ДНК-вакцины являются многообещающей стратегией в лечении опухолевых заболеваний. Данный тип вакцин представляет собой генетические конструкции, несущие один или несколько сайтов, кодирующих опухоль-ассоциированные антигены, вследствие чего способны стимулировать иммунную систему, обеспечивая ингибирование метастазирования и разрушение существующих онкоцитов [1]. Существует несколько дизайнов целевой ДНК для трансфекции. Классический – использование плазмидной ДНК, несущей в своем составе необходимый антиген(ы) под контролем соответствующих промоторов, обеспечивающих длительную экспрессию трансгена. Плазмидная ДНК помогает обеспечить надежную экспрессию целевого белка. Однако, данный тип имеет ряд недостатков, включающий также наличие сайтов устойчивости к антибиотикам в плазмиде, трудности интеграции производства в автоматизированные рабочие процессы, а также является относительно времяемким, требующим затраты необходимые для клонирования, размножения и очистки плазмид, что уже значительно снижает потенциал их использования и, ключевое, неэффективное проникновение крупных плазмид в ядро. Решением данных проблем является разработка неплазмидных ампликонов, полученных в процессе ферментативной амплификации векторов экспрессии с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР). Но в то же время линейные матрицы преодолевают ограничения подготовки плазмидной ДНК, но являются уязвимыми к действию нуклеаз [1]. На данный момент разработано три основных пути,

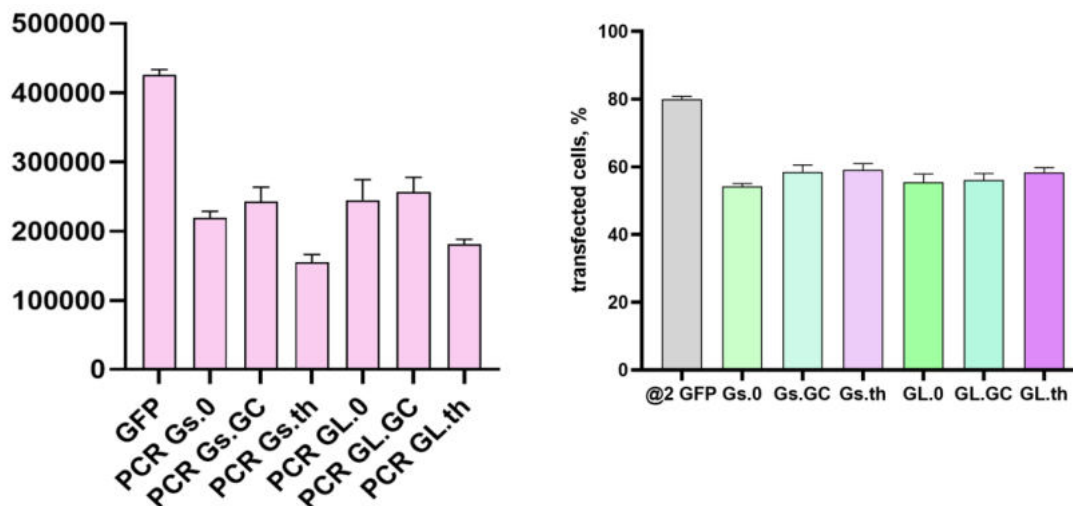
решающих данную проблему. Первый – геномные модификации, приводящие к снижению скорости роста и крайне низкой жизнеспособности. Второй – поиск ингибиторов нативных нуклеаз (GamS – разновидность Gam-белка бактериофага λ , Chi, Ku, CID 697851 и CID 1517823 являются установленными ингибиторами RecBCD). И третий, в настоящее время единственный применимый к эукариотическим клеткам, путь – изменение дизайна линейной матрицы [2]. Наиболее целесообразным решением для повышения стабильности линейной ДНК – создание защитных последовательностей на ее концах. Метод включает в себя амплификацию защитной последовательности до конца линейной ДНК путем создания праймеров данных последовательностей при получении ДНК через ПЦР. Защитные последовательности разрабатываются на основе различного содержания пар GC. При этом, длина праймера не должна превышать 20 п.н. ввиду того, что длинные праймеры приведут к повышению температуры, что затруднит ПЦР и приведет к несовпадению и появлению множественных продуктов. Также вариативной является аранжировки нуклеотидных последовательностей: «GCGC» или «GGCC», т.е. с чередованием оснований и без соответственно. Установлено, что наименее эффективное связывание линейных матриц ДНК с нативными нуклеазами достигается при чередовании нуклеотидов «GGCC», т.е. очередном, при содержании GC пар в диапазоне 60-65% и при задней либо передней локации [3]. Также существуют нативные механизмы перемещения линейной матрицы ДНК к ядру и ее транслокации через нуклеолему. Но активного транспорта через ядерный поровый комплекс недостаточно для обеспечения эффективной экспрессии целевого опухоль- ассоциированного антигена. Более того, медленный ядерный импорт дает больше времени нативным нуклеазам для взаимодействия с концевыми сайтами, что также значительно снижает выход целевого белка. Поэтому на данный момент этап транспорта в ядро является стадией лимитирующей экспрессию линейной матрицы ДНК. Наиболее перспективным решением данной проблемы является включение определенных последовательностей, облегчающих транслокацию через нуклеолему. Установлены области, способствующие проникновению в ядро целевой ДНК в неделящихся клетках. Данная последовательность включает точку начала репликации, частично два промотора, а именно раннего и позднего, и энхансер SV40. Показано, что меньший участок генома SV40, включающий энхансерный элемент размером 72 п.н., приводит к усилению транскрипции репортерного гена. При этом

тестировались непосредственно ранний промотор и энхансер цитомегаловируса человека (hCMV_{ier}) и промотор LTR вируса саркомы Рауса (RSV-LTR) – оба промотора сильнее, чем у SV40, но в итоге уровень ядерной локализации снижался [4].

Нами был проведен эксперимент, целью которого являлась проверка гипотезы о возможности и эффективности трансфекции клеток ПЦР ампликонами, при включении в состав праймеров векторов GC-богатых повторов, а также их сочетание с фосфоротиоатной модификацией, в комбинации с наличием или отсутствием ядерных нацеливающих последовательностей (DTS). Для этого в качестве матриц были использованы плаزمиды, кодирующая зеленый флуоресцентный белок TurboGFP (pGFP), кодирующая GFP и имеющая в своем составе две ядерной нацеливающей последовательности (pGFP-DTS), плазмиды, кодирующая флуоресцентный белок iRFP713 (piRFP) и кодирующая iRFP и имеющая в своем составе четыре последовательности DTS (piRFP-DTS). Трансфекция оценивалась по проценту GFP положительных клеток и средней интенсивности флуоресценции (MFI) GFP. Установлено, что наиболее эффективная экспрессия целевой последовательности одного из флуоресцентных белков наблюдается при трансфекции клеток исходной матричной плазмидой. При этом, ампликоны с праймерами, снабженными 5'-GC-«хвостами», несущими фосфоротиоатную модификацию, но не несущие DTS, показывали меньшую активность экспрессии с допустимым значением уровня значимости погрешности (0,0022). Ампликоны не несущие каких-либо модификаций в праймерах и не имеющие в своем составе областей DTS, демонстрировали более низкую активность экспрессии, чем соответственные им снабженные 5'-GC-«хвостами» и несущими фосфоротиоатную модификацию либо только обладающие 5'-GC-«хвостами» ампликонами, также с допустимым уровнем значимости в обоих случаях (0,0022 и 0,0022). ПЦР продукты, несущие последовательности DTS, 5'-GC-«хвостами» и фосфоротиоатную модификацию показали активность экспрессии выше, чем ампликон только с областями DTS, однако со значением уровня значимости выше допустимого (0,0260), что не дает рассматривать этих данных в качестве достоверных. ПЦР продукты только с DTS экспрессировались менее активно, чем аналогичные им, но несущие 5'-GC-«хвостами», но также с показателем уровня значимости выше допустимого (0,5887).

Таким образом, наибольшую активность экспрессии проявили короткие (1699 п.н.) ампликоны несущие в своем составе 5'-GC-

«хвостами» (в чередующейся очередности). При этом, фосфоротиоатная модификация, как и добавление последовательностей DTS, значимого вклада в эффективность трансфекции не внесли.



Результаты активности экспрессии по данным проточной цитометрии по значениям MFI (слева) и проценту трансфицированных клеток (справа): GFP – плаزمид (контроль); Gs – последовательности длиной до 2000 п.н. несущие белок GFP (GFP short); GL – последовательности длиной свыше 2000 п.н. несущие белок GFP (GFP long); 0 – базовые праймеры; GC – праймеры богатые GC-повторами; th – праймеры богатые GC-повторами и фосфоротиоатной модификацией.

Библиографические ссылки

1. Linear DNA amplicons as a novel cancer vaccine strategy/ Conforti A. [et al.] // J. Experimental & Clinical Cancer Res. 2022. Vol. 41. P. 324-368.
2. Mapping of scaffold/matrix attachment regions in human genome: a data mining exercise / Narwade N. [et al.] // Nucleic Acids Research. 2019. Vol. 47, iss. 14. P. 7247-7254.
3. Chen X., Lu Y. In silico Design of Linear DNA for Robust Cell-Free Gene Expression // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2021. Vol. 9. P.126-134.
4. Dean D. A. Import of Plasmid DNA into the Nucleus Is Sequence Specific // Experimental Cell Research. 1997. Vol. 230, iss. 2. P. 293-302.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМЕТ МОЛЕКУЛ ДНК

С. В. Кезик ¹⁾, Т. А. Кабулов ²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, г. Минск, Беларусь, email: sergeyk8008@gmail.com

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Научный руководитель — О.В. Недзьведь, кандидат технических наук, доцент

В данной статье представлены результаты автоматизации анализа изображений, получаемых при помощи техники ДНК-комет.

Ключевые слова: компьютерное зрение; глубокое обучение; семантическая сегментация; сверточная нейронная сеть; метод ДНК-комет.

Стрессовые воздействия различной природы могут приводить к повреждению генетической информации, хранящейся в ядре клетки. Одним из методов исследования этих повреждений является метод ДНК-комет, который представляет собой метод регистрации повреждения ДНК на уровне отдельных клеток [1-3]. Данный процесс является очень трудоемким, так как одновременно необходимо производить анализ сотен комет. В этой связи автоматизация анализа ДНК-комет представляется актуальной и важной проблемой.

Исходный набор данных состоял из 1260 изображений. Типичное изображение из набора представлено на рис. 1. Изображение включает многочисленные шумы, остатки препаратов.

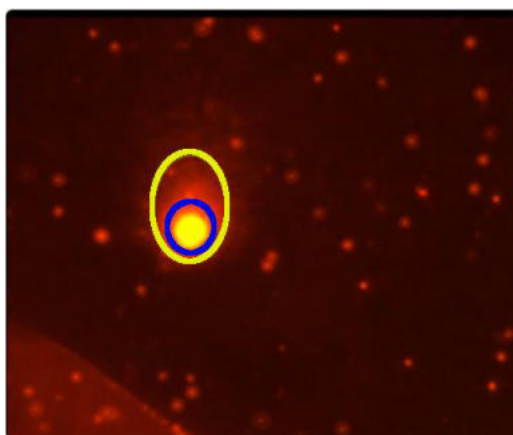


Рис. 1. Пример изображения ДНК кометы: синим цветом выделена голова кометы, желтым — хвост

Для этого к изображениям применяется серия преобразований (рис. 2). Для начало каждое изображение переводится из трехканального RGB формата в одноканальный формат оттенков серого (grayscale). Далее все изображения нормализуются с целью первичного уменьшения шума, после чего формируется среднее по изображению, которое вычитается из исходного изображения. Это позволяет существенно снизить уровень шума и повысить четкость изображений комет.

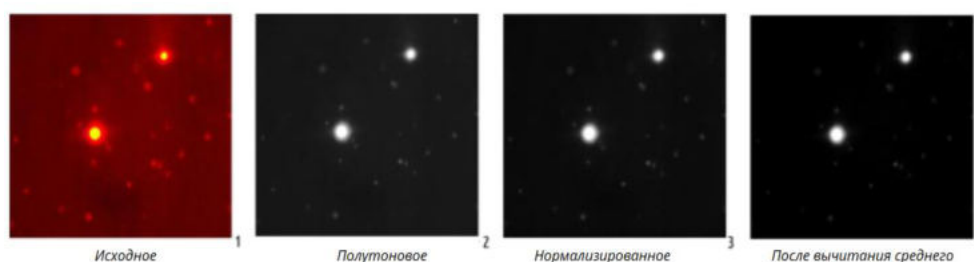


Рис. 2. Этапы преобработки изображений

Затем все изображения аннотируются вручную для максимизации качества сегментации. После аннотирования размер всех изображений уменьшается до 512*512 пикселей. На завершающем этапе набор данных разбивается на тренировочную, валидационную и тестовую выборки в соотношении 80%-10%-10%.

Для повышения точности модели и улучшения вариативности данных к тренировочному набору данных применяются различные методы аугментации изображений: шумы разных типов, включая гауссовский и мультипликативный, повороты на 30, 45, 60 и 90 градусов. Кроме того, выполняется увеличение резкости, а также корректировка контраста и яркости. Для уменьшения количества ложноположительных срабатываний модели сгенерировано 600 “шумных” изображений, не содержащих кометы. Итоговые наборы данных представлены в табл.1.

Таблица 1

Наборы данных, используемые в работе

	Оригинал	Оригинал, шум	Оригинал, шум, аугментация
Количество изображений	1260	1260+600	1260+600+600

Для тренировки использовалась модель PSPnet (Pyramid Scene Parsing Network), так как она показала себя лучше всего по сравнению с другими моделями (Feature Pyramid Network, U-net). Тренировка проходила со

следующими гиперпараметрами: количество эпох — 50, коэффициент обучения — 0.0001, размер батча 8, оптимизатор Adam. Для оценки качества работы нейронной сети использовалась метрика Дайса (Dice score).

В результате обучения модели были получены результаты, приведенные в табл. 2 в виде значений метрики для соответствующих выборок.

Таблица 2

Результаты тестирования

Набор данных	Оригинал	Оригинал + шум	Оригинал + аугментация	Оригинал + аугментация + шум
Валидация	0,855	0,93	0,871	0,851
Тестовый	0,75	0,808	0,838	0,863

Итоговый результат виден на рис. 3, где синим выделен хвост, а желтым ядро кометы.

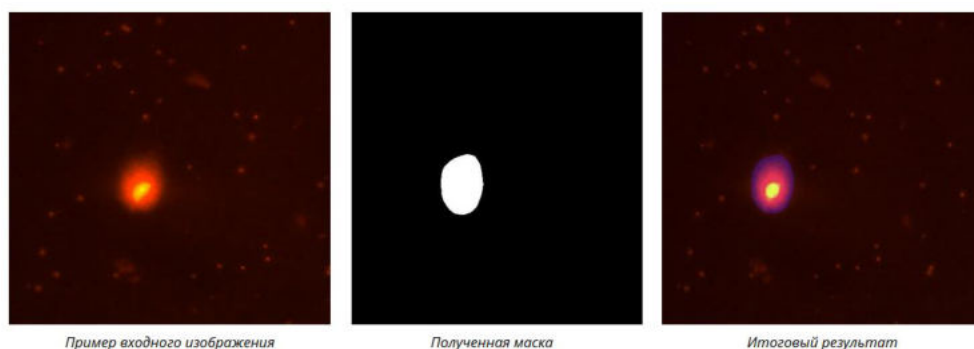


Рис. 3. Результат полной работы программы:
синим выделен хвост, а желтым ядро кометы

После получения маски на выходе из модели с неё удаляются все элементы, размер которых меньше 200 пикселей, на исходном изображении выделяется область, соответствующая маске и для неё применяется градиентный фильтр для выделения ядра.

После получение маски головы и хвоста становится возможен автоматический анализ комет. Для этого для каждого изображения происходит расчет характеристик, таких как яркость и размер головы, яркость и размер хвоста, а также процент ДНК в хвосте по формуле.

$$\text{ДНК}_{\text{хвост}} = \frac{\text{Площадь}_{\text{хвост}}}{\text{Площадь}_{\text{комета}}}$$

Площадь кометы и хвоста здесь рассчитывается, как число пикселей в соответствующей области. Увеличение площади хвоста приводит к общему увеличению значения формулы, что отражает влияние того или иного стрессового фактора на повреждение ДНК.

Таким образом, предложенная нами модель позволяет не только значительно упростить обработку изображений, но и открывает путь для интеграции с современными микроскопическими системами, обеспечивая автоматический анализ изображений.

Библиографические ссылки

1. *Liao W., McNutt M., Zhu W.-G.* The comet assay: A sensitive method for detecting DNA damage in individual cells // *Methods*. 2009. Vol. 48. P. 46-53.
2. *Voulodimos A., Doulamis N.* Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review // *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2018. Vol.18. P.129-135.
3. *Ubbens J. R., Stavness I.* Deep Plant Phenomics: A Deep Learning Platform for Complex Plant Phenotyping Tasks // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. P. 96-105.

АБСЦИЗОВАЯ КИСЛОТА КАК МОДУЛЯТОР ИММУННОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ

Е. О. Ключкова

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, helianna1905@gmail.com
Научный руководитель — А.В. Колубако

Растения *Capsicum annuum*, как многие представители семейства *Solanaceae*, подвержены заболеваниям, вызываемым бактериями рода *Pectobacterium*. Каждый год регистрируются новые случаи заражения и расширяется география патогена. Выяснение механизмов иммунного ответа растений необходимо для разработки эффективной стратегии защиты.

Ключевые слова: абсцизовая кислота, реакция гиперчувствительности, *Capsicum annuum*

Абсцизовая кислота (АБК) играет важную роль в адаптации растений к стрессам абиотической природы (засуха и солевой стресс) [1], а также к стрессами биотической природы, регулируя иммунные реакции при детекции патогенов [2]. Перец является одной из важнейших овощных культур в мире, но его урожайность часто снижается из-за различных заболеваний. Выяснение роли абсцизовой кислоты в модуляции иммунного ответа растений перца приблизит исследователей к созданию новых механизмов защиты растений [3]. В этой статье мы обсудим и попытаемся выяснить, как гены метаболизма абсцизовой кислоты растений перцев *Capsicum annuum* влияют на иммунный ответ при заражении патогеном *Pectobacterium versatile*.

Молодые растения *C. annuum* в фазе 2-3 настоящих листьев были подвержены сайленсингу генов биосинтеза абсцизовой кислоты *AAO3* (оксидазы абсцизового альдегида), *NCED3* (9-цис-эпоксикаротеноид диоксигеназы), а также гидроксилазы абсцизовой кислоты *CYP707a1*, метаболизирующей гормон до неактивной формы, а также, в качестве положительного контроля сайленсинга, гена *PDS*, кодирующего фермент биосинтеза каротеноидов, фенотип сайленсинга которого – отсутствие пигментации листьев. Сайленсинг проводился при помощи агробактериальной трансформации конструкциями на основе вируса TRV, содержащими участки указанных генов. В качестве негативного контроля сайленсинга использовалась конструкция, содержащая участок гена *GFP*. По истечении 45 дней листья растений перцев были инфильтрованы суспензиями (в 0,85 % NaCl, OD₆₀₀ = 1) клеток патогена *P. versatile* JN42 (дикий тип) и *P. versatile* TA5 (*hrpL*-мутант с инактивированной системой секреции III типа, доставляющей эффекторный белок в клетки растений-

хозяев). Учет результатов заражения и регистрация реакции гиперчувствительности проводились на третьи сутки после заражения.

Растения с индуцированным сайленсингом гена *PDS* (положительный контроль сайленсинга) изображены на рисунке 1.



pTRV2::GFP



pTRV2::PDS

Рис. 1. Растения *C. annuum* с сайленсингом гена *PDS* в сравнении с контрольными

Наиболее типичная реакция растений перцев с сайленсингом генов метаболизма абсцизовой кислоты на заражение штаммами *P. versatile* изображена на рисунке 2. В контрольной группе (pTRV2::GFP) растения реагировали на инфильтрацию суспензией штамма *P. versatile* JN42 (д.т.) индукцией реакции гиперчувствительности (РГ) в среднем на 30 % зоны инфильтрации. Мутантный штамм РГ в тканях растений не вызывал, и реакция растений на него была неотличима от раневого ответа (инфильтрация NaCl 0,85 %).

Группа растений со сниженной экспрессией гена *CYP707a1*, отвечающего за биосинтез гидроксилазы абсцизовой кислоты (т.е. мы предполагаем, что активной формы гормона стало больше) показала усиление симптомов заболевания при инфицировании штаммами *P. versatile*. Наблюдалось увеличение индукции реакции гиперчувствительности (РГ) до 80% в зоне инфильтрации при воздействии суспензией штамма дикого типа на листовые ткани, а также появление симптомов РГ при заражении растений *hrpL*-мутантом (до 20% зоны инфильтрации).

Растения с уменьшенной экспрессией гена *AAO3*, отвечающего за биосинтез абсцизовой кислоты, реагировали на инфицирование штаммом *P. versatile* дикого типа гибелью клеток в области от трети до половины зоны инфильтрации, в то время как *hrpL*-мутант *P. versatile* вызывал РГ в зоне от 10 до 40% зоны инфильтрации.

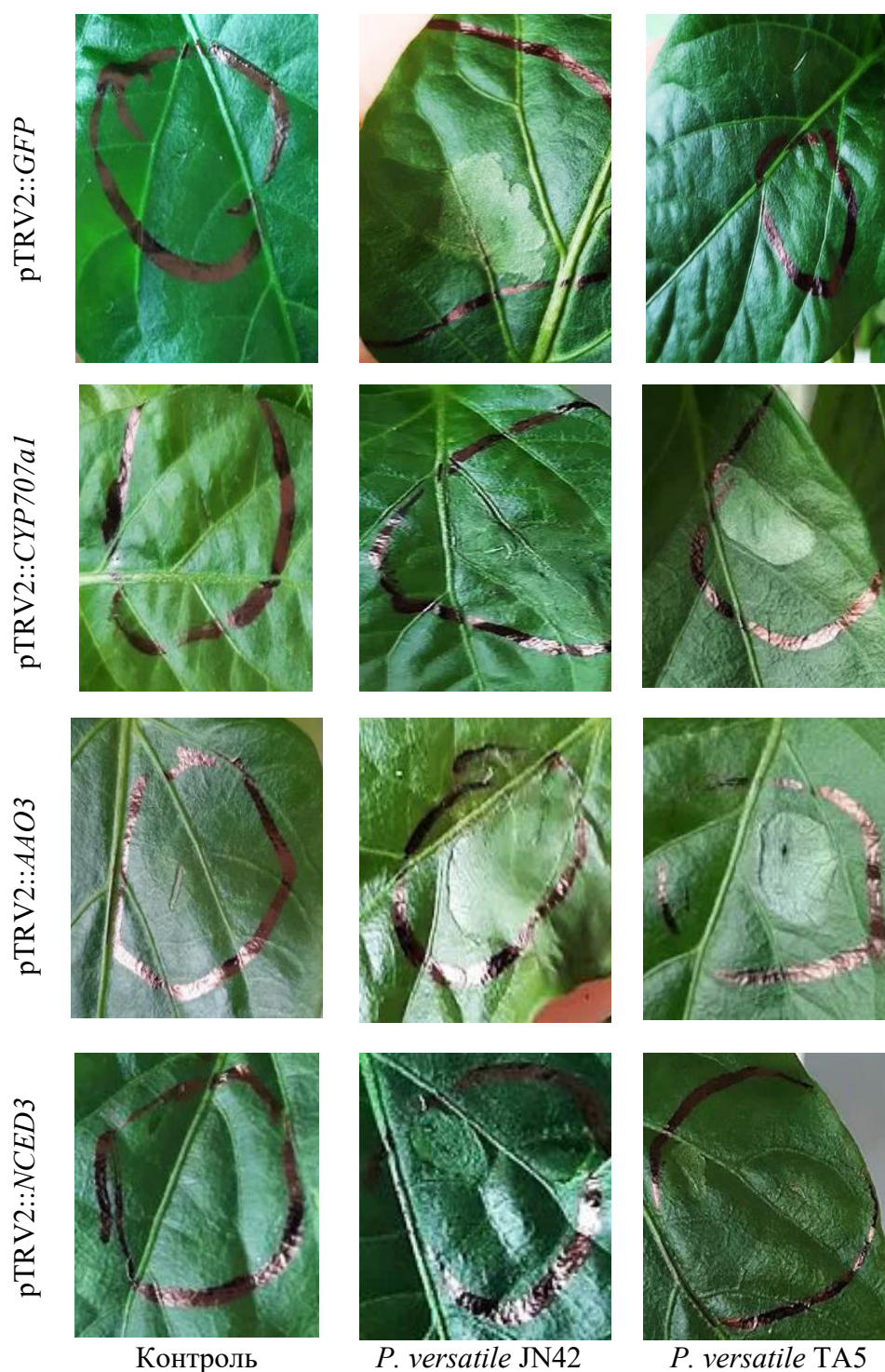


Рис. 2. Сравнительная реакция растений *C. annuum* на инфильтрацию суспензиями клеток различных штаммов *P. versatile*

В растениях с сайленсингом гена *NCED3* наблюдалось увеличение РГ в области до 60% зоны инфильтрации при инфицировании *P. versatile* JN42 и до 10% при инфицировании *P. versatile* TA5. Инфильтрация

физиологическим раствором не вызывала видимых фенотипических изменений в растениях всех групп.

Статистическая обработка данных показала, что в группах растений *GFP* (контрольной) и *CYP707a1* заражение штаммом *P. versatile* дикого типа вызывает симптомы, имеющие статистически значимые отличия от мутантного штамма *P. versatile* TA5 ($p = 0,0408$ и $p = 0,0381$ соответственно). В группах *AAO3* и *NCED3* статистическая разница пропадает.

Исходя из полученных данных можно заключить, что активная форма абсцизовой кислоты в растениях *C. annuum* участвует в индукции реакции гиперчувствительности в ответ на внедрение патогена *P. versatile*. Помимо этого, абсцизовая кислота оказывает влияние на распознавание эффекторного белка DspE патогена *P. versatile*, доставляемого в растение посредством системы секреции 3 типа.

Библиографические ссылки

1. Absciscic acid dynamics, signaling, and functions in plants / K. Chen [et al.] // J. Integr. Plant Biol. 2020. Vol. 62, iss. 1. P. 25-54.
2. Cao F.Y. The roles of ABA in plant – pathogen interactions // J. Plant Res. 2011. Vol. 124, iss. 4. P. 489-499.
3. Nambara E. Absciscic Acid Biosynthesis And Catabolism // Annu. Rev. Plant Biol. 2005. Vol. 56, iss. 1. P. 165-185.

ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЧИСТКА РЕКОМБИНАНТНОГО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕРЛЕЙКИНА-4 ИЗ ТЕЛЕЦ ВКЛЮЧЕНИЯ *ESCHERICHIA COLI*

Д. В. Копылева

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, koryleva.d@gmail.com

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

В работе описаны этапы получения рекомбинантного человеческого интерлейкина-4 (рчИЛ-4) из телец включения клеток грамотрицательных бактерий *Escherichia coli*, являющихся экономически выгодной системой экспрессии гетерологичных низкомолекулярных белков. В результате экспериментов разработаны протоколы выделения, отмывки, солюбилизации, рефолдинга и очистки рчИЛ-4.

Ключевые слова: рекомбинантные белки; интерлейкин-4; *Escherichia coli*; тельца включения; солюбилизация; ионообменная хроматография; гель-фильтрация.

Интерлейкин-4 представляет собой плеiotропный цитокин, обладающий выраженным противовоспалительным эффектом и участвующий в регуляции ряда биологических функций организма, включая гемопоэз, выработку антител, воспаление [1]. На сегодняшний момент изучение функций цитокина и возможностей медицинского использования продолжается. Так, в последние годы появились сообщения о положительных результатах лечения препаратом ожоговых поражений, инфаркта миокарда на модельных объектах – мышах. Отмечается его роль как системного противовоспалительного агента и модулятора остеогенеза [2].

Установлена возможность использования препарата рекомбинантного человеческого интерлейкина-4 (рчИЛ-4) при получении биомедицинских клеточных продуктов на основе дендритных клеток, в научных исследованиях, связанных с культивированием и дифференцировкой ряда других человеческих клеток *in vitro*. Вместе с тем, отечественное производство указанного цитокина не налажено. Таким образом, целью настоящей работы явилось получение субстанции человеческого рекомбинантного интерлейкина-4.

Известно, что удобной системой биосинтеза малых односубъединичных гетерологичных белков являются грамотрицательные бактерии *Escherichia coli*, характеризующиеся быстрым ростом на дешевых средах. Существенным ограничением использования предложенной системы, кроме отсутствия посттрансляционного гликозилирования синтезируемых белков, признают формирование телец включения (ТВ) при

сверхэкспрессии рекомбинантных белков. Часто ренатурация белка в активной форме из агрегатов бывает затруднена или невозможна, а работа с тельцами включения всегда требует разработки дополнительных протоколов выделения, отмывки, солюбилизации и рефолдинга. Вместе с тем, многие исследователи видят и положительные моменты работы с ТВ, такие как низкое содержание примесных белков, возможность получать токсичные для клеток *E. coli* белки, высокий выход целевого продукта.

Ранее сконструировали эффективный бактериальный продуцент рЧИЛ-4 на основе штамма *E. coli* BL-21 (DE3) Gold и определили, что целевой белок преимущественно накапливается в тельцах включения *E. coli*. Для получения белка в активной растворимой форме разрабатывали технологии проведения этапов выделения, отмывки, солюбилизации ТВ, рефолдинга и очистки рЧИЛ-4.

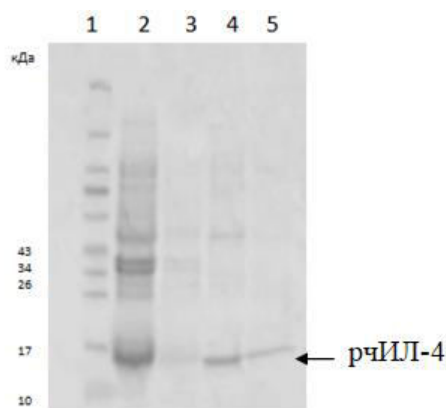
Клетки бактерий разрушали при помощи гомогенизатора высокого давления в буфере для дезинтеграции с добавлением ДНКазы I и центрифугировали 20 мин 15000g. Осадочную фракцию, состоящую преимущественно из ТВ, использовали для дальнейшей работы.

С целью избавления от небелковых примесей, в первую очередь, нуклеиновых кислот, и некоторых поверхностных балластных белков проводили двухэтапную отмывку ТВ с использованием систем на основе различных детергентов (50 и 500 mM Tris base, 50 и 500 mM NaCl, 1% Tween-20, и 1% изопропанол, 1% Triton X-100) и хоатропа (мочевина в концентрациях от 1 до 8 M). Надосадочные фракции, полученные после ресуспендирования и инкубации в системе постоянного перемешивания телец включения в указанных растворах, подвергали спектрофотометрическому и электрофоретическому анализу. В первом случае оценивали эффективность удаления нуклеиновых кислот, во втором – потери целевого белка. Установлено, что системы на основе хлоридов натрия в большей степени подходят для удаления нуклеиновых кислот и не приводят к потерям целевого белка, а наиболее часто применяемые в практике отмывочные растворы на основе Триса, имеющего щелочное значение $pH \approx 10,0$, вызывают частичную солюбилизацию ТВ и при масштабировании процесса приводят к существенным потерям. Также малоэффективными оказались системы, имеющие в составе Triton X-100. Потери целевого белка по данным электрофореза оказались соизмеримыми с потерями при использовании Триса. Для удаления поверхностных примесных белков при одновременном скрининге оптимальных условий солюбилизации ТВ проводили подбор оптимальных концентраций мочевины. В результате эксперимента установили, что эффективная солюбилизация ТВ

происходит под действием 8 М мочевины, а минимальные потери целевого белка обеспечивают концентрации мочевины до 3 М.

Известно, что эффективность сольubilизации ТВ растворами мочевины зависит не только от концентрации денатуранта, но и от pH среды. Для определения оптимальных значений pH среды использовали буфер на основе 50 мМ Трис-HCl в диапазоне pH 7,0–10,0. Установили, что pH 7,0 не вызывает полную сольubilизацию ТВ, в отличие от значений 8,0–10,0. Вместе с тем, пробная ионообменная хроматографическая очистка образца в условиях pH 8,0 не привела к желаемому результату и степень чистоты полученных фракций практически не отличалась от сольubilизата. В связи с чем, дальнейшую работу продолжили в pH 9,0. Для восстановления неправильно сформированных внутри- и межмолекулярных дисульфидных связей в молекулах ИЛ-4 в буфер для сольubilизации дополнительно вводили 20 мМ 2-меркаптоэтанола. Электрофоретический анализ образцов сольubilизата без добавления 2-меркаптоэтанола показал, что целевой белок формирует высокомолекулярные агрегаты, а потому эффективность сольubilизации резко падает.

Далее проводили скрининг условий очистки сольubilизата, в ходе которого установили, что проведение тандемной хроматографии на анионо- (Macro-Prep DEAE) и катионообменнике (Toyopearl SP-550C) последовательно наиболее целесообразно. Состав буфера для уравнивания колонок (Буфер А) совпадал с сольubilизирующим раствором, а элюцию осуществляли в градиенте хлорида натрия (Буфер А + 1 М NaCl) (рисунок).



Электрофореграмма выходных фракций с Toyopearl SP-550C:

- 1 – маркер молекулярных масс, (Color Protein Standard, Broad Range (10-250 kDa) (NEB)); 2 – контроль наноса (сольubilизат ТВ); 3 – проскок с Toyopearl SP-550C; 4-5 – элюция с Toyopearl SP-550C

Элюированные с колонки фракции ИЛ-4 собирали и использовали далее для ренатурации методом разведения в соотношении 1:20. При подборе условий рефолдинга определили, что физиологическое значение рН 7,4, обеспечиваемое 20 мМ фосфатным буфером, оптимально для формирования нативной конформации целевой молекулы. Вместе с тем для преодоления агрегации в процессе ренатурации вводили 0,5 М сахарозу и 1 мМ ЭДТА, а для поддержания окислительно-восстановительного потенциала среды добавляли пару цистеин-цистин в концентрациях 2 мМ и 0,2 мМ соответственно. С целью избавления от оставшихся примесных белков проводили гель-фильтрацию на Sephadex G-100 в натрий-фосфатном буфере, рН 7,4, в котором образцы впоследствии хранили. Степень очистки рИЛ-4 на завершающем этапе превысила 95 % по данным денситометрического анализа электронной фотографии полиакриламидного геля, что достаточно для его применения *in vitro*.

Таким образом, в ходе исследования получена субстанция рекомбинантного человеческого ИЛ-4, характеризующаяся высокой степенью очистки.

Библиографические ссылки

1. Immunotoxin therapy for brain tumors / Chandramohan V. [et al.] // Translational immunotherapy of brain tumors. 2017. Vol. 5. P. 227–260.
2. Fabrication of Interleukin-4 encapsulated bioactive microdroplets for regulating inflammation and promoting osteogenesis / Zhang Y. [et al.] // Int. J. Nanomedicine, 2023. Vol. 19, iss. 18. P. 2019–2035.

ВЫДЕЛЕНИЕ, ОЧИСТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИРОЗИНАЗЫ ИЗ ГРИБОВ *AGARICUS BISPORUS*

А. С. Куркач

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, www.apanasik.by@gmail.com
Научный руководитель — М. В. Шолух, кандидат биологических наук

Актуальной является проблема стандартизации процессов микроанализа и создания меток для таргетной химиотерапии конъюгатами антитело-лекарство. В тяжёлых цепях иммуноглобулинов находится тирозин, через который с помощью грибной тирозиназы осуществляется циклоприесоединение, что позволяет сконструировать гомогенные конъюгаты со специализированными метками. В связи с этим целью данной работы стало получение высокоочищенного препарата тирозиназы с высокой удельной активностью.

Ключевые слова: грибная тирозиназа; очистка; *Agaricus bisporus*; меланины.

В Fc-фрагменте иммуноглобулинов находится тирозин, через который с помощью тирозиназы *Agaricus bisporus* осуществляется циклоприесоединение, что позволяет сконструировать гомогенные конъюгаты со специализированными метками [1].

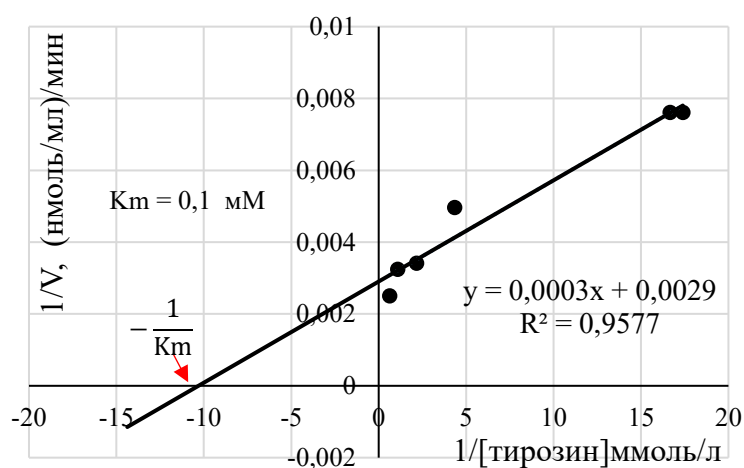
Экстракцию проводили в соответствии с указаниями Haghbeen K. H. et al. [2] с использованием калий-фосфатного буфера (pH=7,0, 0,1 мМ). В присутствии аскорбиновой кислоты (5 мМ). Активность тирозиназы определяли по методике [3]. В результате реакции образуется окрашенный продукт карбоксиазамонадина, имеющий коэффициент молярной экстинкции $\varepsilon = 44680 \text{ M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при данных условиях [4]. В среду для анализа до инкубации вводились катионы меди до конечной концентрации 15 мМ [5]. Определение концентрации белка проводили по методу Брэдфорда [6]. Проводили SDS-электрофорез отобранных фракций [7], гель окрашивали красителем Кумасси R-250 [8] с дополнительным окрашиванием серебром [9].

В ходе работы был проведен эксперимент, состоящий из нескольких этапов: получение экстракта, ионообменная хроматография на DEAE-целлюлозе и аффинная хроматография на TOYOPEARL HW-65 [10]. После каждого этапа определялась концентрация белка, проводился электрофорез в полиакриламидном геле и измерялась активность тирозиназы. Для следующей стадии очистки выбиралась фракция с наибольшей удельной активностью (таблица).

Определение выхода и фактора очистки тирозиназы

Стадия	Объём (мл)	Белок (мг/мл)	Об-щий белок (мг)	Актив-ность общая (Е)	Актив-ность удельная (Е/мг белка)	Выход (%)	Фактор очистки
1. Тканевой экстракт	752	0,243	182,7	2820	15,4	100	1
2. Хроматография на DEAE-целлюлозе (фракция 3)	10	0,012	0,123	13,5	109,76	—	—
3. Хроматография на Сп-ТОУОРЕАРЛ HW-65 (фракция 2)	2	0,018	0,036	53,8	1494,4	2	97,04

Были получены данные активности очищенного фермента при различных концентрациях тирозина. Построив график по Лайнуиверу-Берку, определили константу Михаэлиса (K_m) для тирозина (рисунок).



Определение K_m тирозиназы для тирозина

Методом флуоресцентной спектроскопии было подтверждено образование продукта тирозиназной реакции карбоксиазамокардина, обладающего максимумом эмиссии на длине волны 464 – 465 нм при длине волны возбуждения 420 нм [4].

1) Установлено, что выход целевого продукта составляет 2 %, фактор очистки 97,04 раза.

2) SDS-электрофорезом в 12,5% полиакриламидном геле подтверждено наличие у тирозиназы двух полипептидных цепей с молекулярными массами около 34 – 43 кДа и двух полипептидных цепей с молекулярными массами около 17 кДа [11].

3) Константа Михаэлиса фермента для тирозина равна 0,10 мМ, удельная активность 1494,4 нмоль тирозина/мг белка/мин.

4) Согласно данным флуоресцентной спектроскопии и кинетического анализа можно полагать, что выделенный фермент сохранил третичную структуру в процессе выделения и очистки.

Библиографические ссылки

1. Non-genetic generation of antibody conjugates based on Chemoenzymatic tyrosine click chemistry / Bruins J. J. [et al.] // *Bioconjugate Chemistry*. 2021. Vol. 32, iss. 10. P. 2167-2172.

2. Purification of tyrosinase from edible mushroom / Haghbeen K. [et al.] // *Iranian J. Biotechnology*. 2004. Vol. 21. P. 189-194.

3. In situ fluorogenic and chromogenic reactions for the sensitive dual-readout assay of tyrosinase activity / Zhao J. [et al.] // *Analytical chemistry*. 2017. Vol. 89, iss. 19. P. 10529-10536.

4. Synthesis and photophysics of novel biocompatible fluorescent oxocines and azocines in aqueous solution / Acuña A. U. [et al.] // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2013. Vol. 15, iss. 39. P. 16704-16712.

5. Partial purification and characterization of a novel extracellular tyrosinase from *Auricularia auricula* / Zou Y. [et al.] // *Applied biochemistry and biotechnology*. 2014. Vol. 172. P. 1460–1469.

6. Kruger N. J. The Bradford method for protein quantitation // *The protein protocols handbook*. 2009. P. 17–24.

7. Hoefer Inc. HOEFER SE250. Mini-vertical gel electrophoresis unit // *User manual*. 2012. P. 8-14.

8. SERVA Brilliant Blue Staining Procedures [Electronic resource]. URL: https://www.serva.de/en/DE/612_Information_Center_Electrophoresis_SDS_PAGE_Coomassie_reg_staining.html (date of access: 15.05.2024).

9. A simplification of Heukeshoven and Dernick's silver staining of proteins / Damerval C. [et al.] // *Electrophoresis*. 1987. Vol. 8, iss. 3. P. 158–159.

10. TOSOH BIOSCIENCE THE CUSTOMER MAGAZINE [Electronic resource]. URL: <https://www.separations.eu.tosohbioscience.com/products/process-media/size-exclusion/toyoparl-hw-65> (date of access: 15.05.2024).

11. Crystal structure of *Agaricus bisporus* mushroom tyrosinase: identity of the tetramer subunits and interaction with tropolone / Ismaya W. T. [et al.] // *Biochemistry*. 2011. Vol. 50, iss. 24. P. 5477 – 5486.

ИЗУЧЕНИЕ ФИТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ СВОБОДНОЖИВУЩИХ БАКТЕРИЙ-АЗОТФИКСАТОРОВ

В. В. Леонович

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, veronicleonovich@gmail.com
Научный руководитель — Д. В. Маслак*

Исследованы фитостимулирующие свойства шести изолятов не фитопатогенных свободноживущих бактерий-азотфиксаторов. Отобраны два изолята способные к синтезу ИУК и повышающие ростовые параметры молодых растений рапса озимого и пшеницы яровой при выращивании в условиях недостатка азота.

Ключевые слова: бактерии-азотфиксаторы; стимуляция роста растений; ИУК биопрепарат; агробиотехнологии.

Азот является одним из основных элементов, необходимых для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Биологический азот, в отличие от минерального, в почву поступает постепенно, в течение всего периода вегетации, что исключает избыточное накопление его в растениеводческой продукции и окружающей среде. Это достигается благодаря тесной связи между растением и микроорганизмами-азотфиксаторами, из-за чего практически весь фиксированный азот сразу же поступает в метаболические пути и используется для биосинтеза азотсодержащих соединений.

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

Целью данной работы являлось исследование фитостимулирующей активности свободноживущих бактерий-азотфиксаторов и отбор наиболее активных изолятов.

В предварительных исследованиях из образцов почвы и ризосферы растений выделены и изучены 5 изолятов (К40, И1, Е3, Г2, Г3) азотфиксирующих не фитопатогенных бактерий, которые показали способность стимулировать рост корней проростков кресс-салата. Из коллекции не фитопатогенных микроорганизмов НИЛ Молекулярной генетики и биотехнологии, отобран изолят азотфиксирующих бактерий ТР1, проявивший в предварительных исследованиях фитостимулирующие свойства.

Отобранные изоляты были оценены на способность микроорганизмов синтезировать и накапливать в ростовой среде индолил-3-уксусную кислоту (ИУК). Бактерии для исследований выращивали в среде для продукции ИУК (содержащей триптофан, как предшественник ИУК) при 28 °С в течение 48 часов. Для определения концентрации ИУК использовался реактив Сальковского. Оптическую плотность реакционной смеси оценивали спектрофотометрически (длина волны 525 нм). Концентрацию ИУК определяли по калибровочной кривой, построенной в диапазоне от 0,1 до 100 мкг/мл. Максимальное значение концентрации ИУК в эксперименте (53 мкг/мл) зарегистрирована в культуральной жидкости изолята ТР1. Значительно ниже было значение концентрации ИУК в варианте с изолятом Г3 - 2,36 мкг/мл. У изолятов Е3, И1 и К40 концентрация ИУК в культуральной жидкости через 48 часов культивирования не превышала значения 1 мкг/мл и составила 0,68 мкг/мл, 0,24 мкг/мл и 0,06 мкг/мл соответственно. Бактерии изолята Г2 не проявили способность к синтезу ИУК.

У ИУК-продуцирующие азотфиксаторов исследована способность стимулировать ростовые процессы проростков двудольных растений (рапс озимый, сорт «Зенит»), выращиваемых в условиях отсутствия минерального азота (табл. 1). Растения выращивали на модифицированной среде Кнопа, не содержащей азот. В вегетационные сосуды с семенами вносили 1% раствор исследуемой бактериальной суспензии, выращенной на безазотной среде Эшби (опыт), или стерильную дистиллированную воду (контроль). Параллельно растения были высажены в стандартную среду Кнопа (эталон). Растения выращивали в течении 11 дней, 2 суток в темноте, затем в светотеплице с световым днем 12 часов.

Таблица 1

Влияние бактерий-азотфиксаторов на ростовые параметры растений рапса озимого, сорт «Зенит» при выращивании в условиях недостатка азота

Вариант	Сухой вес стебля (мг)	Сухой вес корня (мг)	Длина стебля (мм)	Длина корня (мм)
Г3	41,4±2,6	19,44±1,8	81,2±0,8	155,3±5,2
К40	35,75±3,2	15,1±0,6	70,2±2,3	143,3±4,3
Тр1	49,1±1,9	20,9±2,1	84,21±1,7	160,86±6,4
Е3	43,2±2,2	14,81±3,2	60,1±1,3	136,5±3,4
И1	54,46±5,7	17,56±2,5	69,67±4,2	138,2±2,1
Контроль	48,2±1,8	16,4±0,6	63,11±2,7	128,9±3,2
Эталон	128,2±7,4	29,1±1,9	102,77±6,3	97,52±4,3

Примечание. Контроль – обработка водой. Эталон – вариант с стандартной средой Кнопа.

Как видно из представленных данных, во всех вариантах опыта обработка исследуемыми бактериями достоверно увеличила длину корня растений рапса как по сравнению с контролем, так и по сравнению с эталоном. Обработка изолятом ГЗ увеличила сухой вес стебля на 15,64 % и длину стебля на 22,28% по сравнению с контролем. Обработка изолятом Tr1 увеличило длину стебля на 33,45% по сравнению с контролем. При использовании изолята К40 сухой вес стебля и корня достоверно снижался по сравнению с контрольным вариантом. Обработка семян изолятами ГЗ и Tr1 привела к увеличению длины корня на 20,48% и 24,5% соответственно. В этих вариантах эксперимента отмечен наибольшие значения длины стебля растений. Данный параметр вырос по сравнению с контролем в 1,33 раза при обработке изолятом Tr1 и в 1,29 раза в варианте с изолятом ГЗ. Тем не менее, во всех вариантах эксперимента при обработке бактериями-азотфиксаторами длина стебля, а также сухой вес стебля и корня растений были достоверно ниже, чем у растений, выращиваемых на среде с минеральным азотом (эталон).

У изолятов ГЗ и Tr1, показавших лучшие фитостимулирующие свойства на растениях рапса, исследована способность влиять на биометрические показатели однодольных растений - пшеницы яровой, сорт «Сударыня» при выращивании в условиях недостатка азота (Табл. 2). Эксперимент проводили по схеме, описанной выше. Растения выращивали в течении 7 дней, 2 суток в темноте, затем в светотеплице с световым днем 12 часов. Из представленных данных видно, что при обработке изучаемыми бактериальными изолятами у опытных растений происходило увеличение параметров роста по сравнению с контролем.

Таблица 2

Влияние бактерий-азотфиксаторов на ростовые параметры растений пшеницы яровой, сорт «Сударыня» при выращивании в условиях недостатка азота

Вариант	Сухой вес стебля (мг)	Сухой вес корня (мг)	Длина стебля (мм)	Длина корня (мм)	Количество корней на 1 растение (шт)
ГЗ	34,81±0,2	24,57±1,6	160,5±5,2	67,4±2,7	5±0,75
Tr1	35,76±1,8	17,93±0,4	178,0±3,5	73,8±3,3	6±0,68
Контроль	26,8±0,4	20,26±1,2	155,9±4,3	60,4±3,9	4±0,45
Эталон	37,64±1,3	24,3±0,2	176,6±1,1	65,2±5,2	5±0,53

Примечание. Контроль – обработка водой. Эталон – вариант с стандартной средой Кнопа.

Отмечено достоверное увеличение сухого веса стебля (на 30 и 33%) и длина корня (на 11% и 22%) в вариантах ГЗ и Tr1 соответственно. Обработка изолятом Tr1 достоверно увеличивало длину стебля в опыте по сравнению с контролем на 14,2%. Максимальная длина корня показана при обработке изолятом Tr1, этот показатель в 1,22 раз превышал контроль. В эксперименте учитывалось количество придаточных корней растений, как признак развития корневой системы. Выяснено, что обработка бактериями изолята Tr1 достоверно увеличивало количество корней у растений в опыте по сравнению с контролем ($5 \pm 0,75$ и $4 \pm 0,45$ штук соответственно).

Необходимо отметить, что обработка бактериями-азотфиксаторами изолята ГЗ, позволила получить практически все параметры (сухой вес стебля и корня, длины корня и среднее количество корней на 1 растение) достоверно не отличающиеся от параметров растений, выросших в условиях доступности минерального азота (эталона). Обработка растений бактериями изолята Tr1 позволили сравнить с параметрами растений эталона сухой вес и длину стебля, а также длину корня и среднее количества корней растений на 1 растение. Бактерии-азотфиксаторы изолятов ГЗ и Tr1, обладающие способностью стимулировать ростовые параметры растений при выращивании в условиях недостатка минерального азота являются перспективными для использования при разработке биопрепаратов для растениеводства.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСПОРТЕРОВ ГАМК И ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КРИО-ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 3D-СТРУКТУРЫ ВЕЗИКУЛЯРНОГО ГАМК ТРАНСПОРТЕРА

Н. А. Лукашенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, kapustsin@bsu.by
Научный руководитель — М. А. Капустин*

В данной работе рассмотрена базовая классификация нейротрансмиттеров (НТ) и, в частности, классификация переносчиков гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК). Описана локализация транспортеров ГАМК в клетках центральной нервной системы, показана роль аномалий структуры и функции транспортера ГАМК в генезе патологических процессов. Рассмотрен общий подход к анализу структуры везикулярного транспортера ГАМК методом крио-электронной микроскопии.

Ключевые слова: нейротрансмиттеры; везикулярный транспорт; ГАМК; транспортеры; крио-электронная микроскопия; структура белка.

Нейротрансмиттеры (НТ) представлены главным образом низкомолекулярными соединениями, базово относящимися к 5 группам [1, 3]. 1. Аминокислоты: глутамат (анион глутаминовой кислоты) – основной возбуждающий нейромедиатор; гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) – основной тормозной нейромедиатор центральной нервной системы. 2. Пептиды: окситоцин – выполняет в головном мозге роль нейротрансмиттера, участвует в регуляции социального поведения, привязанности, полового размножения; эндорфины – тормозят передачу сигналов от болевых рецепторов, формируют состояние эйфории. 3. Моноамины: эпинефрин; гистамин; дофамин; серотонин. 4. Пурины: аденозин – играет роль нейромодулятора, участвует в регуляции сна; аденозинтрифосфорная кислота – принимает участие в передаче сигналов от сенсорных систем, в сигналинге между нейронами и глиальными клетками. 5. Ацетилхолин – принимает участие в передаче сигналов в синапсах как в центральном, так и в периферическом отделах нервной системы, вовлечен в процессы формирования памяти и когнитивных функций.

Синаптическая передача сигналов включает захват клеткой нейромедиатора (НМ), выделившегося в синаптическую щель при инициации передачи сигнала. НМ синтезируются в цитоплазме и для нормального функционирования синаптической передачи должны транспортироваться в синаптические пузырьки. Поэтому клетке

необходимо осуществлять регулируемый экзоцитоз, сопряженный с формированием и транспортом везикул, заполненных НМ [1].

Для каждого из этих процессов (трансмембранный перенос НМ и везикулярный транспорт) существуют свои транспортные системы, обладающие различной локализацией в клетках нервной ткани. Для ряда НТ (ацетилхолин, соединения группы моноаминов и пр.) идентифицированы белки – везикулярные транспортеры. Для многих транспортеров установлены гены, кодирующие первичную структуру белка и с использованием программного обеспечения рассчитана пространственная структура *in-silico*. С использованием методов рентгеноструктурного анализа, ЯМР и крио-электронной микроскопии установлена структура некоторых белков-транспортеров [3].

По природе переносимых субстратов, представляющих собой растворенные низкомолекулярные соединения, транспортеры НТ входят в состав суперсемейства SLC (solute carrier) – транспортеров растворенных веществ [1, 3]. Суперсемейство SLC транспортеров включает около 68 семейств, насчитывающих около 400 транспортеров. Многие из них обладают перекрестной субстратной специфичностью (по классам органических и неорганических соединений). Так, например, транспорт аминокислот может осуществляться членами семейств SLC1, SLC3/7, SLC6, SLC15, SLC16, SLC17, SLC32, SLC36, SLC38 и SLC43. Другие представители суперсемейства SLC регулируют потоки ионов на плазматической мембране или транспорт растворенных веществ в клеточные органеллы и из них. Для некоторых транспортеров семейства SLC физиологическая функция еще не определена. Внутри суперсемейства SLC наблюдается высокая вариативность и разнообразие пространственной структуры [3].

В связи с участием в выполнении ключевых физиологических функций SLC транспортеры являются важными мишенями для разработки лекарственных субстанций. Поиск таких лекарственных соединений основан на обработке и анализе данных о мишенях их действия – SLC-переносчиках, что требует описания их структуры, динамики и механизма взаимодействия с низкомолекулярными лигандами и ионами. Определение структуры SLC транспортеров и их гомологов у человека в сочетании с улучшенными вычислительными возможностями и методами прогнозирования позволит эффективно применять вычислительные методы разработки лекарств для модуляции функций транспортеров и коррекции патофизиологических состояний [3].

ГАМК является основным тормозным нейромедиатором в центральной нервной системе. Синтез ГАМК происходит в ГАМК-продуцирующих нейронах путем ферментативного декарбоксилирования глутамата [1]. Синтезированная ГАМК затем депонируется в везикулах, в

которые она транспортируется везикулярным транспортером ГАМК (VGAT). ГАМК высвобождается из этих везикул в синаптическую щель путем экзоцитоза. Этот процесс регулируется потенциал-зависимыми Ca^{2+} каналами, активирующимися при деполяризации. ГАМК сигналинг terminates путем удаления ГАМК из синаптической щели в ходе обратного захвата в соседние пресинаптические нейроны и глиальные клетки транспортерами ГАМК (GATs). GATs представляют собой мембраносвязанные симпортеры ГАМК/ Na^+ , принадлежащие к семейству SLC-6. Будучи Na^+/Cl^- зависимыми переносчиками, они обеспечивают котранспорт двух ионов Na^+ и одного иона Cl^- [1, 3]. Показано, что четыре изоформы GAT имеют различное распределение в ЦНС. GAT1 – наиболее распространенный транспортер из четырех подтипов GATs – в основном присутствует на пресинаптических ГАМК эргических нейронах, тогда как GAT3 находится в астроцитах. Иммуноцитохимические исследования показали, что GAT2 в основном локализован в лептоменингеальных клетках [1, 3].

Активность ГАМК-транспортеров, расположенных преимущественно на нейронах (GAT-1), клетках глии (GAT-3) или на клетках обоих типов (GAT-2, BGT-1), служит для прекращения фазовой ГАМК-эргической передачи, поддержания низких внеклеточных концентраций ГАМК, и позволяет повторно использовать ГАМК нейронами [1].

GAT1 является преобладающим транспортером ГАМК в головном мозге и встречается преимущественно на окончаниях пресинаптических нейронов и в гораздо меньшей степени на дистальных отростках астроцитов, расположенных вблизи окончаний аксонов. GAT3 располагается преимущественно на дистальных окончаниях астроцитов, близких к ГАМК-эргическому синапсу. BGT1 занимает экстрасинаптическую локализацию, возможно, вместе с GAT2, экспрессия которого в мозге низка [1]. Разработка высокоселективных лигандов к GATs может быть особенно полезна для лечения таких патологий как шизофрения, болезнь Паркинсона, эпилепсия, поскольку было показано, что при этих заболеваниях GATs играют важную патофизиологическую роль [3]. Установлено, что ингибиторы GATs обладают противосудорожными свойствами. На основе проведенного скрининга разработан противоэпилептический лекарственный препарат «тиагабин» – ингибитор GAT1 [3].

Везикулярный транспортер ГАМК (VGAT) (также называемый везикулярным ингибирующим переносчиком аминокислот (VIAAT)) является единственным представителем семейства SLC32 и транспортирует ГАМК и глицин в синаптические везикулы [1, 3]. VGAT входит в состав группы транспортеров аминокислот-полиаминов-органокатионов (APC), состоящей из семейств транспортеров SLC32,

SLC36 и SLC38.VGAT действует как антипортер для ГАМК/глицина и протонов. Накопление ГАМК и глицина внутри везикул обусловлено как химическим (ΔpH), так и электрическим ($\Delta \psi$) компонентами протонного электрохимического градиента ($\Delta \mu H^+$), создаваемого вакуолярной H^+ -АТФазой. Также имеются работы, показывающие, что VGAT является котранспортером Cl^- /GABA [1].

Пространственная атомарная структура VGAT окончательно не установлена. Первоначально предполагалось, что в структуре транспортера присутствует 10 трансмембранных сегментов (ТМ) с цитоплазматическими N- и C-концами. Однако впоследствии сообщалось об альтернативной структуре с 9 ТМ, в которой N-конец обращен к цитоплазме, а C-конец расположен в люмене синаптического пузырька [1].

В связи с этим актуальным представляется разработка и оптимизация техники анализа структуры VGAT для получения 3D-модели атомарной структуры транспортера с последующим определением потенциальных сайтов модуляции его активности.

Перспективным для определения 3D-структуры белков является метод криоэлектронной микроскопии (Cryo-ЕМ), принцип которого предполагает использования двумерных изображений, содержащих минимальную информацию, для генерации трехмерной структуры высокого разрешения. Для получения двумерных изображений применяют два подхода: анализ единичных частиц и криоэлектронная томография. В первом случае изучаемый объект (изолированную одиночную молекулу) сканируют под различными углами к электронному пучку, получая ряд двумерных изображений. Во втором случае получают изображения двумерных проекций тысяч единиц изучаемого объекта (молекулы), ориентированных случайным образом, которые затем сортируют и усредняют. В большинстве современных приложений криоэлектронной микроскопии используется комбинация обоих методов. С использованием Cryo-ЕМ возможно получить 3D-структуры с разрешением в 3,5 Å высокого качества и без артефактов, возможных иметь место быть при применении метода рентгеноструктурного анализа [3].

Библиографические ссылки

1. Structure, function, and plasticity of GABA transporters / A. Scimemi // *Front. Cell. Neurosci.* 2014. Vol. 8. P. 1–14.
2. Principles of cryo-EM single-particle image processing / F. J. Sigworth // *Microscopy.* 2016. Vol. 65, iss. 1. P. 57–67.
3. Visualizing GABA transporters in vivo: an overview of reported radioligands and future directions / N. Knippenberg [et al.] // *EJNMMI Res.* 2023. Vol. 13, iss. 42. P. 1–21.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА НА РОСТ И АРХИТЕКТУРУ КОРНЯ АРАБИДОПСИСА

П. О. Мучинская, В. В. Тарима

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, samokhina@bsu.by
Научный руководитель — В. В. Самохина

В работе было охарактеризовано воздействие наночастиц (НЧ) оксидов меди и железа на ростовые параметры модельного растения *Arabidopsis thaliana*. Показано стимулирующее действие низких концентраций НЧ и токсичность высоких уровней НЧ. Также обнаруженные эффекты НЧ были сравнены с влиянием обработки супернатантом и металлами в ионной форме.

Ключевые слова: наночастицы; медь; железо; рост; архитектура корня; арабидопсис.

В последние годы наиболее динамично развивающейся сферой хозяйствования стала сфера нанотехнологий. Наночастицы – частицы размером от 1 до 100 нм, состоящие из углерода, металлов, оксидов металлов или органических веществ – широко применяют в медицине в качестве лекарств, биосенсоров или агентов, доставляющих лекарственные вещества внутрь клетки, в промышленности при создании покрытий и прочных материалов, в сельском хозяйстве в виде наноудобрений, в экологии для мониторинга окружающей среды и т.д. [1]. Влияние НЧ на растения может быть разнообразным и зависит от типа НЧ, их физико-химических свойств, концентрации, времени воздействия, а также вида растения [2]. В литературе описаны как позитивные, так и токсические эффекты металлических НЧ [3], однако механизм их действия до конца не ясен. Целью настоящей работы являлся анализ изменений ростовых процессов и параметров архитектуры корня *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. при воздействии НЧ оксидов меди и железа.

Объектом исследования являются корни 5-10-дневных проростков *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. экотипа Columbia-0 (Col-0). Исследование проводилось с использованием техники ростовых тестов с накопыванием стресс-растворов (однократное и пятикратное накопывание). Использовались растворы НЧ CuO и Fe₃O₂, супернатантов соответствующих НЧ, а также CuCl₂ и FeCl₃ в концентрациях 10, 30, 100, 300, 1000 мг/л. Проводилась фоторегистрация прироста корней и изучалась архитектура кончика корня с помощью инвертированного светового микроскопа. Измерялись следующие параметры: диаметр корня в зоне деления и в зрелой зоне, длина зоны роста растяжением.

В результате работы было показано, что в невысоких концентрациях (10 мг/л), как при продолжительном воздействии, так и однократном наночастицы CuO стимулируют рост корней арабидопсиса, тогда как более высокие дозы (30-1000 мг/л) не оказывают влияния на рост корней (рис. 1).

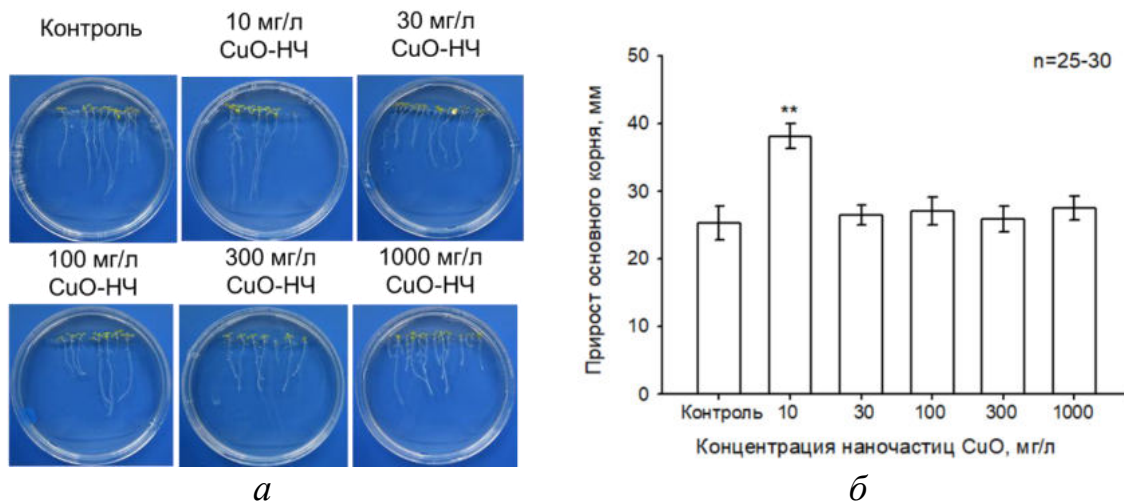


Рис. 1. Изменение роста *A. thaliana* при 5-кратной обработке НЧ оксида меди: *а* – фотографии 10-дневных проростков арабидопсиса; *б* – прирост длины основного корня

Примечание. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-теста, где ** $p < 0,01 (X \pm Sx, n = 25-30)$.

Ионная форма меди (CuCl_2) при продолжительном воздействии (5-кратное накапливание) на корни *A. thaliana* в концентрации 10 мг/л стимулирует их рост, тогда как при однократном – ингибирует. В высоких концентрациях (30-1000 мг/л) CuCl_2 ингибирует рост основного корня арабидопсиса. При анализе архитектуры корня обнаружено, что наночастицы оксида меди (II) вызывают уменьшение диаметра зрелой зоны корня в диапазоне концентраций 10-1000 мг/л при продолжительном накапливании и в диапазоне концентраций 100-1000 мг/л при однократном. Ионная форма меди (CuCl_2) также уменьшает диаметр зрелой зоны корня в концентрациях от 10 до 1000 мг/л. CuO-НЧ приводят к уменьшению длины зоны роста растяжением при действии концентраций от 100 до 1000 мг/л. CuCl_2 также ингибирует увеличение длины зоны роста растяжением в диапазоне концентраций 10-1000 мг/л, как при продолжительном, так при однократном накапливаниях. При однократном воздействии наноформы оксида меди (II) в концентрациях 30-1000 мг/л происходит уменьшение диаметра зоны деления корня. Ионная форма меди (CuCl_2) также вызывает уменьшение диаметра зоны деления при однократном воздействии в концентрациях 10-1000 мг/л. При обработке растений наночастицами

железа было установлено, что и при продолжительном воздействии, и при 1-кратном Fe_3O_4 -НЧ в концентрациях 30-300 мг/л стимулируют рост корней (рис. 2), в то время как FeCl_3 в концентрациях от 10 мг/л до 100 мг/л стимулируют рост корней *A. thaliana*, а 300 мг/л и 1000 мг/л – ингибируют.

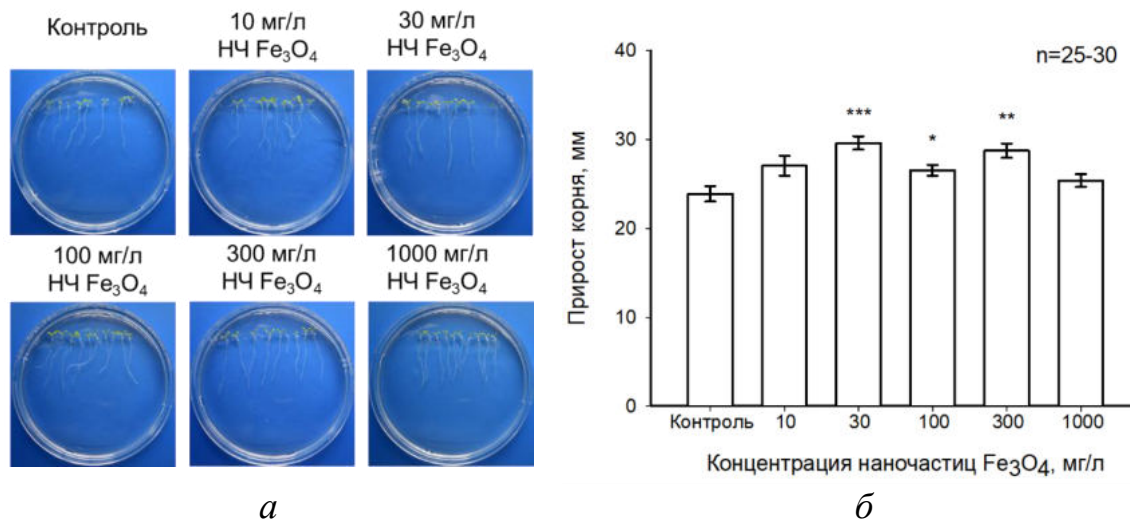


Рис. 2. Изменение роста *A. thaliana* при 5-кратной обработке НЧ оксида железа: а – фотографии 10-дневных проростков арабидопсиса; б – прирост длины основного корня

Примечание. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-теста, где где * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (n=25-30).

При изучении архитектуры корня было отмечено, что наиболее чувствительной к воздействию наночастиц железа оказалась зрелая зона корня. Диаметр корня в данной зоне при однократной обработке всеми протестированными концентрациями Fe_3O_4 -НЧ увеличился. Также увеличились диаметр корня в зоне деления и длина зоны роста растяжением при обработке наночастицами Fe_3O_4 в концентрациях 100 мг/л, 300 мг/л и 1000 мг/л. При добавлении Fe^{3+} (FeCl_3) такого эффекта не наблюдается.

Также было показано, что после 5-дневного накопления наночастиц железа диаметр корня арабидопсиса в зрелой зоне, а также длина зоны роста растяжением не менялись. Наиболее чувствительной оказалась зона деления корня. Диаметр корня в данной зоне при обработке концентрациями 30 мг/л, 100 мг/л, 300 мг/л и 1000 мг/л уменьшился на 20-30%. После 5-дневного накопления железа в ионной форме на корни арабидопсиса в концентрации 1000 мг/л произошло уменьшение диаметра корня в зрелой зоне на 16%, в зоне деления обработка концентрациями хлорида железа в диапазоне от 10 мг/л до 1000 мг/л вызывала уменьшение диаметра корня на 30-50%. Также было отмечено увеличение длины зоны роста растяжением на 41% при обработке ионами железа в концентрации

100 мг/л и уменьшение при воздействии ионов железа в концентрациях 300 мг/л и 1000 мг/л на 29% и 36% соответственно.

Таким образом, нами было показано что в ионной форме медь и железо демонстрируют большой ингибирующий эффект на ростовые процессы у арабидопсиса по сравнению с наноформой данных металлов. Более того, низкие уровни НЧ оксидов металлов (10 мг/л для CuO-НЧ и 100-300 мг/л для Fe₃O₄-НЧ) оказывают стимулирующее действие на рост и архитектуру корня, что может иметь практическое значение для разработки наноудобрений (корнестимулирующих препаратов).

Библиографические ссылки

1. *Feigl G.* The impact of copper oxide nanoparticles on plant growth: a comprehensive review // *J. Plant Interactions.* 2023. Vol. 18. P. 224-308.
2. CuO and ZnO nanoparticles: phytotoxicity, metal speciation, and induction of oxidative stress in sand-grown wheat / C.O. Dimkpa [et al.] // *J. Nanopart. Res.* 2012. Vol. 14. P. 1–15.
3. Unraveling the plethora of toxicological implications of nanoparticles on living organisms and recent insights into different remediation strategies: A comprehensive review / R. Sharna [et al.] // *Sci. Total Environm.* 2024. Vol. 906. P.167697-167709.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКСИЧНОСТЬ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ «ЦВЕТЕНИЙ» В ВОДОЕМАХ ВИЛЕЙСКО-МИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

М. А. Мыслейко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, myslejko@bsu.by
Научный руководитель — Б.В. Адамович, кандидат биологических наук, доцент*

Способность цианобактерий вызывать массовые цветения водоемов, а также синтезировать соединения опасные для здоровья человека, представляет серьезную экологическую проблему по всему миру. В рамках данного исследования проводились работы по изучению сезонной динамики содержания хлорофилла-а в трех водоемах Вилейско-Минской водной системы, а также путем ПЦР-анализа осуществлялось выявление потенциально токсичных цветений в объектах Вилейско-Минской водной системы.

Ключевые слова: цианобактерии; цианотоскины; токсичные цветения; хлорофилл; микроцистин; ПЦР-анализ.

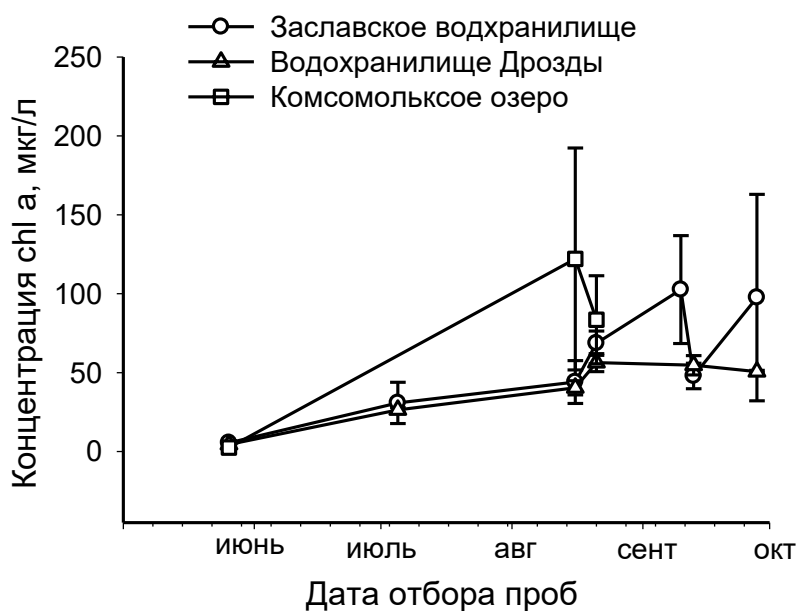
Благодаря своей широкой экологической пластичности цианобактерии способны быстро увеличивать объем биомассы, вызывая так называемые «цветения», которые приводят к появлению неприятного запаха и снижению концентрации растворенного кислорода, в конечном итоге приводя к изменению видового состава водной экосистемы. Помимо этого, многие виды цианобактерий обладают способностью к синтезу токсинов различной химической природы и различного токсического эффекта [1]. Токсичные цветения были зарегистрированы практически в каждой стране мира на всех континентах, включая Антарктиду [1]. Причинами повышения интенсивности цветений являются глобальное потепление, а также высокая трофическая нагрузка на водоемы, вызванная активным использованием минеральных удобрений, гербицидов и водной эрозией почв [2, 3]. Такие токсичные цветения способны наносить серьезный урон здоровью человека, а также вызывать замор рыбы и приводить к снижению качества воды [1, 2]. Целью данной работы является изучение сезонной динамики содержания хлорофилла-а и выявление потенциальных токсичных цветений в водоемах Вилейско-Минской водной системы. Пробы для определения концентрации хлорофилла-а отбирали с мая по октябрь 2023 года на трех водохранилищах: заславское водохранилище, в. Дрозды и комсомольское озеро. Воду для определения хлорофилла-а отбирали с поверхностного горизонта в трех точках водоема в пелагиали. Концентрацию хлорофилла-а определяли спектроскопическим

методом [4]. Для экстракции хлорофилла использовался 90% ацетон. Концентрацию хлорофилла измеряли сразу после экстракции на спектрофотометре Cary 50 (приложение scan) при длине волны 665 нм.

Пробы для определения потенциально токсичных цианобактерий отбирали в водохранилище Дрозды, оз. Комсомольское, Заславское водохранилище, Чижовское водохранилище, а также в реке Свислочь в черте г. Минска в период с июля по октябрь 2023 года. Отобранные для проведения молекулярно-генетического анализа пробы фиксировали в 96% этаноле. Для выделения ДНК из проб использовали набор Genomic DNA purification kit (Thermo Scientific, Литва), в соответствии с прилагаемой инструкцией производителя. Для проведения амплификации использовали праймеры NEPF 5'-TTTGGGGTTAACTTTTTT-GGGCATAGTC и NEPR 5'-AATTCTTGAGGCTGTAAATCGGGTTT. Амплификация осуществлялась по следующей программе: 2 мин – 92 °С, 35 циклов: 92 °С – 20 с, 52 °С – 30 с, 72 °С – 1 мин, в последнем цикле этап элонгация удлинен до 12 мин. Полученные ПЦР-продукты анализировали при помощи горизонтального электрофореза в 1,5% агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. Содержание хлорофилла в водохранилищах Заславское, Дрозды и Комсомольском оз. в вегетационный сезон 2023 г. значительно различалось. Наименьшие значения содержания хлорофилла были характерны для мая и составили в среднем $5,47 \pm 1,47$ мкг/л для Заславского водохранилища, $4,48 \pm 0,31$ мкг/л – Дрозды, $2,49 \pm 0,51$ мкг/л – Комсомольское оз. В Заславском водохранилище показатель содержания хлорофилла достиг максимальных значений в сентябре. На отдельных станциях он превышал 150 мкг/л. В конце сентября в одной из точек отбора проб этот показатель достиг 184,14 мкг/л. Также высокое значение содержания хлорофилла наблюдалось в августе на одной из станций в Комсомольском оз. – 202,19 мкг/л. Данный показатель достиг максимума в августе-сентябре и в водохранилище Дрозды. В этот период содержание хлорофилла превышало 50 мкг/л (рисунок).

В качестве целевого гена для выявления токсинов был выбран ген микроцистинсинтазы *tcuE*. Согласно литературным данным этот ген с высокой точностью свидетельствует о наличии токсинов в цветении [5]. По результатам ПЦР-анализа ген *tcuE* был обнаружен в 5 образцах: Комсомольское озеро от 22.07, водохранилище Дрозды от 22.07, Комсомольское озеро от 23.08, Комсомольское озеро от 30.08, и р. Свислочь (в районе дворца Спорта) от 03.09. Были выявлены фрагменты размером около 500 пар оснований. Выборочное наличие токсинов в исследуемых образцах может быть объяснено различным соотношением токсиногенных и нетоксиногенных штаммов в пределах одного водоема [6]. Согласно литературным данным, это соотношение может значительно

колебаться в течение сезона и зависит от различных факторов, таких как температура, освещенность, доступность питательных элементов [3].



Динамика концентрации хлорофилла в вегетационный сезон 2023 г.
в водоемах Вилейско-Минской водной системы

Обнаружение гена *тсуЕ* в образцах цветений позволяет говорить лишь о потенциальной токсичности данного образца. Для достоверного определения токсичности цветения необходимо аналитическое выявление непосредственно самого токсина.

Таким образом в рамках данной работы была изучена сезонная динамика содержания хлорофилла-а, а также проведен поиск гена микроцистинсинтазы, свидетельствующего о вероятном присутствии токсинов в водоеме. По результатам анализа ген *тсуЕ* был выявлен в пяти пробах из водохранилища Дрозды, Комсомольского озера и р. Свислочь.

За помощь в обработке проб для определения концентрации хлорофилла выражается благодарность м.н.с. НИЛ гидроэкологии Евменчик Е.Д.

Библиографические ссылки

1. The diversity of cyanobacterial toxins on structural characterization, distribution and identification: a systematic review / X. Du [et al.] // Toxins. 2019. Vol. 11, iss. 9. P. 530-539.
2. Schindler D.W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication // Limnol. Oceanogr. 2006. Vol. 51, iss. 1. P. 356-363.

3. Environmental conditions that influence toxin biosynthesis in cyanobacteria: Regulation of cyanobacterial toxin biosynthesis / B.A. Neilan [et al.] // Environ. Microbiol. 2013. Vol. 15, iss. 5. P. 1239-1253.
4. Kovalevskaya R.Z. Modification of the method of spectrophotometric determination of chlorophyll A in the suspended matter of water bodies // J. Appl. Spectrosc. 2020. Vol. 87, iss. 1. P. 72-78.
5. Ngwa F.F. Comparison of cyanobacterial microcystin synthetase (mcy) E gene transcript levels, mcy E gene copies, and biomass as indicators of microcystin risk under laboratory and field conditions // MicrobiologyOpen. 2014. Vol. 3, iss. 4. P. 411-425.
6. Phylogenetic evidence for the early evolution of microcystin synthesis / A. Rantala [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2004. Vol. 101, iss. 2. P. 568-573.

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА КОМПЛЕКСОВ ШМЕЛЕЙ (*BOMBUS LATR.*) – ПОСЕТИТЕЛЕЙ СОЦВЕТИЙ ИНВАЗИВНЫХ ЗОЛОТАРНИКОВ В МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Л. Новолодская

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, sonya.novolodskaya@mail.ru
Научный руководитель — Д.О. Коротеева

В статье представлены результаты анализа динамики сообществ шмелей (*Bombus Latr.*), посещающих соцветия инвазивных золотарников в окрестностях деревни Домашаны (Минская область). Было коллектировано 93 шмеля, относящихся к 9 видам. Выявлено преобладание *Bombus terrestris* L.

Ключевые слова: антофилия; биоразнообразие; *Hymenoptera*; *Bombus Latr.*; *Solidago canadensis* L.

Шмели относятся к одной из наиболее процветающих групп насекомых отряда перепончатокрылые, на земном шаре насчитывается более 250 видов. Они играют важную роль в функционировании экосистем: они коэволюционно связаны с цветковыми растениями, осуществляя опыление многих видов. Благодаря холодоустойчивости и широкому спектру кормовых растений шмели адаптировались к пессимальному действию климатических факторов. Актуальность работы обусловлена тем, что шмели вносят значительный вклад в семенное воспроизводство широкого спектра энтофильных цветковых растений ввиду своих этологических и морфологических особенностей.

Сбор материала осуществлялся в летний период 2022–2023 г. Насекомые собирались вручную в период активности антофильных перепончатокрылых и помещались в пластмассовые пробирки для дальнейшей фиксации и монтирования энтомологической коллекции. Далее осуществлялось установление таксономической принадлежности отмеченных в работе насекомых при помощи соответствующих определительных таблиц и ключей [1]. В качестве модельного растения были выбраны инвазивные золотарники *Solidago canadensis* L., характеризующиеся высокой медоносностью и представляющие интерес в качестве кормового растения для широкого спектра антофильных жалоносных перепончатокрылых насекомых [2]. Для оценки обилия отдельных видов насекомых в пределах рассматриваемых сообществ в данной работе была использована ограниченная сверху логарифмическая шкала, предложенная Ю.В. Песенко [3].

На соцветиях золотарников на территории д. Домашаны за 2022 год было зарегистрировано 7 видов шмелей и шмелей-кукушек, в 2023 году было зарегистрировано также 7 видов шмелей и шмелей-кукушек. С использованием пятибалльной ограниченной сверху шкалы все отмеченные в работе виды были разнесены по соответствующим классам обилия. Структура рассматриваемых комплексов и таксономический состав исследуемых комплексов представлен в таблице.

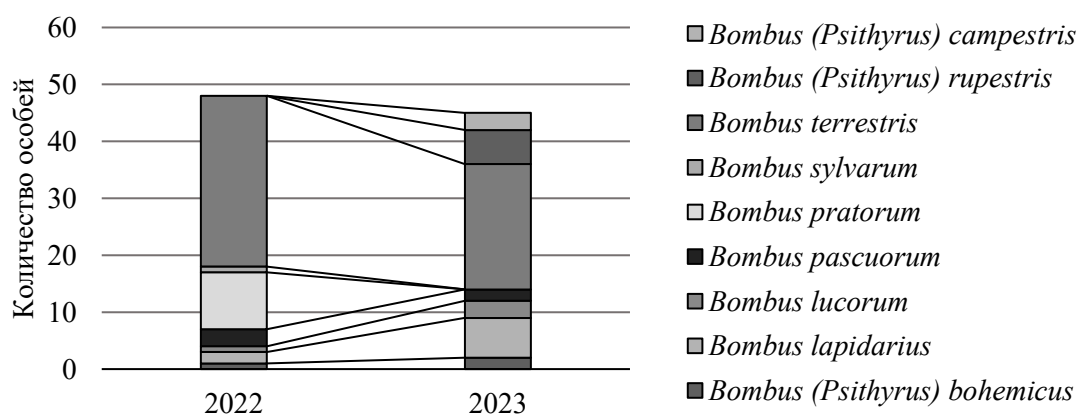
Таксономический состав, баллы обилия и показатели видового разнообразия пчелиных, зарегистрированных на соцветиях золотарника канадского в условиях деревни Домашаны

Вид	2022 год		2023 год	
	кол-во особей	класс обилия	кол-во особей	класс обилия
<i>Bombus (Psithyrus) bohemicus</i>	1	1	2	1
<i>Bombus (Psithyrus) rupestris</i>	–	–	6	3
<i>Bombus (Psithyrus) campestris</i>	–	–	3	2
<i>Bombus lapidarius</i>	2	1	7	3
<i>Bombus lucorum</i>	1	1	3	2
<i>Bombus pascuorum</i>	3	2	2	1
<i>Bombus pratorum</i>	10	3	–	–
<i>Bombus sylvarum</i>	1	1	–	–
<i>Bombus terrestris</i>	30	5	22	5

В комплексе посетителей золотарников на территории деревни Домашаны за 2022 год (Смолевичский район Минской области) был отмечен 1 доминантный вид (*B. terrestris*). Был отмечен обычный вид (*B. pratorum*), который относится к 3-ему классу обилия. Также был отмечен один вид (*B. pascuorum*), который относится к малочисленным видам (2-ой класс обилия). Остальные же относятся к единичным видам шмелей (1 класс обилия): *B. (Psithyrus) bohemicus*, *B. lapidarius*, *B. lucorum*, *B. sylvarum*. В комплексе посетителей золотарников на территории деревни Домашаны за 2023 год также был отмечен 1 доминантный вид (*B. terrestris*). Было отмечено два обычных вида (*B. lapidarius*, *B. (Psithyrus) rupestris*), которые относятся к 3-ему классу обилия. Было отмечено два вида (*B. lucorum*, *B. (Psithyrus) campestris*), которые относятся к малочисленным видам 2-го класса обилия. Остальные же относятся к единичным видам шмелей (1 класс обилия): *B. (Psithyrus) bohemicus*, *B. pascuorum*. Сравнение выборок в комплексе посетителей

золотарников на территории деревни Домашаны (Смолевичский район Минской области) в 2022 – 2023 годах осуществлялось с использованием программы PAST 4.0

Сравнение видового состава комплексов шмелей показало, что коэффициент фаунистического сходства достаточно высок: $KJ = 0,56$. Подобные значения коэффициента сходства Жаккара свидетельствует о сравнительно высокой степени сходства таксономического состава. Это свидетельствует о том, что комплекс шмелей – посетителей соцветий золотарников на данной местности характеризуется достаточной устойчивостью, представители одних и тех же видов продолжают посещать соцветия золотарников. Это может быть обусловлено характером произрастания золотарников на территории деревни Домашаны: на протяжении нескольких лет сплошное покрытие золотарников не подвергалось никаким внешним воздействиям.



Динамика сообществ шмелей – посетителей соцветий золотарника на территории деревни Домашаны за 2022 – 2023 года

Из полученных нами данных следует, что видовой состав на соцветиях золотарников в данном местопроизрастании практически не изменился. В 2023 году были зарегистрированы новые виды клептопаразитов: *B. (Psithyrus) rupestris*, *B. (Psithyrus) campestris*, – это может быть вызвано увеличением численности шмелей-хозяев. Также в 2023 году нами не были отмечены: *B.pratorum*, *B.sylvarum*. Резкое увеличение численности *B.lapidarius* в рассматриваемых выборках может быть связано с уменьшением численности *B.terrestris*: шмели этих видов часто встречаются в комплексах посетителей соцветий различных энтомофильных растений благодаря сходным экологическим особенностям и трофическим предпочтениям. Скачки численности рабочих особей, посещающих соцветия растений на какой-либо местности могут быть вызваны как конкуренцией с экологически сходными

видами, что мы и предполагаем в нашей работе, так и ввиду разрушения или повреждения гнезд. Дальнейшие исследования позволят оценить, какая из предложенных гипотез наиболее вероятна для данного случая. Большинство отмеченных в работе видов шмелей были обнаружены в единичном экземпляре, что может быть обусловлено тем, что шмели предпочитают посещать соцветия золотарников в качестве дополнительного источника питания и в ходе безвыборочного отлова были коллектированы в небольших количествах.

Таким образом, на соцветиях золотарников были отмечены представители 9 видов шмелей. Анализ динамики комплексов посещающих соцветия инвазивных золотарников шмелей показал высокое сходство выборок 2022 и 2023 года, что может свидетельствовать об успешном внедрении данных инвазивных растений в естественные биоценозы Беларуси. Это лишь небольшой фрагмент сборов, общий объем выборки составляет 398 особей с 11 стационаров.

Библиографические ссылки

1. *Коротеева Д. О., Новолодская С. Л.* Таксономический состав шмелей (*Bombus* Latr.) – посетителей соцветий золотарников (*Solidago* L.) в Минской области / *Д. О. Коротеева, С. Л. Новолодская* // Зоологические чтения: сб. науч. ст., посвящ. 125-лет. д-ра биол. наук Ивана Николаевича Сержанина / ГрГУ им. Янки Купалы; редкол.: О. В. Янчуревич (гл. ред.), А. В. Рыжая. Гродно: ГрГУ, 2023. С. 144–145.
2. *Тихомиров В.Н., Скуратович А.Н.* *Solidago* L. – Золотарник. Определитель высших растений Беларуси. Минск: БГУ, 1999.
3. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва: Наука, 1982.

ПОИСК НЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ БАКТЕРИЙ-АЗОТФИКСАТОРОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АГРОБИОТЕХНОЛОГИЯХ

Е. В. Отейчук

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ekaterinaotejcuk@gmail.com
Научный руководитель – Д.В. Маслак*

Из почвы прикорневой зоны сельскохозяйственных растений выделены не симбиотические бактерии-азотфиксаторы и изучены их свойства. Создана коллекция из 27 не фитопатогенных бактерий-азотфиксаторов. Для дальнейших исследований отобраны 12 изолятов, обладающих комплексом хозяйственно-полезных свойств (азотфиксация, фосфатмобилизация, синтез фитостимулирующих метаболитов).

Ключевые слова: бактерии-азотфиксаторы; биопрепараты для растениеводства; хозяйственно-полезные свойства.

В настоящее время стоит вопрос о повышении продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения качества урожая. Азот является одним из макроэлементов, необходимых для роста и развития растений. Однако его количество, необходимое для повышения урожая сельскохозяйственных растений, превышает потенциал агробиоценозов. Для восполнения недостатка азота в почве в сельском хозяйстве традиционно используются минеральные удобрения. Однако избыточное их применение пагубно влияет на состояние экосистем: происходит увеличение выделения парниковых газов (метан, сероводород и т.д.), загрязнение грунтовых вод, уменьшение азотфиксирующей активности почвенных микроорганизмов [1].

Использование биопрепаратов на основе живых культур микроорганизмов – один из самых экологически безопасных современных методов повышения урожайности растений. Азотфиксирующие бактерии, или же diaзотрофы, являются биотехнологическим инструментом с высоким потенциалом для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Кроме фиксации азота, такие микроорганизмы могут обладать способностью переводить нерастворимые соединения фосфора в форму легко усваиваемую растениями и вырабатывать биологически активные вещества, стимулирующие рост и развитие растений. Совокупность таких свойств делает эти микроорганизмы перспективными для создания биопрепаратов, повышающих продуктивность растений [1].

Целью данной работы является создание коллекции не симбиотических бактерий-азотфиксаторов, перспективных для использования при создании биопрепаратов для растениеводства.

Выделение изолятов не симбиотических бактерий-азотфиксаторов проводилось из двух образцов почвы, предоставленных фермерскими хозяйствами Республики Беларусь. Навеску почвы весом 10 грамм помещали в 100 мл физиологического раствора и встряхивали в течение 1 часа на круговом шейкере. Затем делали серию последовательных разведений с шагом в 10 раз. Высев микроорганизмов для получения изолированных колоний проводили из разведений 10^{-3} , 10^{-4} и 10^{-5} на безазотную среду Эшби. Выросшие изолированные колонии пересевали на среду Эшби истощающим штрихом для подтверждения их способности азотфиксации. Кроме того производили пересев выделенных микроорганизмов на агаризованную ГРМ-среду, для проверки их способности к росту на стандартных полноценных средах.

Оценку безопасности выделенных микроорганизмов для растений, проводили на основании определения у них факторов вирулентности. Исследование проводили по стандартным методикам [2].

Фосфатмобилизующие свойства микроорганизмов оценивали по их способности при росте на среде Муромцева [2] формировать прозрачные зоны (зоны гало) вокруг колоний микроорганизмов.

О способности микроорганизмов синтезировать биологически активные вещества, стимулирующие рост растений, судили по их влиянию на рост протиста *Chlorella vulgaris*, который можно расценивать как модель растительной клетки. Исследуемые микроорганизмы засевали бляшками диаметром 0,5 см на среду Хата [2], содержащую культуру *Ch. vulgaris*. Сутки чашки инкубировали при 28 °С в темноте (для роста бактериальной культуры), затем переносили в светотеплицу (для роста и фотосинтеза хлореллы). Положительное влияние бактерий исследуемых изолятов на рост хлореллы фиксировали по образованию темно-зеленых зон роста протиста вокруг колоний микроорганизмов.

В ходе выделения бактерий-азотфиксаторов на безазотной среде Эшби отсеяно 48 изолированных колоний. При повторных пересевах изолятов на среде Эшби, четыре из них не подтвердили способности к фиксации молекулярного азота.

Поскольку одним из важных критериев для микроорганизмов, перспективных для использования в производстве микробных биопрепаратов, является способность к росту на лабораторных питательных средах (удобство при культивировании), 44 изолята бактерий-азотфиксаторов пересевали истощающим штрихом на агаризованную среду на основе рыбного гидролизата. В результате из работы были

исключены два изолята микроорганизмов, плохо растущих в лабораторных условиях на полноценной среде.

Так как бактерии-азотфиксаторы, изучаемые в настоящей работе, выделены из почвы прикорневой зоны сельскохозяйственных растений, среди них могли присутствовать и фитопатогенные микроорганизмы. Для дальнейших исследований с целью отбора бактерий, перспективных для включения в биопрепараты для растениеводства, необходимо было проверить отсутствие у них фитопатогенных свойств. Микроорганизмы проверяли на наличие у них комплекса факторов вирулентности, таких как пектатлитическая, целюлолитическая и амилалитическая активность, способность мацерировать растительную ткань (картофеля и моркови), вызывать некроз растительной ткани (реакцию гиперчувствительности) на листьях боба овощного, а также наличие фитотоксичности по отношению к *Ch. vulgaris*. В результате проведенных экспериментов из работы были удалены 15 потенциально опасных для растений изолятов, бактерии которых имели комплекс из трех и более факторов вирулентности.

Двадцать семь изолятов не фитопатогенных свободноживущих бактерий-азотфиксаторов помещены в коллекцию не фитопатогенных микроорганизмов НИЛ Молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики биологического факультета БГУ.

Микроорганизмы, перспективные для использования при создании биопрепаратов повышающих продуктивность растений, должны обладать комбинацией хозяйственно-полезных свойств, таких как фиксация молекулярного азота, способность к фосфатмобилизации и синтезу фитостимулирующих метаболитов. К последним в первую очередь относятся фитогормоны.

Изучение этих параметров проведено у 27 не фитопатогенных изолятов бактерий-азотфиксаторов, выделенных в ходе работы. Выяснено, что бактерии 12 изолятов обладают комплексом хозяйственно-полезных свойств. Результаты представлены в таблице.

Хозяйственно-полезные свойства изучаемых бактерий-азотфиксаторов

Изолят	Фосфат-мобилизация	Стимуляция роста <i>Ch. vulgaris</i>	Изолят	Фосфат-мобилизация	Стимуляция роста <i>Ch. vulgaris</i>
1,3	+	+	2,29	-	+
1,4	-	+	2,33	-	+
1,5	+	+	1,36	+	+
2,17	-	+	1,41	-	+
2,18	-	+	1,43	-	+
2,19	+	+	1,44	-	+

Как видно из представленных данных, бактерии 4 изолятов (1,3, 1,5, 2,19, 1,36) способны переводить в растворимое состояние фосфор из $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Для этих микроорганизмов отмечена также способность к стимуляции роста *Ch. vulgaris*. Так же в эксперименте отмечена способность бактерий изолятов 1,4, 2,17, 2,18, 2,29, 2,33, 1,41, 1,43 и 1,44 стимулировать рост *Chl. vulgaris*, но у этих бактерий-азотфиксаторов отсутствует способность к фосфатмобилизации. Бактерии 12 изолятов, обладающие комплексом хозяйственно-полезных свойств, представляют наибольший интерес в дальнейших исследованиях по созданию биопрепарата для повышения продуктивности растений.

Из почвенных проб выделено 42 изолята азотфиксирующих микроорганизмов. Бактерии 15 изолятов проявили фитопатогенные свойства и были удалены из дальнейших исследований.

27 изолятов не фитопатогенных бактерий-азотфиксаторов помещены в коллекцию не фитопатогенных микроорганизмов НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики биологического факультета БГУ.

Бактерии 12 изолятов обладают комплексом хозяйственно-полезных свойств (азотфиксация, фосфатмобилизация, синтез фитостимулирующих метаболитов) и представляют интерес для дальнейших исследований по созданию биопрепарата для повышения продуктивности растений.

Библиографические ссылки

1. Игнатов В.В. Биологическая фиксация азота и азотфиксаторы // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 9. С. 28–33.
2. Желдакова Р.А., Мямин В.Е. Фитопатогенные микроорганизмы. Минск: БГУ, 2005.

СОЗДАНИЕ ГЕННО-ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЭКСПРЕССИИ БЕЛКА E2 КАПСИДА ВИРУСА ДИАРЕИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА 1-ГО ТИПА В КЛЕТКАХ БАКТЕРИЙ *E. COLI*

С. С. Паршута

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, parshuta.z@gmail.com
Научный руководитель — Н. В. Сауткина

Вирусная диарея – болезнь слизистых крупного рогатого скота (КРС). Возбудитель болезни – вирус, относящийся к роду *Pestivirus* семейства *Flaviviridae*, заражение которым происходит аэрогенным, алиментарным и половым путем. Воздействие вируса приводит к некротическим изменениям тканей и образованию эрозий. В работе представлено клонирование гена, кодирующего белок E2 капсида вируса диареи КРС 1-го типа, в экспрессионный вектор pET-24b(+) в клетках бактерий *E. coli*.

Ключевые слова: вирусная диарея КРС, *Pestivirus*, BVDV-1, белок E2.

Вирусная диарея – болезнь слизистых крупного рогатого скота – контагиозная болезнь, характеризующаяся эрозийно-язвенным поражением слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта. Возбудитель болезни – вирус, относящийся к роду *Pestivirus*, семейству *Flaviviridae*. Во внешней среде возбудитель весьма устойчив. Заражение происходит аэрогенным, алиментарным, а также половым путем. Вирус, проникший в организм, начинает размножаться и распространяться по лимфатической и кровеносной системам. Накопившийся вирус разносится по всему организму, преодолевает плацентарный барьер и вызывает аборт [1]. Выделено два биотипа вируса: цитопатогенный (CP-BVDV) и нецитопатогенный (NCP-BVDV). С помощью полимеразной цепной реакции также выделено два генотипа вируса: BVDV-1 и BVDV-2 [3]. Белок E2 оболочки BVDV индуцирует иммунный ответ организма животного, что делает возможным его использование в качестве субъединичной вакцины против вируса [2].

Объектом исследования является ген *e2p1*, кодирующий белок E2 оболочки вируса диареи крупного рогатого скота 1-го типа (BVDV-1). Последовательность гена оптимизирована для экспрессии в клетках бактерий *E. coli* (индекс адаптации кодонов (CAI) составляет 0,67) и синтезирована в виде двухцепочечного фрагмента ДНК (gBlock). Целью данной работы является клонирование нуклеотидной последовательности, кодирующей белок E2 капсида вируса диареи КРС 1-го типа, в

экспрессионный вектор для последующего получения белка в клетках бактерий *E. coli*.

Последовательность гена *e2p1*, кодирующего структурный белок E2 BVDV-1, амплифицировали с помощью разработанных праймеров BVDV1e2-F, BVDV1e2-R (таблица) при расчетных параметрах ПЦР. Данные праймеры несут сайты узнавания для рестриктаз NdeI и EcoRI для последующего встраивания в вектор pET-24b(+) (Novagen).

Последовательности праймеров BVDV1e2-F и BVDV1e2-R

Праймер	Последовательность 5'-3'	T _m , °C
BVDV1e2-F	CAGCATATGGGCCTCGACTG	60
BVDV1e2-R	CGCGAATTCATTAGCCCAAAGCTTTC	

Примечания. CATATG – сайт рестриктазы NdeI со стартовым кодоном ATG; СТАТТА – стоп-кодон; GAATTC – сайт рестриктазы EcoRI, CGC, CAG – дополнительные нуклеотиды, T_m – расчетная температура плавления праймера.

Ампликоны размером около 1150 п.н. выделяли из геля, после чего подвергали рестрикции по концевым сайтам для рестриктаз NdeI, EcoRI I и очистке путём выделения из агарозного геля.

Плазмиду pET-24b(+) также подвергали рестрикции по сайтам для рестриктаз EcoRI, NdeI и очистке путём выделения из агарозного геля.

Полученные ген и плазмиду лигировали между собой, и данной рекомбинантной плазмидой, обозначенной как pBVDV1-E2, трансформировали клетки штамма *E. coli* XL1-Blue.

Отбор трансформантов вели по устойчивости к тетрациклину, канамицину и налидиксовой кислоте. Проверяли клонов методом ПЦР-анализа с праймерами BVDV1e2-F, BVDV1e2-R (Рис. 1) и рестрикционным анализом рекомбинантных плазмид, выделенных из клонов (Рис. 2). В обоих случаях обнаружили фрагменты ДНК около 1150 п.н., что соответствует размеру гена *e2p1*. Также правильность вставки проверена секвенированием плазмиды pBVDV1-E2 по методу Сэнгера на коммерческой основе.

Таким образом, в клетках бактерий штамма *E. coli* XL1-Blue в составе плазмиды pET24b(+) клонирован ген *e2p1*, кодирующий капсидный белок E2 вируса диареи крупного рогатого скота 1-го типа. Результаты клонирования подтверждены ПЦР-анализом клонов и рестрикционным анализом рекомбинантных плазмид pBVDV1-E2. Правильность вставки также подтверждена секвенированием плазмиды по методу Сэнгера.

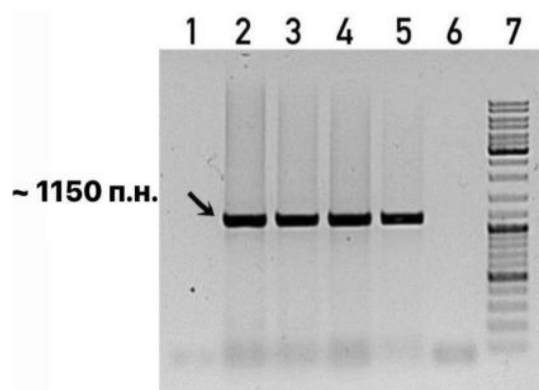


Рис. 1. Электрофореграмма результатов ПЦР-анализа трансформированных клонов на наличие гена *e2p1* в составе плазмиды pBVDV1-E2:

1 – клон, не содержащий ген *e2p1*, 2–5 – клоны, содержащие ген *e2p1*, 6 – отрицательный контроль ПЦР (без ДНК-матрицы), 7– маркер Gene Ruller DNA Ladder Mix #SM0331 («Thermo Fisher Scientific Inc.»)

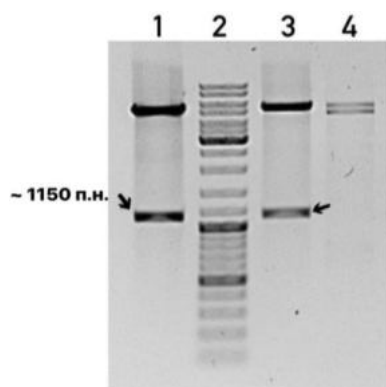


Рис. 2. Электрофореграмма результатов рестрикционного анализа рекомбинантных плазмид pBVDV1-E2, выделенных из положительных клонов:

1, 3 – плазмиды pBVDV1-E2, обработанные рестриктазами NdeI и EcoRI, 2 – маркер Gene Ruller DNA Ladder Mix #SM0331 («Thermo Fisher Scientific Inc.»), 4 – отрицательный контроль (плазмида pET-24b(+), обработанная рестриктазами NdeI и EcoRI)

Библиографические ссылки

1. Crystal structure of glycoprotein E2 from bovine viral diarrhea virus / Y. Li [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. 2013. Vol. 110, iss. 17. P. 6805–6810.
2. Recent Advances on the Bovine Viral Diarrhea Virus Molecular Pathogenesis, Immune Response, and Vaccines Development Round [Electronic resource] / A.A.G. Al-Kubati [et al.] // Front. Vet. Sci. 2021. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.665128/full> (date of access: 12.10.2023).
3. The relationship between the viral RNA level and upregulation of innate immunity in spleen of cattle persistently infected with bovine viral diarrhea virus / D. Yamane [et al.] // Vet. Microbiol. 2008. Vol. 129, iss. 1-2. P. 69–79.

ОЧИСТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕЛКА E2 ВИРУСА ДИАРЕИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ИЗ ТЕЛЕЦ ВКЛЮЧЕНИЯ

О. В. Пластинина

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, oksana02plastinina@gmail.com
Научный руководитель – Н. В. Сауткина*

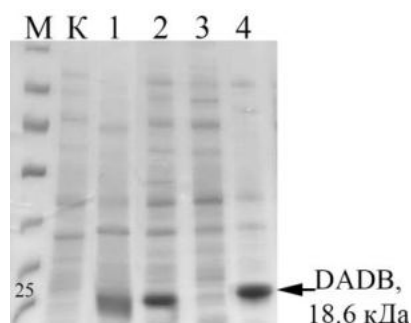
Вирусная диарея крупного рогатого скота является одной из наиболее распространенных инфекций, наносящих наибольший ущерб скотоводческим хозяйствам. Основным иммунногенным белком вируса является гликопротеин E2 оболочки вируса, который может стать основой для создания субъединичной вакцины. В работе представлены результаты солюбилизации модифицированного белка E2 из теляц включения и оптимизация стадии его рефолдинга.

Ключевые слова: вирусная диарея КРС; белок E2; тельца включения; субъединичная вакцина.

Вирусная диарея крупного рогатого скота (Bovine Viral Diarrhoea Virus, BVDV) является одним из основных источников экономических потерь молочно-товарных ферм Беларуси. Заболевание вызывает группа вирусов BVDV, принадлежащих к роду *Pestivirus* семейства *Flaviviridae*. Контроль распространения вируса обеспечивается вакцинацией животных и удалением из стада персистентно инфицированных особей. Одним из наиболее безопасных вариантов вакцинации является использование субъединичных вакцин, содержащих антигенные белки вирусов. В случае BVDV действие нейтрализующих антител зараженных животных направлено на иммунногенный гликопротеин E2 внешней оболочки вируса.

В этой работе использовали модифицированный белок E2, ген которого укоротили до последовательности, кодирующей два первых эпитопных N-концевых домена (модифицированный ген обозначили как *dadb*). Такая модификация позволила удалить 9 остатков цистеина из последовательности, сохранив иммунногенную часть белка. Модифицированный белок, обозначенный как DADB, имеет молекулярную массу 18,6 кДа, $pI=6,8$ и 4 дисульфидные связи. Цель данной работы – подобрать условия солюбилизации и рефолдинга белка DADB. Для разработки протокола очистки белка DADB из теляц включения (ТВ) использовали биомассу *E. coli* BL21-Gold(DE3) pDADB в условиях индукции гена 0,5 mM ИПТГ при $OP_{600} = 0,8$ о.е. (длина оптического пути 1 см) [1].

После разрушения клеток при помощи гомогенизатора высокого давления («Panda Plus», Италия), нерастворимую фракцию, содержащую как ТВ, так и примесные соединения (белки, нуклеиновые кислоты, компоненты клеточной стенки и мембраны), отмывали в буфере следующего состава: 50 мМ Трис-НСl (рН=8), 100 мМ NaCl. Осадок, содержащий ТВ, солюбилизировали в буфере следующего состава: 6 М гуанидин гидрохлорид (Gdn-HCl), 50 мМ Трис-НСl (рН=8), 20 мМ NaCl, в соотношении 10:1 (объем/вес). Дополнительно в буфер вносили 3 % Na₂SO₃, способствующий корректному образованию дисульфидных связей [2]. После чего белок инкубировали при температуре +4 °С в течение 16-18 ч. Электрофоретический анализ фракций белка DADB на разных стадиях очистки изображен на рисунке.



Электрофореграмма фракций белка DADB на разных стадиях очистки белка:
K – *E. coli* BL21-Gold(DE3) pDADB (без индукции) *1* – *E. coli* BL21-Gold(DE3) pDADB (индукция); *2* – клетки *E. coli* BL21-Gold(DE3) pDADB после разрушения; *3* – фракция надосадка; *4* – фракция осадка; *M* – маркер молекулярного веса Prestained Protein Ladder (10–180 kDa) («NeoFroxx»)

На следующем этапе проводили подбор условий рефолдинга белка согласно методике, представленной в [3]. Для этого использовали буферы разных составов, различающиеся рН и наличием добавок (Gdn-HCl или L-Аргинин) в разных концентрациях (табл. 1). К каждому буферу в качестве восстановителя S-S связей добавляли либо DTT (дитиотреитол), либо GSH (глутатион восстановленный) и GSSG (глутатион окисленный).

Таблица 1

Буферы для рефолдинга

Название	Состав
Буфер2 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=7,6), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl
Буфер3 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=8,3), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl
Буфер5 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=7,6), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 1 М Gdn-HCl
Буфер6 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=8,3), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 1 М Gdn-HCl

Название	Состав
Буфер8 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=7,6), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 0,8 М L-Аргинин
Буфер9 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=8,3), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 0,8 М L-Аргинин
Буфер11 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=7,6), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 2М Gdn-НСl
Буфер12 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=8,3), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 2М Gdn-НСl
Буфер14 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=7,6), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 1,6 М L-Аргинин
Буфер15 (2х)	100 мМ Трис-НСl (рН=8,3), 40 мМ NaCl, 1,6 мМ KCl, 1,6 М L-Аргинин

Эффективность рефелдинга белка оценивали по мутности раствора при ОП₃₄₀ (длина оптического пути 1 см), где повышенные значения светопроводимости свидетельствовали о процессе агрегации белка. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение светопроводимости растворов при ОП₃₄₀ в буферах для рефолдинга разных составов

Буфер для рефолдинга + 5 мМ DTT	Светопроводимость при ОП 340	Буфер для рефолдинга + 2 мМ GSH, 0,4 мМ GSSG	Светопроводимость при ОП ₃₄₀
Буфер 2А	2,158	Буфер 2В	2,053
Буфер 3А	2,247	Буфер 3В	1,860
Буфер 5А	1,665	Буфер 5В	1,119
Буфер 6А	1,347	Буфер 6В	0,873
Буфер 8А	1,316	Буфер 8В	0,436
Буфер 9А	0,904	Буфер 9В	0,540
Буфер 11А	0,400	Буфер 11В	0,292
Буфер 12А	0,354	Буфер 12В	0,271
Буфер 14А	0,270	Буфер 14В	0,202
Буфер 15А	0,267	Буфер 15В	0,216

Из табл. 2 видно, что белок DADB, рефолдированный в буфере 14В и 15В склонен к наименьшей агрегации. Таким образом, эти условия были выбраны для дальнейшего этапа – подбора добавок. Значения светопроводимости при ОП₃₄₀ рефолдированного белка в буферах с добавками представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение светопроводимости растворов при ОП₃₄₀ в буферах для рефолдинга с добавками

Добавка к буферу 14В	Светопроводимость при ОП 340	Добавка к буферу 15В	Светопроводимость при ОП 340
–	0,199	–	0,188
1 мМ ПЭГ	1,127	1 мМ ПЭГ	0,186

Добавка к буферу 14В	Светопроводимость при ОП 340	Добавка к буферу 15В	Светопроводимость при ОП 340
5 мМ ЭДТА	1,008	5 мМ ЭДТА	0,100
5 мМ CaCl ₂	0,269	5 мМ CaCl ₂	0,251
5 мМ MgCl ₂	0,205	5 мМ MgCl ₂	0,215
0,1 М NaCl	0,197	0,1 М NaCl	0,212
0,005 % Твин 20	0,198	0,005 % Твин 20	0,209
0,12 М сахараза	0,200	0,12 М сахараза	0,214

Из табл. 3 видно, что белок DADB, рефолдированный в буфере 15ВС, содержащий в виде добавки 5 мМ ЭДТА, склонен к наименьшей агрегации.

Таким образом, подобраны условия солюбилизации и рефолдинга белка DADB: солюбилизацию белка DADB из ТВ эффективнее проводить буфером, содержащим 6 М гуанидин гидрохлорид, а оптимальным для рефолдинга денатурированного белка DADB является буфер следующего состава: 50 мМ Трис-НCl (рН=8,3), 20 мМ NaCl, 0,8 мМ KCl, 0,8 М L-Аргинин, 2 мМ GSH, 0,4 мМ GSSG, 5 мМ ЭДТА.

Библиографические ссылки

1. *Пластинина О.В.* Клонирование и экспрессия главных антигенных доменов гликопротеина E2 вируса диареи крупного рогатого скота в клетках *E. coli* // 78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, Минск, 10–21 мая 2021 г.: в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2021. Ч. 1. С. 288–291.
2. *DiBella E. E.* Expression and folding of recombinant bovine prethrombin-2 and its activation to thrombin / E. E. DiBella, M. C. Maurer, H. A. Scheraga // J. Biol. Chem. 1995. Vol. 270, iss.1. P. 163–169.
3. PROTEOSTAT Protein Refolding and Aggregation Sensing Kit [Electronic resource]. URL: https://www.enzolifesciences.com/fileadmin/files/manual/ENZ-51040_insert.pdf (date of access: 20.12.2023).

ВЫДЕЛЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ – ПРОДУЦЕНТОВ ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ – ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОСНОВЫ БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

А. А. Политыко

*УО «Республиканский центр экологии и краеведения», ул. Макаенка, 8,
220114, г. Минск, Беларусь, polityko.2007@mail.ru
Научный руководитель — И.А. Гринева*

В результате ступенчатой негативной селекции среди 12 выделенных бактерий найдены три нефитопатогенных изолята с наибольшим количеством гидролитических активностей, обладающих рядом хозяйственно-полезных свойств, способных дополнять активности друг друга. На основе этих изолятов была создана коллекция бактерий, перспективных для создания биопрепаратов для растениеводства.

Ключевые слова: гидролитические ферменты; целлюлаза; биопрепарат; бактерии; хозяйственно-полезные свойства; ростостимулирующая активность; фитопатогены; антагонизм.

Известно, что в окружающей среде могут обнаруживаться высокоактивные микроорганизмы-продуценты гидролитических ферментов, которые можно использовать для создания биопрепаратов для растениеводства: для разложения пожнивных остатков, защиты растений и стимуляции их роста [1, 4].

Из накопительной культуры с целлюлолитическими микроорганизмами, из почвы, высушенных дикорастущих растений и стоячего водоема были выделены 12 бактериальных изолятов. В результате изучения наличия ферментативных активностей у выделенных изолятов было установлено, что целлюлолитической активностью обладали изоляты 35-1, 21-19, 25-6, Г23 и 26-1, амилолитической активностью – изоляты А3, А4, В1, 35-1, 21-19, 25-6, Г23 и 26-1, пектатлитической активностью – изоляты 35-1, 21-19, 25-6, Г23 и 26-1, липолитической активностью – изоляты А3, А4, 25-6, Г23, желатиназной активностью – изоляты А4, В1, 35-1, 21-19', 25-6, Г23 и 26-1, казеинолитической активностью – изоляты А4, В1, 35-1, 21-19, 25-6, Г23 и 26-1, ДНК-азная активность была обнаружена у изолятов В1 и 26-1, уреазной активностью не обладал ни один изолят [2, 3].

Для дальнейшей работы были отобраны шесть наиболее перспективных изолятов, обладающих совокупностью 5-7 ферментативных активностей. Наиболее активные изоляты были выделены из накопительной культуры целлюлолитических микроорганизмов (В1, 35-1, 21-19, 25-6, Г23 и 26-1).

Для определения возможности применения бактерий для разложения растительных остатков было проведено количественное определение

целлюлолитической активности у изолятов, обладающих этой активностью. По результатам измерения оптической плотности реакционной смеси с использованием калибровочной кривой определяли количество глюкозы и рассчитывали активность целлюлазы для каждого отобранного изолята. Результаты исследования представлены на диаграмме (рис. 1). Было установлено, что четыре изолята бактерий обладали целлюлолитической активностью в пределах 0,1-0,25 мг/мин, а наибольшую активность проявил изолят Г23 – 1 мг/мин.

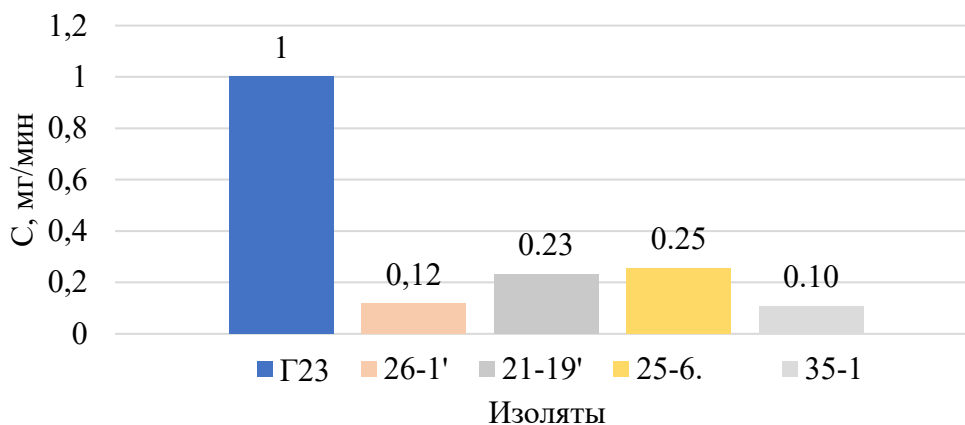


Рис. 1. Изучение целлюлолитической активности изолятов

В связи с тем, что наличие высокой активности гидролитических ферментов характерно и для патогенов растений, для выявления и исключения из дальнейших исследований фитопатогенных микроорганизмов был проведен ряд экспериментов, включающий тесты на наличие не только целлюлолитической, но и пектатлитической активности, на способность мацерировать растительные ткани, на токсичность к протисту *Chlorella*, на способность вызывать некроз у листьев боба конского [2, 3]. После анализа совокупности вышеперечисленных фитопатогенных свойств из дальнейших исследований был исключен изолят 26-1.

На безазотной среде Эшби было установлено, что бактерии 21-19, 25-6, Г23 обладали способностью фиксировать азот воздуха. Наличие такого свойства могло указывать на потенциальную способность изолятов положительно влиять на рост растений.

Исследования наличия ростостимулирующей активности на растениях пшеницы яровой рулонным методом показали, что изолят Г23 достоверно увеличивал длину побегов и корней растения на 10 % и 6 %, соответственно (рис. 2).

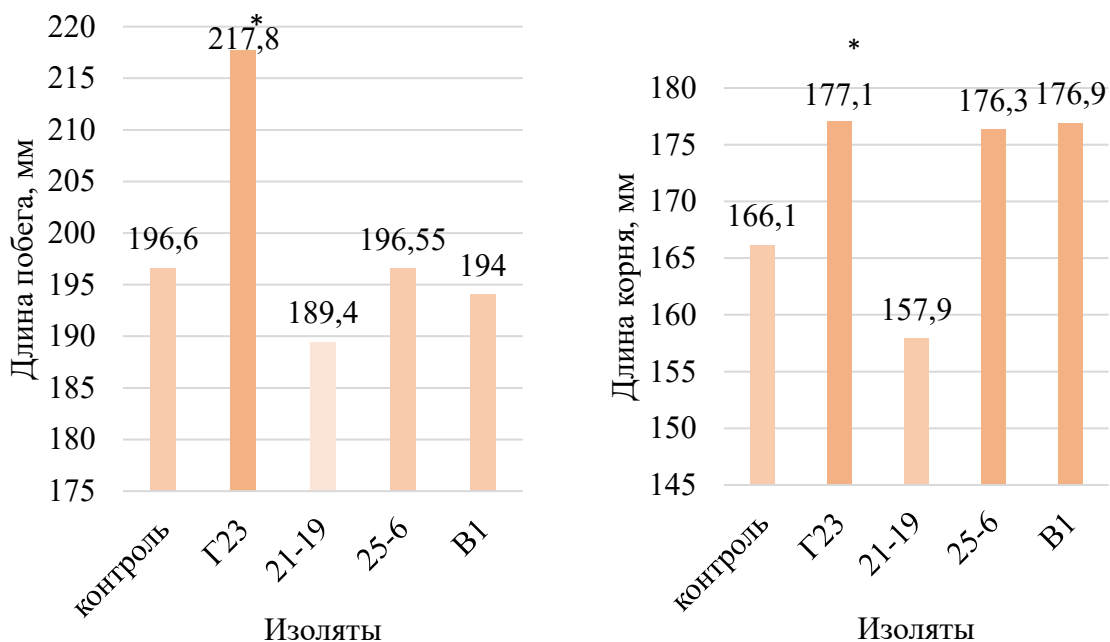


Рис. 2. Влияние на растения пшеницы изолятов:
а – длина побегов; б – длина корня

Для определения возможности применения изолятов для защиты растений наиболее перспективные бактерии исследовали на наличие антагонистических свойств по отношению к некоторым бактериальным фитопатогенам методом агаровых блоков. Было установлено, что изоляты Г23 и 21-19 проявляли антагонизм к исследуемым фитопатогенам (*Pectobacterium carotovorum subsp. atroseptica* 3-2, *Pseudomonas syringae*, *Clavibacter sp.*), изолят 25-6 – только к *Clavibacter sp.*, а изолят В1 антагонистическими свойствами не обладал.

Изучалась возможность получения ассоциации микроорганизмов с целью повышения эффективности создаваемых на их основе биопрепаратов. Совместимость микроорганизмов проверяли методом перпендикулярных штрихов. Были определены две возможные пары изолятов, не проявляющих антагонизм друг по отношению к другу (Г23 и 21-19; 21-19 и 25-6).

Создана коллекция под минеральным маслом из трех нефитопатогенных изолятов Г23, 21-19 и 25-6), обладающих рядом гидролитических активностей (целлюлолитической, липолитической, протеолитической), хозяйственно-полезными свойствами (способностями фиксировать азот воздуха, стимулировать рост растений, защищать от фитопатогенов), дополняющих активности друг друга, способных стать основой новых биопрепаратов для растениеводства для разложения растительных остатков, стимуляции роста растений и защиты посевов.

Библиографические ссылки

1. Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты = Biologically active preparations for plant growing. Scientific background – Recommendations – Practical results: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3-8 июля 2018 г. / БГУ, биолог. фак., Частный институт прикладной биотехнологии daRostim; редкол.: Д. В. Маслак (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2018. С. 196-198.
2. Желдакова Р. А., Мямин В. Е. Фитопатогенные микроорганизмы. Минск: БГУ, 2006.
3. Лысак В.В., Желдакова Р.А., Фомина О.В. Микробиология. Практикум. Минск: БГУ, 2015.
4. Смирнова И.Э. ЭМ-ассоциации, перспективные для восстановления почв деградированных пастбищ // Евразийский союз учёных. 2016. № 30. С. 14-17.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ОСНОВА СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM* L.)

А. А. Ромашева

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, annaromasheva353@gmail.com
Научный руководитель – Пашкевич П.А.,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*

Изучена фотосинтетическая деятельность растений и её влияние на урожайность семян различных сортов гороха посевного. У сортов Эсо и Астронавт был отмечен высокий уровень фотосинтетической активности и наилучшие показатели семенной продуктивности. Корреляционным анализом была установлена тесная связь между количеством бобов на растении, урожайностью семян и абсолютно сухого вещества и морфофизиологическими показателями.

Ключевые слова: фотосинтетическая активность; семенная продуктивность; площадь листьев.

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) является хозяйственно-ценной зернобобовой, овощной и кормовой культурой, которая обогащает почву необходимыми соединениями за счет симбиотической азотфиксации. При возделывании гороха предпочтение отдается сортам, сочетающим высокую урожайность и оптимальные показатели качества семян. Одним из основных условий получения высокопродуктивных сортов гороха является повышение фотосинтетической деятельности посевов, наиболее значимыми показателями которой являются площадь листьев, фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза. Активность фотосинтетической деятельности зависит от факторов внешней среды и конкурентных отношений растений в агрофитоценозах. Темп роста площади листьев служит показателем степени обеспеченности посевов влагой и минеральным питанием, а также является основой для формирования фотосинтетического потенциала, продуктивности фотосинтеза и семенной продуктивности [1]. В связи с этим особый интерес вызывает изучение морфофизиологических параметров сортов гороха.

Целью данной работы являлось изучение влияния фотосинтетической деятельности посевов сортов гороха посевного на формирование урожая семян.

Объектами исследований являлись 6 сортов гороха: Первенец, Саламанка, Астронавт, Штамбовый, Эсо, Конто. Морфологические,

морфофизиологические и хозяйственно-ценные показатели сортов гороха посевного оценивали в селекционном севообороте Центрального ботанического сада НАН Беларуси в течение 2023 г. В фазу полного цветения оценивали следующие морфофизиологические показатели: среднюю площадь прилистника растения (ПП), суммарную площадь прилистников растения (СППР), удельную поверхностную площадь (УПП) прилистника, листовой индекс (ЛИ), суммарную площадь листового аппарата растения (СПЛР), линейную плотность стебля (ЛПС). Площадь листиков и прилистников измеряли с помощью программы ImageJ. ЛПС по 3 растениям каждого сорта определяли в фазу массового цветения путем деления массы абсолютно сухого стебля на длину. Определение удельной поверхностной плотности листа (УППЛ) проводилось по методике А. Т. Мокроносова [2]. В фазу полного созревания оценивали морфологические параметры растений (высота растения, высота до первого боба, длина стебля, общее количество узлов) и хозяйственно-ценные показатели (масса стебля, количество бобов, семян на растении, масса створок бобов, продуктивность, доля семян в бобе, масса 1000 семян, коэффициент хозяйственной ценности ($K_{\text{хоз}}$), продолжительность вегетационного периода, урожайность семян, урожайность абсолютно сухого вещества. Температура воздуха с апреля по июль 2023 г. характеризовалась незначительными колебаниями. В целом сезон можно охарактеризовать как крайне неблагоприятный, несмотря на достаточно высокий гидротермический коэффициент (ГТК) 1,67, наблюдался продолжительный период засухи. Статистическую обработку полученных результатов проводили на персональном компьютере с помощью программ Excel 2010 и Statistica 10.0. Зависимости между параметрами определяли с помощью коэффициента корреляции Пирсона.

По суммарной площади прилистников растения лидировал сорт Эсо, превзошел контроль на 49,8 %. По площади прилистника сорт Астронавт на 2,5 % превзошел контроль. Максимальные значения урожайности семян и сухого вещества были зафиксированы у сорта Астронавт, который превзошел контроль на 94,4 % и 86,3 %, соответственно. Величина урожайности является результатом своеобразного баланса между элементами структуры и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды [3]. Как правило, сорта гороха развиваются при благоприятных погодных условиях на фоне умеренных доз удобрений и хорошей влагообеспеченности, но по мере повышения урожайности одновременно растет степень их экологической зависимости и уменьшается уровень устойчивости к стрессу [3].

Продуктивность семян гороха обусловлена сортовыми особенностями и находится в тесной зависимости от условий выращивания культуры и ее фотосинтетических показателей, большинство из которых поддаются селекционному улучшению наряду с традиционно селективируемыми признаками.

Библиографические ссылки

1. *Ничипорович А. А.* Основы фотосинтетической продуктивности растений // Современные проблемы фотосинтеза. 1973. № 1. С. 17-43.
2. *Мокроносов А. Т.* Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезируемых тканей и органов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1978. Т. 61. № 3. С. 119-133.
3. *Новикова Н. Е.* Влияние морфотипа листа у гороха на показатели водного обмена, определяющие устойчивость растений к засухе // Вестник Орел ГАУ. 2011. № 1. С.13–16.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ У *ARABIDOPSIS* *THALIANA*

А. С. Савицкий

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, artyom.savitski@yandex.ru
Научный руководитель — В. В. Демидчик, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук

Высокопроизводительное цифровое фенотипирование является новейшей методикой, позволяющей получать детальную информацию о процессах роста и развития высших растений и выявлять закономерности функционирования физиологических живых систем растений важным инструментом для улучшения селекции стрессоустойчивых культур, поскольку обеспечивает возможность анализа и описания морфологических признаков при помощи перевода их в массив цифровых данных. Использование библиотек компьютерного зрения, а также машинного обучения позволило повысить эффективность этого подхода.

Ключевые слова: феномика; высокопроизводительное цифровое фенотипирование; компьютерное зрение; машинное обучение.

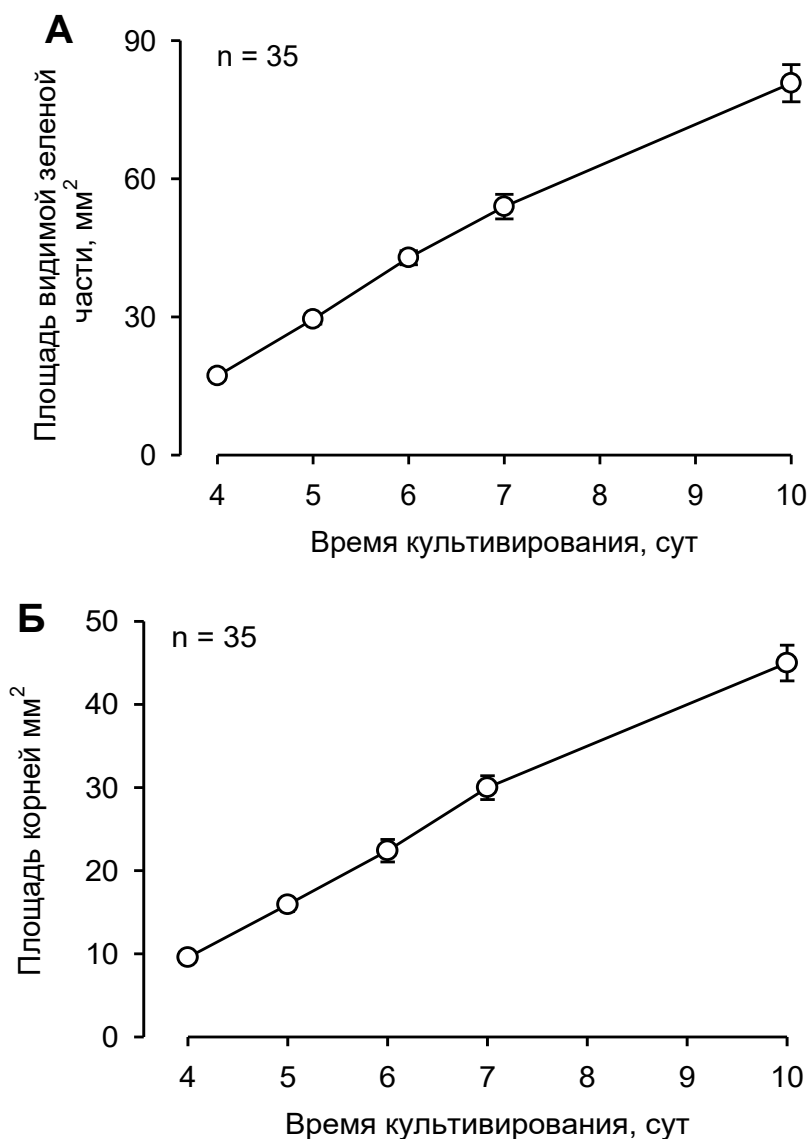
Современное сельское хозяйство в условиях глобального изменения климата требует создания новых сортов культурных растений, устойчивых к высоким температурам, засухе и засолению [1]. Также исключительно важна систематизация модификаций морфолого-физиологических характеристик растений под действием стрессовой нагрузки. Для исследования фенотипа на цифровом уровне в последние годы все более активно развиваются методы так-называемой феномики – новой области на стыке физиологии растений и биоинформатики. В феномике процессы сбора и анализа фенотипических данных растений автоматизируются и обрабатываются при помощи методов машинного обучения. В последнее время внедрение технологий цифрового фенотипирования растений изменило селекционные подходы и исследования по морфологии растений [2]. Целью данной работы является разработка комплекса компьютерных программ, позволяющего автоматизировать сбор и произвести глубокий анализ цифровых изображений растений *Arabidopsis thaliana* в условиях *in vitro*.

В работе использовалась культура молодых растений *Arabidopsis thaliana*, выращенная в *in vitro*. Растения выращивались на стандартной питательной среде Мурасиге-Скуга компании Duchefa (Харлем,

Нидерланды) [3]. Чашки с высаженными семенами выдерживались в течение 2 сут при температуре 4°C в темноте. Это требовалось для прерывания периода покоя семян. В дальнейшем чашки перемещались в стерильный ростовой кабинет с контролируемыми параметрами освещенности (100 $\mu\text{моль фотонов м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, световой режим 16/8, 20В) и температуры (22°C), где они выращивались в течение 6-12 дней. В течение всего периода выращивания чашки размещались вертикально, что способствовало развитию корней проростков на поверхности питательной среды. Для получения изображений использовался софтбокс для фотографирования с синим антибликовым фоном и регулируемым освещением, позволяющий получать высококонтрастные изображения растительных объектов. Съемка выполнялась на цифровую SLR-камеру Nikon D3400. Работа проводилась с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV, которая включает различные инструменты для анализа изображений [3]. Также использовалась библиотека машинного обучения scikit-learn для обучения предсказательной модели, которая принимает на вход площади листьев и корней и выдает в качестве предсказания значения сырой и сухой биомассы [3].

В ходе проведенной работы был разработан комплекс алгоритмов, позволяющий обнаруживать корни и листья на изображениях и анализировать их. Программа способна измерять площадь зеленой части растения и корней и создавать отчет с вычисленными параметрами. Отчет может использоваться для обучения модели предсказания. После обучения модель достигла точности 96,6% по метрике R-квадрата на тестовом наборе данных. Программа разработана для автоматической работы, пользователю требуется только предоставить исходные изображения. На рисунке показаны полученные в результате работы программы данные по приросту площадей видимой зеленой части.

Размер листа связан со свойствами энергетического и водного баланса всего растения. Вариация размеров листьев связана с климатическими, географическими факторами, к примеру, значением высоты над уровнем моря, тепловым стрессом, холодным стрессом, засухой и ионизирующим излучением [4]. В случае влияния большого количества стрессоров на растение наблюдается уменьшение размеров листа. Аналогичные изменения происходят в корнях [4].



Изменение площади видимой зеленой части:
 а – *Arabidopsis thaliana*; б – площади корней во время культивирования

В результате проведенной работы разработано программное обеспечение на языке Python для анализа изображений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в культуре *in vitro*. Создана предсказательная модель сырой и сухой биомассы корней и листьев *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., которая принимает на вход значения площадей корней и листьев, найденных в ходе анализа изображений. Разработанное программное обеспечение подходит для применения в качестве неинвазивного метода анализа роста и развития *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в культуре *in vitro* для сбора фенотипических данных с целью их дальнейшего анализа посредством цифровой феномики.

Библиографические ссылки

1. *Watt M.* Phenotyping: new windows into the plant for breeders // *Annual review of plant biology*. 2020. Vol. 71. P. 689-712.
2. *Sanchez-Serrano J. J., Salinas J.* *Arabidopsis protocols*. London: Humana Press, 2014.
3. *Lee U.* An automated, high-throughput plant phenotyping system using machine learning-based plant segmentation and image analysis // *PloS one*. 2018. Vol. 13. P. e0196615.
4. *Cornelissen J. H.* A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide // *Australian J. Botany*. 2003. Vol. 51. P. 335-380.

СТРУКТУРА ЭНТОМОФАУНЫ ХОРТО- И ГЕРПЕТОБИОНТОВ НА РАЗНЫХ ТИПАХ ГАЗОНОВ УРБОЦЕНОЗОВ

А. А. Соболева¹⁾, К. С. Шаховская²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь; soboleva_apna04@mail.ru

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь

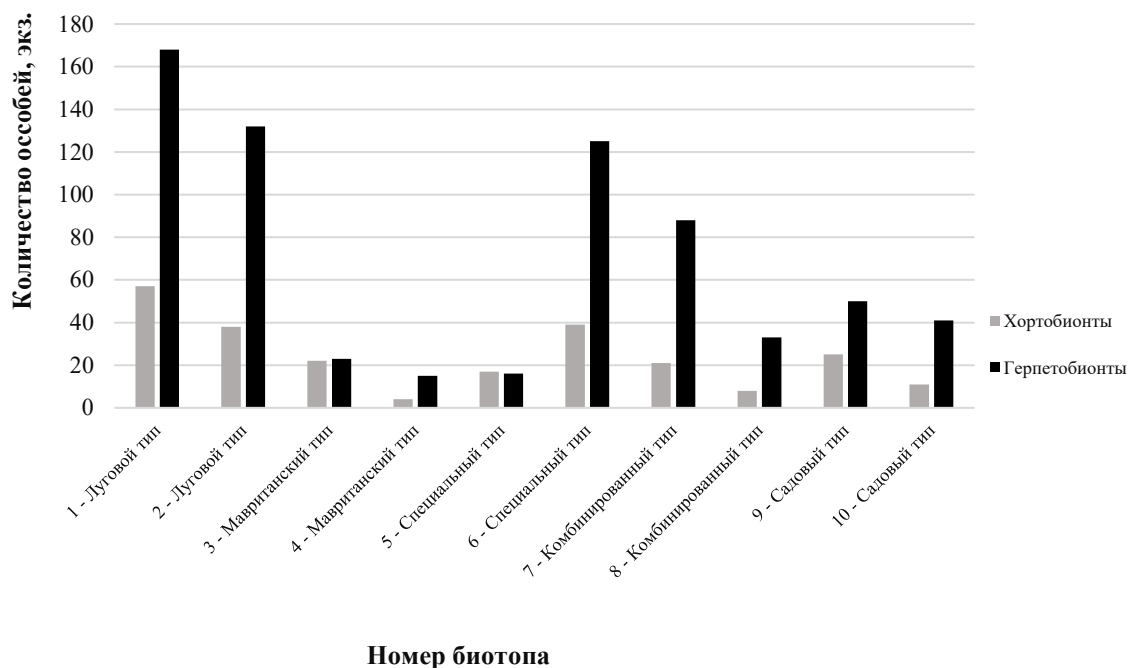
Научный руководитель – О.Л. Нестерова, кандидат биологических наук, доцент

Сохранение биоразнообразия насекомых на урбанизированных территориях в настоящее время играет принципиально важную роль. Газоны являются неотъемлемой частью городской среды. Целью данной работы стало изучение особенностей распределения и формирования энтомофауны хортобионтов и герпетобионтов на разных типах газонов урбоценозов.

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

Одной из ключевых глобальных проблем в настоящее время является урбанизация, которая приводит к возникновению новой экологической среды и поэтому происходит активный процесс колонизации этих ниш членистоногими, а именно насекомыми [1]. В настоящее время изучению энтомофауны городских газонов уделяется малое внимание, из-за чего эта часть трофической сети не изучается должным образом [2].

В проведенном исследовании была использована типология газонов по классификации А.А. Лаптева [3]. Было отобрано 10 биотопов, относящихся ко всем типам газонов кроме партерного, а именно: садовый, луговой, мавританский, комбинированный газоны и газон специального назначения. В качестве используемых способов исследования применялись классические методы сбора для насекомых хорто- и герпетобионтов. А именно кошение энтомологическим сачком и ловушки Барбера, а также ручной метод сбора. После проведенного исследования на городских газонах г. Минска в период с июня по июль 2023 г. были получены результаты по количественному и качественному составу хорто- и герпетобионтов (рисунок).



Количественно хорто- и герпетобионтов в исследованных биотопах г. Минска

В 10 выбранных биотопах было выявлено 242 особи насекомых-хортобионтов, относящихся к 6 отрядам (*Coleoptera*, *Diptera*, *Hemiptera*, *Hymenoptera*, *Lepidoptera* и *Neuroptera*) и 41 семейству. В отношении данной экологической группы было отмечено доминирующее количество видов в семействе *Acrididae*, к которому относились 60 особей, составляя большую часть сборов. Также довольно большую часть составляли виды, относящиеся к семействам *Apidae*, *Miridae*, *Rhyparochromidae*, *Crambidae* и *Vespidae*. 21 семейство включало в себя всего 1 представителя от каждого из них. Среди насекомых-герпетобионтов обнаружено 686 особей. Среди них было определено 3 отряда, а именно *Coleoptera*, *Hemiptera* и *Hymenoptera*, которые включили в себя 10 семейств. Доминирующим среди герпетобионтов в изученных биотопах оказалось семейство *Carabidae* в количестве 306 экземпляров, а именно 45% от общего числа выявленных герпетобионтов. В качестве субдоминанты выступило семейство *Curculionidae* в количестве 138 особей. Самым богатым по количественному и видовому разнообразию был выявлен биотоп 1 с луговым типом газона для обеих экологических групп изучаемых насекомых, так как он обладает более оптимальными условиями, которые близки к естественным местообитаниям. В данном биотопе количество хортобионтов составило 57 особей, а герпетобионтов – 168 особей. Хортобионты обладали наименьшим количественным составом в биотопе 4 (мавританский тип газона) и был представлен 4 экземплярами.

Наименьшее количество особей герпетобионтов было обнаружено на биотопе 5 (газон специального типа) в количестве 15 особей. По двум классификациям была проанализирована пищевая специализация насекомых: по месту организма в пищевой цепи и по широте видового диапазона кормовых объектов [4]. Для насекомых-хортобионтов было замечено значительное преобладание фитофагов-полифагов в большинстве исследованных биотопов. Если рассматривать данные по всем биотопам в совокупности, то количество фитофагов-полифагов будет около 80%. В меньшинстве оказалась группа мицетофагов-монофагов, представленная 2 особями. Среди герпетобионтов наиболее многочисленными оказались зоофаги- и фитофаги-полифаги в количестве 36,3% и 36,1% от числа обнаруженных особей соответственно. Наименьшими по количественному составу среди герпетобионтов были выявлены сапрофаги-олигофаги в количестве двух особей. Также было произведено сравнение биотопов с одинаковым типом газона. В результате чего было получено, что наиболее схожими по пищевой специализации среди хортобионтов являются биотопы с луговым типом газона, где преобладали фитофаги-полифаги, а также газоны специального назначения, к которым относились фитофаги- и сапрофаги-полифаги. Для герпетобионтов по пищевой специализации наиболее схожими являются биотопы с луговым типом газона, на которых в примерно равном количестве преобладали зоофаги-, фитофаги-полифаги и комбинированные полифаги, а также газоны садового типа, где были обнаружены зоофаги-полифаги и комбинированные полифаги в относительно равном количестве.

Исходя из полученных данных в результате анализа биотопов с разными типами газонов был высчитан индекс Серенсена [5], предназначенный для сравнения степени видового сходства биотопов. Следует отметить, что в число общих видов также бралось название семейства или рода, если насекомое было определено только до данного таксономического ранга. Исходя из полученных значений было выделено 3 степени видового сходства биотопов: низкая, средняя и высокая. Наиболее высокое видовое сходство биотопов для хортобионтов обнаружено между биотопами со специальным типом газона. Можно предположить, что такое сходство обусловлено похожими условиями и повышенной косвенной антропогенной нагрузкой, которая наблюдалась на изучаемых участках. Биотопами с высокой степенью сходства для герпетобионтов оказались биотоп 10, который соответствовал садовому типу газона и биотоп 8 - комбинированному типу газона. Схожесть видового состава изученных участков можно объяснить тем, что данные биотопы географически были расположены близко друг к другу. За счёт

того, что некоторые виды и семейства в сборах хорто- и герпетобионтов были одинаковы, был подсчитан индекс Серенсена между биотопами одного типа газона. Таким образом было выявлено достаточно высокое таксономическое сходство среди хорто- и герпетобионтов в биотопах 1 лугового типа и биотопах 6 специального назначения. В остальных биотопах сходство было меньшим или не было обнаружено, исходя из полученных значений индекса.

В результате было определено, что количественный состав насекомых хорто- и герпетобионтов преобладал на газонах лугового типа. Среди герпетобионтов преобладало семейство *Carabidae*, среди хортобионтов преобладало семейство *Acrididae*. По результатам анализа насекомых хорто- и герпетобионтов по месту организма в пищевых цепях и по широте диапазона кормовых объектов было выявлено, что наибольшее количество выявленных герпетобионтов являлись зоофагами-полифагами, а преобладающее количество хортобионтов являлись фитофагами-полифагами. Таксономическое сходство согласно индексу Серенсена для обеих экологических групп было выявлено в биотопах, относящихся к луговым и специальным типам газонов.

Библиографические ссылки

1. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. М.: Мир, 1990.
2. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология/ М.: Высш.школа, 1980.
3. Лантев А. А. Газоны. Киев: Издательство академии архитектуры УССР, 1955.
4. Воронцов А.И. Лесная энтомология. М.: Высшая школа, 1975.
5. Sorensen T.A. Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons. Biologiske Skrifter: Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, 1948.

ПОИСК АКТИНОМИЦЕТОВ, ОБЛАДАЮЩИХ АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ ПО ОТНОШЕНИЮ К ФИТОПАТОГЕННЫМ МИКРООРГАНИЗМАМ

И. А. Сузько

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, 289.ivan32@gmail.com
Научный руководитель — Маслак Диана Викторовна

Изучена антагонистическая активность трех изолятов актиномицетов, не проявляющих фитотоксических свойств. Актиномицеты не подавляли рост бактериальных фитопатогенов, но обладали антагонистической активностью по отношению к фитопатогенным грибам *Fusarium semitectum*, *F. culmorum* 1(8), *F. oxysporum* LF14 и *Alt. radicina*.

Ключевые слова: актиномицеты; антагонизм; фитопатогены; фитозащита.

Защита сельскохозяйственных культур от болезней является одной из первостепенных задач растениеводства. Среди средств фитозащиты наиболее широко применяются агенты химической природы. Современные пестициды достаточно эффективны в борьбе с патогенами. Однако такой метод борьбы с болезнями растений имеет значительные минусы. Пестициды не обладают достаточной целевой специфичностью, а потому уничтожают и полезные в агроценозах виды. Кроме того, их степень утилизации в природных сообществах достаточно низкая, а потому они могут накапливаться в продуктах питания. Согласно данным Всемирной Организации Здравоохранения, остатки пестицидов обнаруживаются почти в 40% используемых в пищу продуктах [1], что, вкупе с их высокой канцерогенностью, создает необходимость поиска альтернативных, менее токсичных методов борьбы с фитопатогенными микроорганизмами – возбудителями болезней растений.

Наиболее перспективным направлением в этом плане являются биологические методы фитозащиты. Среди них уже широко изучены и широко применяются микробные агенты (бактерии и грибы). Менее распространено в этой сфере применение актиномицетов, широко развитый биосинтетический аппарат которых делает их весьма перспективным объектом биотехнологических исследований.

Целью работы было выделение изолятов актиномицетов, проявляющих антагонистические свойства по отношению к фитопатогенным микроорганизмам.

Объектом исследований послужили 10 изолятов актиномицетов, выделенных из почвы, корневой зоны растений и лесной подстилки.

С целью выявления актиномицетов, потенциально опасных для растений, были проведены тесты на наличие амилалитической и целлюлолитической активности, фитотоксичности по отношению к *Chlorella vulgaris*, способности к мацерации и некрозу растительной ткани [2].

Для исследования антагонистической активности на агаризованную полноценную среду засеивали линией анализируемый актиномицет. Микроорганизмы культивировали при 28 °С в течение 3-х дней для накопления в среде достаточного количества метаболитов. Бактериальные штаммы фитопатогенов подсеивали к актиномицету перпендикулярными штрихами и выращивали в течение 24-48 часов при 28 °С. Исследуемые фитопатогенные грибы вносили точкой на расстоянии 2 см от актиномицета и выращивали в течение 7 дней при 28 °С. Контроль – рост фитопатогенных грибов на чашках без актиномицетов. Об антибактериальной активности актиномицетов судили по появлению задержки роста фитопатогенных бактерий в зоне действия метаболитов актиномицетов. Антифунгальную активность оценивали по степени ингибирования роста мицелия фитопатогенного гриба в зоне действия антифунгальных метаболитов актиномицета и рассчитывали по формуле:

$$I = (1 - R_1/R_2) * 100\%,$$

где I (%) – степень ингибирования; R_1 – радиус роста мицелия по направлению к актиномицету; R_2 – радиус роста мицелия по направлению от актиномицета.

В ходе проведенных исследований из природных источников выделено 10 изолятов актиномицетов. Среди представителей актиномицетов нет фитопатогенов, тем не менее, метаболиты этих микроорганизмов могут угнетать рост растений. Поэтому у выделенных микроорганизмов была изучена фитотоксичность к модельному объекту *Chlorella vulgaris*, способность к мацерации и некрозу растительной ткани и наличие целлюлолитической или амилалитической активности. Потенциально опасными для растений считались изоляты, у которых обнаружена фитотоксичность по отношению к хлорелле, способность вызывать некроз или мацерацию растительных тканей или одновременно целлюлолитическая и амилалитическая активность. На основании проведенных исследований изоляты 3Ш, 2М и 13-22 были выделены как не представляющие опасности для растений и пригодные для проведения дальнейших исследований.

У этих актиномицетов было исследовано наличие антагонистической активности по отношению к фитопатогенам бактериальной и грибной природы. В качестве тест-объектов при оценке антибактериальной активности были использованы штаммы *Pseudomonas syringae* 345, *P. corrugate* 3', *P. syringae* pV tomato DC3000, *Erwinia carotovora atroseptica*

3-2, *Erw. carotovora* 330, *Erw. carotovora* jn42, *Erw. carotovora* D261, *Clavibacter* sp., *Pectobacterium carotovorum* 25.1. В проведенных экспериментах у исследуемых актиномицетов не было выявлено антибактериальной активности по отношению к фитопатогенным бактериям.

Антагонистическую активность изучаемых актиномицетов по отношению к фитопатогенным грибам исследовали с использованием культур *Fusarium semitectum*, *F. culmorum* 1(8), *F. oxysporum* LF14 и *Alt. radicina*. Результаты проведенных тестов представлены в таблице.

Как видно из представленных данных, все изучаемые актиномицеты в эксперименте проявили антагонистическую активность по отношению к фитопатогенным грибам. Изоляты 2М и 13-22 наиболее активно подавляли рост *F. oxysporum* LF14 (степень ингибирования – 61,9% и 58,8% соответственно), изолят 3Ш проявил максимальную антагонистическую активность в отношении *F. semitectum* (степень ингибирования – 67,3 %).

Антифунгальная активность актиномицетов 2М, 3 Ш и 13-22

Фитопатоген	Радиус роста мицелия гриба, мм			Степень ингибирования, %
	R ₁	R ₂	R _K	
Антифунгальная активность изолята 2М				
<i>F. semitectum</i>	10,7 ± 0,47	21,3 ± 1,89	35,0	49,9
<i>F. culmorum</i> 1(8)	11,0 ± 0	22,0 ± 1,41	36,0	50,0
<i>F. oxysporum</i> LF14	14,3 ± 0,47	37,7 ± 0,94	38,0	61,9
<i>Alt. radicina</i>	5,3 ± 0,47	8,7 ± 1,25	10,0	38,5
Антифунгальная активность изолята 3Ш				
<i>F. semitectum</i>	11,7 ± 0,94	35,7 ± 1,7	35,0	67,3
<i>F. culmorum</i> 1(8)	14,3 ± 0,82	37,0 ± 1,41	36,0	61,3
<i>F. oxysporum</i> LF14	16,3 ± 0,47	38,3 ± 0,47	38,0	57,4
<i>Alt. radicina</i>	5,7 ± 0,94	7,7 ± 0,47	10,0	26,1
Антифунгальная активность изолята 13-22				
<i>F. semitectum</i>	10,7 ± 1,25	25,0 ± 1,63	35,0	57,3
<i>F. culmorum</i> 1(8)	11,3 ± 0,47	22,7 ± 1,89	36,0	48,5
<i>F. oxysporum</i> LF14	15,7 ± 0,94	38,0 ± 0,82	38,0	58,8
<i>Alt. radicina</i>	4,7 ± 0,47	8,0 ± 0	10,0	41,7

Примечание. R₁ – радиус роста мицелия по направлению к актиномицету; R₂ – радиус роста мицелия по направлению от актиномицета, R_к – радиус роста мицелия в контроле (на чашках без актиномицета).

Необходимо отметить, что радиус мицелия фитопатогенных грибов в контроле R_к превышал радиус мицелия в опыте, как R₁ (в сторону актиномицета), так и R₂ (в сторону, противоположную от актиномицета).

Ослабление роста мицелия по всей поверхности агара в опыте может быть обусловлено накоплением в питательной среде токсических для фитопатогена веществ, синтезируемых актиномицетом.

Таким образом, исследованные актиномицеты проявили антифунгальную активность в отношении фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*. Максимальная антифунгальная активность в отношении *F. semitectum* была выявлена у изолята 3Ш – степень ингибирования роста фитопатогена в данном варианте составила 67,3%; к *F. culmorum* 1(8) – у изолята 3Ш (степень ингибирования 61,3%); к *F. oxysporum* LF14 – у изолята 2М (степень ингибирования фитопатогена 61,9 %); к *Alt. radicina* – у изолята 13-22 (степень ингибирования фитопатогена 41,7 %). Данные изоляты отобраны для дальнейших исследований с целью включения в биопрепараты фитозащитного действия.

Библиографические ссылки

1. Максимов И.В. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47, № 4. С. 25-40.
2. Желдакова Р.А., Мямин В.Е. Фитопатогенные микроорганизмы. Минск: БГУ, 2005.

ВЛИЯНИЕ ДИОДНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РОСТ И НАКОПЛЕНИЕ АФК В КЛЕТКАХ КОРНЯ *ARABIDOPSIS THALIANA*

А. А. Толкач¹⁾, Е. Ч. Микша²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, tolkachanna02@gmail.com

Научный руководитель — В. С. Мацкевич

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь

Научный руководитель — В. В. Самохина

В статье представлены данные о том, как ультрафиолетовое излучение (УФ-С) влияет на рост корня при облучении семян и проростков модельного растения *Arabidopsis thaliana*. Также было показано накопление активных форм кислорода (АФК) в клетках корня в ответ на УФ-С и проанализирован эффект добавления антиоксидантов.

Ключевые слова: УФ-С; рост; активные формы кислорода; окислительный стресс; антиоксиданты; арабидопсис.

В современном мире, где устойчивое сельское хозяйство играет ключевую роль, технологии светодиодного освещения набирают все большие обороты, предлагая инновационные подходы к повышению урожайности и качества растительных культур. Одним из таких подходов является использование ультрафиолетового света, который предлагает уникальные возможности для оптимизации роста растений и улучшения их устойчивости к внешним стрессовым факторам. Целью настоящей работы являлось изучение влияния УФ-С на рост и накопление активных форм кислорода (АФК) в клетках корня *Arabidopsis thaliana* L. Heynh.

На первом этапе были проведены ростовые тесты. Сначала воздействию ультрафиолета (УФ-С) подвергались 5-дневные проростки арабидопсиса, выращенные в стерильной вертикальной культуре. После облучения их культивирование продолжалось в тех же условиях еще в течение 5 сут, когда регистрировался прирост корня (рис. 1).

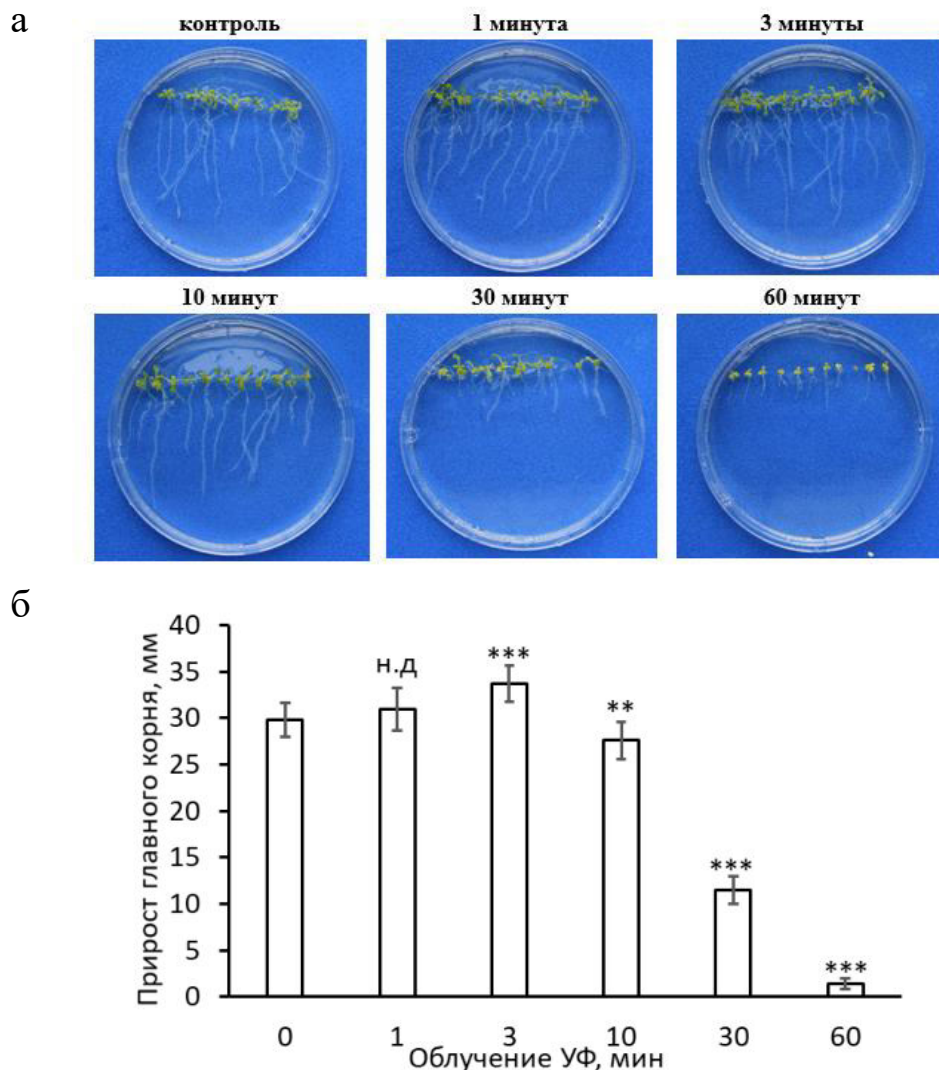


Рис. 1. Модификация роста *A. thaliana* дикого типа при обработке проростков УФ:
а – фотографии 10-дневных проростков арабидопсиса; *б* – прирост длины основного корня

Примечание. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-теста, где *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$ н.д. $> 0,05$ ($n=30$).

Как видно из графика, обработка УФ в течение 3 мин вызывала увеличение прироста длины корня у растений дикого типа (WT) на 13% по сравнению с контролем. Дальнейшее облучение УФ ингибировало рост корней: при 10 мин – в 1,07 раз, при 30 мин – в 2,6 раза, при 60 мин рост растений полностью останавливался. Следует отметить, что линия *gork1-1*, лишенная K^+ -канала GORK, была менее чувствительной к УФ. Замена Цис-151 на Сер в АФК-чувствительном центре данного канала также делала растения более устойчивыми к обработке УФ в диапазоне времени 1-10 мин по сравнению с WT. Важность АФК-сигнализации была

протестирована впоследствии при помощи флуоресцентной микроскопии (рис.2).

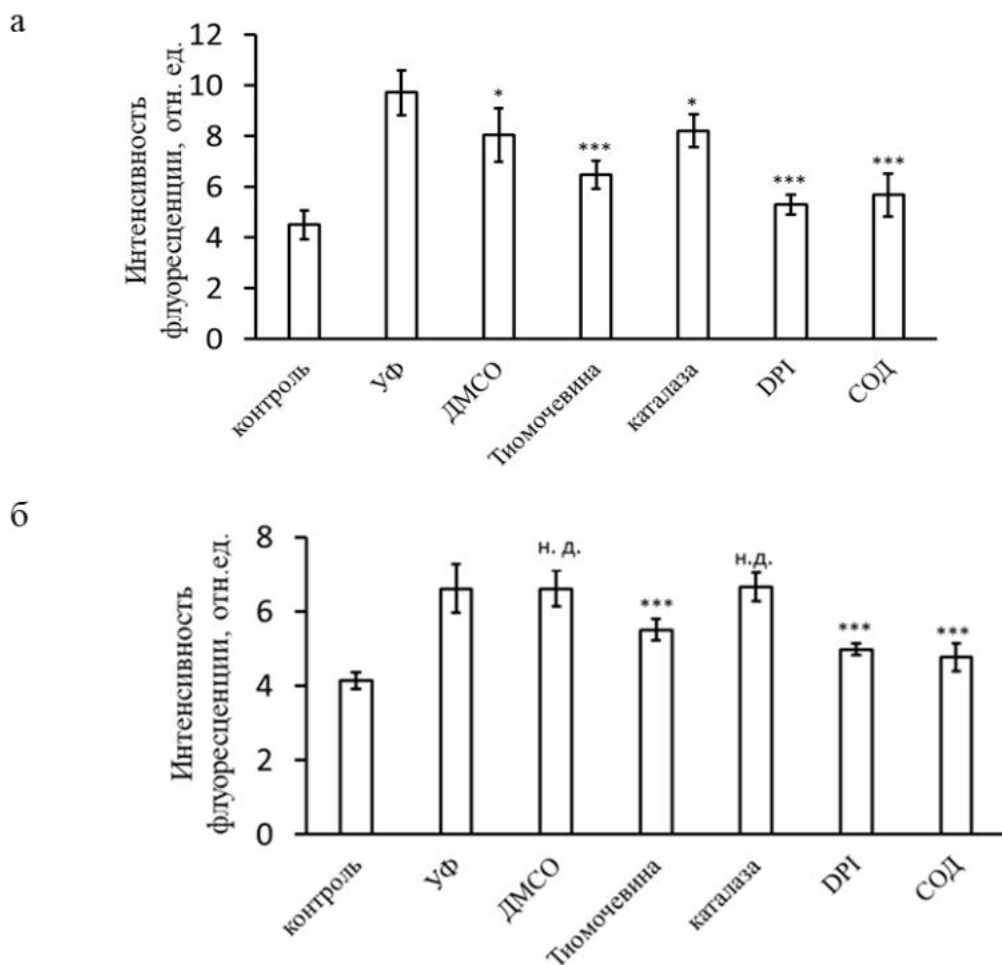


Рис. 2. Воздействие УФ-С и антиоксидантов на изменение интенсивности флуоресценции ДГЭ

а – в клетках корня арабидопсиса в зоне деления; *б* – в зоне всасывания
 Примечания. Представлены средние ($\pm Sx$, $n=10-30$) интенсивности флуоресценции ДГЭ ($\lambda_{ex}=480$ нм, $\lambda_{em}=586$ нм). Для расчета достоверности различий между опытными и контрольными группами производился анализ ANOVA-теста, где *** $p<0,001$; ** $p<0,01$; * $p<0,05$; н.д. $>0,05$

В случае облучения семян УФ в течение 1-60 мин наблюдался стимулирующий эффект на рост *A. thaliana*. Наибольший прирост длины корня был при 1 мин (увеличение на 27% по сравнению с контролем). Дальше ростостимулирующий эффект немного снижался, однако, даже при обработке 60 мин длина корня была в 1,14 раза больше контроля.

На следующем этапе при помощи флуоресцентного зонда дигидроэтидиум (ДГЭ) нами был проанализирован эффект УФ на накопление АФК в клетках корней арабидопсиса. Интенсивности флуоресценции ДГЭ после обработки корней УФ-С в течение 60 мин возрастала в кончиках корней в 2,15 раза, в зрелой зоне корня – в 1,6 раз по сравнению с контролем (рис. 2). Следовательно, активно делящиеся клетки демонстрируют большую чувствительность к данному стресс-фактору.

Также было протестировано влияние добавления ряда антиоксидантов на накопление АФК в ответ на обработку УФ-С, тестируемые вещества накапывали на корни непосредственно перед облучением, к контрольной группе приливали буферный раствор. В кончиках корня интенсивность флуоресценции после обработки УФ в растворе буфера возрастала в 2,15 раза, ДМСО – в 1,78 раза, каталазы – в 1,82 раза (рис. 2, а). В зрелой зоне корня наблюдались схожие эффекты, однако интенсивности свечения зонда были меньше: после обработки УФ-С в растворе буфера в 1,6 раза по сравнению с контролем. Наиболее эффективными антиоксидантами также выступали тиомочевина, СОД и DPI (рис. 2, б).

В результате полученных данных, можно сделать вывод, что в клетках корня *Arabidopsis thaliana* в ответ на воздействие УФ-С в первую очередь генерируются высокоактивные АФК (супероксиданионный радикал и гидроксильный радикал) и в меньшей степени перекись водорода. Уменьшение накопления АФК при добавлении ингибитора НАДФН-оксидаз говорит о вовлечении данных ферментов в индукцию окислительного стресса в ответ на УФ-С. Вероятно НАДФН-оксидазы активируются на ранних этапах обработки УФ-излучением и катализируют синтез экзогенных гидроксильных радикалов, таким образом увеличивая уровень АФК и, соответственно, усиливая повреждающий эффект УФ.

ГЕПАТОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА ОСМАНТУСА ДУШИСТОГО В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОЙ АЛКОГОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

А. П. Шпак

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, s_anthony_p@uk.com
Научный руководитель — О.И. Губич, кандидат биологических наук, доцент

Установлена способность отвара османтуса душистого (*Osmanthus fragrans*) оказывать гепатопротекторное действие в условиях хронической алкогольной интоксикации, превосходящее аналогичный эффект аптечного препарата сравнения — фитосбора “Фитолекарь для печени” (Республика Беларусь) и обусловленное высоким содержанием в нем природных антиоксидантов (биофлавоноидов, терпенов, фенольных кислот, витаминов группы Е, жирных кислот).

Ключевые слова: османтус душистый; гепатопротекция; алкогольная болезнь печени; этанол; биохимические маркеры крови.

В соответствии с данными ВОЗ, в 2022 г. в результате злоупотребления алкоголем в мире умерло около 3,3 миллионов человек. Более того, примерно 10% пациентов, находящихся на лечении в терапевтических стационарах, имеют патологию, обусловленную хроническим алкоголизмом [1]. Огромные финансовые затраты общества на решение проблемы алкогольной зависимости и ассоциированных с ней заболеваний внутренних органов, высокая летальность, определяют необходимость дальнейшего поиска методов лечения алкогольной болезни печени, которая включает стеатоз, стеатогепатит, фиброз и цирроз печени [2].

В настоящее время лекарственная терапия алкогольного поражения печени предполагает использование фармакологических препаратов нескольких групп (кортикостероидов, N-ацетилцистеина, S-аденозилметионина; эссенциальных фосфолипидов), что не исключает необходимость использования поддерживающей фитотерапии, характеризующейся единичными противопоказаниями и подходящей большому числу пациентов [3]. Поиск эффективных растительных препаратов указанного спектра действия продолжается.

В нашей работе мы обратились к исследованию гепатопротекторных свойств отвара османтуса душистого (*Osmanthus fragrans*), произрастающего в Восточной и Юго-Восточной Азии. Цветки данного декоративного кустарника, широко используются для ароматизации чая, в

парфюмерии и косметологии. Кроме того, в китайской народной медицине отвары османтуса издавна применяли в качестве антиоксидантного, противовоспалительного и отхаркивающего средства [4].

Современный анализ химического состава цветков османтуса позволил установить наличие в них биофлавоноидов, терпенов, фенольных кислот, витаминов группы Е, жирных кислот, ионов и других природных антиоксидантов [4]. Именно с этими соединениями большинство специалистов связывает проявление отварами и экстрактами данного растения антиоксидантной, противораковой, противоязвенной, антибактериальной и кардиопротекторной активностей [5]. Способность отвара османтуса душистого предотвращать этанол-зависимое повреждение гепатоцитов в условиях хронической алкоголизации организма прежде не изучалась.

Таким образом, целью настоящей работы явился анализ его гепатопротекторных свойств на экспериментальной модели хронической алкогольной интоксикации *in vivo*.

В работе был использован коммерческий препарат сухих цветков османтуса душистого, отвар которого готовили из расчета 1 г сухого сырья/100 мл воды, а также аптечный фитосбор “Фитолекарь для печени” (Республика Беларусь), отвар которого готовили в соответствии с прилагающейся инструкцией и использовали как эталонный препарат сравнения. Работа выполнена на крысах-самцах линии Wistar массой 200-250 г, которые находились на стандартной диете вивария БГУ. Все эксперименты проводились в соответствии с правилами гуманного обращения с животными. Оценке подвергались классические маркеры поражения печени, измеренные нами в сыворотке крови крыс с помощью коммерческих наборов реагентов. Для статистических расчетов использовали пакет программ Statistica 8.0.

На первом этапе мы оценили влияние хронического воздействия этанола на измеряемые параметры. Как свидетельствуют полученные данные, 4-хнедельное ежедневное пероральное введение крысам 50% этанола в дозе 3 г/кг приводит к нарушению целостности и функционирования гепатоцитов, что сопровождалось изменением величин всех анализируемых маркеров. Так, увеличение активности аланинаминотрансферазы в сыворотке крови составило 213,3% по сравнению с контрольной группой животных, фиксировалось нарастание активности лактатдегидрогеназы (+51,0% к контролю), наблюдалось значительное снижение синтетической функции печени, проявившееся гипоальбуминемией и гипоуремией. Полученные результаты хорошо согласуются как с первоначальной гипотезой, так и с данными литературы [6].

Следующий этап нашей работы был непосредственно посвящен изучению сравнительной эффективности гепатопротекторного действия отваров османтуса душистого и аптечного фитосбора на используемой экспериментальной модели. Показано, что 3-хнедельная поддерживающая терапия отваром османтуса позволила стабилизировать состояние печени подопытных животных. Так, активности маркерных ферментов печени достигли значений, статистически неотличимых от аналогичных параметров интактных крыс, наблюдалось полное восстановление альбумин-синтезирующей функции печени. Что касается достоверно низкой концентрации мочевины в крови животных, то это может быть обусловлено вызываемым османтусом усилением диуреза. Примечательно, что гепатопротекторное действие османтуса душистого в нашем эксперименте превосходило аналогичный эффект аптечного препарата сравнения. Введение данного отвара в ежедневный рацион интактных крыс вместо питьевой воды на протяжении 20 суток показало отсутствие нежелательного влияния отвара османтуса на анализируемые параметры.

Механизм проявляемой османтусом гепатопротекции требует дополнительного исследования, однако, принимая во внимание высокое содержание в нем антиоксидантов, на данном этапе можно с осторожной уверенностью предположить возможность снижения в его присутствии индуцированных этанолом перекисных процессов в гепатоцитах.

Библиографические ссылки

1. Park S. H. Global and regional impacts of alcohol use on public health: Emphasis on alcohol policies // *Clinical and Molecular Hepatology*. 2020. Vol. 26, iss. 4. P. 652-661.
2. Teschke R. Alcoholic liver disease: alcohol metabolism, cascade of molecular Mechanisms, Cellular Targets, and Clinical Aspects // *Biomedicines*. 2018. Vol. 6, iss. 4. P. 106-121.
3. Gao B., Bataller R. Alcoholic liver disease: pathogenesis and new therapeutic targets // *Gastroenterology*. 2011. Vol. 141, iss. 5. P. 1572-1585.
4. Fu C.C., Xu F.Y. Secondary metabolites of *Osmanthus fragrans*: metabolism and medicinal value // *Frontiers in Pharmacology*. 2022. Vol. 13, iss.1. P. 1-12.
5. Xiaoqing Y., Tao Z. Review of *Osmanthus fragrans* planting and utilizations in China// *J. Agriculture Soc. Res*. 2006. Vol. 6, iss. 2. P. 40-46.
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 // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2019. № 1. С. 54-62.

ОДНОНУКЛЕОТИДНЫЕ ВАРИАЦИИ И ИХ ДЕТЕКЦИЯ В КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА

В. Г. Яковлева

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, valeria.yakovleva2004@gmail.com
Научный руководитель — И. Н. Ильющёнок, кандидат биологических наук*

Однонуклеотидные вариации являются самыми распространенными мутациями в геноме и могут значительно изменять функции ДНК, РНК и белков. Они играют значительную роль в генетической изменчивости, предрасположенности к заболеваниям и реакции на различные вещества. Целью данной работы является анализ современной научной литературы по вопросам происхождения однонуклеотидных вариаций, их биологической роли и методов детекции в клетках человека.

Ключевые слова: однонуклеотидные вариации; мутации; методы детекции SNV.

Однонуклеотидные вариации (SNV) являются самыми распространенными и широко представленными изменениями в человеческом геноме. Это мутации, которые возникают на месте одного нуклеотида, и могут встречаться как в белок-кодирующих последовательностях, так и в некодирующих или межгенных областях. Считается, что у среднестатистического человека насчитывается около 3-4 миллионов SNVs, которые могут возникать в результате действия физических и химических факторов. Но чаще всего возникновение SNV является следствием ошибок репликации ДНК [1].

SNVs могут оказывать различное влияние на организм, вызывая изменения в процессах репликации, транскрипции, сплайсинга, трансляции, экспрессии или функционировании белка. При этом эффект будет зависеть от точного расположения данной вариации в геноме, а также ее природы. Некоторые из данных мутаций синонимичны и не оказывают никакого значительного эффекта, другие – нонсенс мутации – могут нокаутировать ген за счет внесения дополнительного стоп-кодона в рамки считывания [2]. Так называемые миссенс-мутации за счет переключения кодона на кодирование другой аминокислоты, будут приводить к частичной потере или усилению функций гена. Мутации в некодирующих областях (интронах или энхансерах) неблагоприятно влияют на уровень экспрессии или правильность сплайсинга мРНК [3].

Самой известной болезнью, вызванной SNV, является серповидно-клеточная анемия. В 20 – 50 % случаев наработка фетального гемоглобина связана с наличием SNV в трех локусах: BCL11A, регулирующего переключение между синтезом эмбрионального и взрослого гемоглобина в

клетке, межгенной области HBS1L-MYB, в которой расположен ряд последовательностей, регулирующих экспрессию фетального гемоглобина, и внутри β -подобного глобинового локуса [4]. Некоторые SNV могут вызывать заболевания сердечно-сосудистой системе. Например, полиморфизмы в гене рецептора глюкагоноподобного пептида 1 (rs7396366, rs4680, и rs4714210) связаны с риском развития ишемической болезни сердца [5]. Некоторые SNV связаны с развитием гипертензии (rs4680), атеросклероза (rs4633 и rs4680), тромбозов вен (rs2097603, rs4633, rs4680, и rs174699), тахикардии (rs324420) [6]. Самыми распространенными патологиями, вызванными SNV, являются онкологические [7].

Методы детекции SNV можно разделить на методы детекции уже известных мутаций и методы обнаружения не выявленных ранее SNV. К первой группе относятся аллель-специфическая ПЦР и различные ДНК чипы, ко второй – секвенирование по Сэнгеру и секвенирование нового поколения [8].

Аллель-специфическая ПЦР является модифицированной версией стандартной. Все этапы (денатурация, отжиг праймеров и элонгация) проходят как обычно, однако вместе со стандартным обратным праймером используется от 2 до 4 прямых аллель-специфических праймеров с модифицированными флуоресцентной меткой концами, которые амплифицируют ПЦР-продукты разной длины. С помощью данного метода можно быстро различать гомозигот и гетерозигот, а также понять, есть ли мутация в уже известном сайте. Аллель-специфическая ПЦР является эффективным и экономически выгодным методом, однако благодаря ему возможно определение SNV только в заранее известных участках. Недостатком метода является и необходимость разработки большого количества специфических праймеров [9].

В основе работы ДНК-чипов лежит гибридизация на иммобилизованном субстрате. После выделения и очистки ДНК необходимо провести этап подготовки библиотеки, который заключается в амплификации целевого фрагмента с помощью ПЦР, в течение которой в ДНК включаются нуклеотиды с флуоресцентными метками. После чего на чипе происходит процесс гибридизации, после которого чип сканируют лазером. Далее генотип SNV может быть определен в соответствии с интенсивностью флуоресценции продуктов. Метод позволяет типировать SNV на уровне генома, он точный и наглядный, однако для подготовки чипа и анализа результатов требуются предварительные данные о последовательности [10].

В настоящее время секвенирование по Сэнгеру является золотым стандартом для детекции SNV, так как точность достигает практически

100%. На первом этапе необходимо очистить и амплифицировать большое количество копий ДНК, которые нужны для синтеза второй цепи в присутствии специфических праймеров, термостабильной полимеразы, смеси дезоксинуклеотидов (стандартных мономеров ДНК) и дидезоксинуклеотидов, содержащих флуоресцентную метку, которая позволяет впоследствии визуализировать результаты. Дидезоксинуклеотиды вызывают случайное необратимое прекращение синтеза, создавая копии молекул ДНК разной длины. После завершения реакции продукты синтеза разделяют с помощью капиллярного электрофореза, и метка, прикрепленная к последним нуклеотидам, позволяет установить изначальный порядок нуклеотидов. Метод точный, надежный и простой в исполнении, но довольно медленный и трудоемкий [10].

Секвенирование нового поколения предполагает подготовку библиотеки. Для этого ДНК случайным образом фрагментируется ультразвуком или ферментативной обработкой. После этого происходит формирование кластеров для создания более сильного сигнала флуоресценции. Третий этап – непосредственное секвенирование. На последнем этапе происходит анализ данных с помощью биоинформатических инструментов. Метод очень эффективный, чувствительный и позволяет получить полногеномные данные, однако требует наличия хорошего технического оснащения [11].

Таким образом, однонуклеотидные вариации являются фундаментальным источником генетического разнообразия у человека и играют важную роль в развитии заболеваний. Понимание причин возникновения SNV и методов их обнаружения в клетках человека имеет решающее значение для персонализированной медицины, генетических исследований и диагностики заболеваний.

Библиографические ссылки

1. *Washington M.T.* DNA Polymerase Fidelity: Beyond Right and Wrong // *Struct. Lond. Engl.* 1993. 2016. Vol. 24, № 11. P. 1855-1856.
2. Genome-wide survey of the prevalence and evolutionary forces acting on human nonsense SNPs / B. Yngvadottir [et al.] // *Am. J. Hum. Genet.* 2009. Vol. 84, iss. 2. P. 224-234.
3. Evaluation of the functional effects of genetic variants—missense and nonsense SNPs, indels and copy number variations—in the gene encoding human deoxyribonuclease I potentially implicated in autoimmunity / M. Ueki [et al.] // *Sci. Rep.* 2019. Vol. 9. P. 13660-13668.
4. Genetic variation and sickle cell disease severity / J.K. Kirkham [et al.] // *JAMA Netw. Open.* 2023. Vol. 6, iss. 10. P. e2337484.

5. Polymorphisms in the glucagon-like peptide 1 receptor (GLP-1R) gene are associated with the risk of coronary artery disease in chinese han patients with type 2 diabetes mellitus: A Case-Control Study / X. Ma [et al.] // J. Diabetes Res. 2018. Vol. 2018. P. e1054192.
6. *Schacht J.P.* Intermediate cannabis dependence phenotypes and the FAAH C385A variant: an exploratory analysis // Psychopharmacology (Berl.). 2009. Vol. 203, iss. 3. P. 511-517.
7. *Mao X.* The application of single nucleotide polymorphism microarrays in cancer research // Curr. Genomics. 2007. Vol. 8, iss. 4. P. 219-228.
8. How to Choose Suitable SNP Genotyping Method - CD Genomics [Electronic resours]. URL: <https://www.cd-genomics.com/how-to-chose-suitable-snp-genotyping-method.html> (data of access: 06.04.2024).
9. Allele-specific PCR with a novel data processing method based on difference value for single nucleotide polymorphism genotyping of ALDH2 gene / Q. He [et al.] // Talanta. 2020. Vol. 220. P. 121432 - 121437.
10. *Pareek C.S.* Sequencing technologies and genome sequencing // J. Appl. Genet. 2011. Vol. 52, iss. 4. P. 413-435.
11. *Levy S.E.* Next-Generation Sequencing Strategies // Cold Spring Harb. Perspect. Med. 2019. Vol. 9, iss. 7. P. 25791-25799.

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

ОЛЕДЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БОЛОТ БЕЛАРУСИ В ЧЕТВЕРТИЧНОМ ПЕРИОДЕ

М. Н. Васькович

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, marrinad0s@gmail.com*

Научный руководитель — Д. Г. Груммо, кандидат биологических наук, доцент

Установлено, что в четвертичном периоде на территорию Беларуси пятикратно проникали ледники. Они оказали значительное влияние на развитие природных экосистем, способствовали формированию множества озер и болот на территории современной Беларуси. Смещение и таяние ледников приводили к образованию ледниковых озер, которые впоследствии превращались в болота. Результатом этих процессов стали современные болота, которые являются важными элементами экосистем и природных ресурсов региона. Болота Беларуси имеют свои особенности формирования и существуют благодаря разнообразию геологических, гидрологических и климатических условий региона.

Ключевые слова: оледенения четвертичного периода; болота Беларуси; основные типы и география болот; взаимосвязь с оледенениями; значение и охрана.

ВВЕДЕНИЕ

Четвертичный период – самый короткий период развития земли [1]. Именно в это время рельеф; климат; растительность и животный мир приняли современный облик; наша планета пережила несколько ледниковых и межледниковых этапов. В ходе наступления и отступления ледника на территории республики на месте небольших водоемов образовались замкнутые западины; превращенные с течением времени в болотные массивы. Болота – особое достояние Беларуси и всей Европы. Уже начиная с голоценового времени они начинают приобретать современный вид. Болота имеют большую ценность для республики. Изучение особенностей формирования болот позволит прогнозировать их будущее развитие; так как болота играют важную роль как в экономической; так и природной составляющей жизни человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для данной статьи послужили собственные наблюдения за болотной растительностью на республиканском ландшафтном заказнике «Ельня» (апрель 2024 года); исследования; организованные Институтом

экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси (2006–2009 гг.); палинологические данные; хранящаяся на факультете географии и геоинформатики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Во время четвертичного периода на территории Беларуси выделены 5 ледниковых этапов – Наревский; Березинский; Припятский (Днепровский и Сожский); Поозерский. Они; в свою очередь; были разделены межледниковыми этапами; соответственно – Беловежский; Александрийский; Шкловский; Муравинский. Как отдельный (современный) этап развития природного комплекса выделяют голоцен. В течение плейстоцена каждая последующая ледниковая эпоха характеризовалась более холодным климатом; чем предшествующая [2]. На территории Беларуси; можно отметить увеличение площади оледенений; начиная с Наревского и заканчивая Днепровской стадией Припятского; уменьшение площади оледенений от более древних к молодым; т.е. от Припятского и до Поозерского ледника. Это можно объяснить тем; что с ростом похолодания увеличивались площади морских льдов; уменьшалось испарение с поверхности океана и количество твёрдых атмосферных осадков.

Болота Беларуси – уникальный природный комплекс. Главную роль в процессе образования болот играют климат; геоморфологические и гидрогеологические условия. На территории страны представлены различные типы болот: низинные; переходные и верховые [3]. У каждого из них существуют свои особенности распространения; и как следствие; различие в условиях питания; гидрологическом режиме; мощности торфозалежи; растительном покрове и животном мире и др. Формирование болотных ландшафтов прослеживалось еще в межледниковые эпохи; но современный облик болота начали приобретать в голоцене [4]. В настоящее время на территории Беларуси наблюдается ослабление естественного процесса болотообразования. Это может привести к дестабилизации экосистемы; а также к утрате важных экологических функций; которые выполняют болота.

Ельня – болотный массив; один из крупнейших в Беларуси комплексов верховых болот. История развития верхового торфяника прослежена на основе данных палинологического анализа разреза Ельня-2 [5]. Она свидетельствует о том; что в месте заложения скважины накопление торфа на болоте происходило на протяжении голоценового межледниковья [6]. На протяжении раннего голоцена в условиях в основном сухого умеренного климата основу растительности Ельни составляли такие породы; как сосна; ель; береза. В среднем голоцене; когда климат становится более влажным и

теплым; появляются широколиственные породы (дуб; липа; граб и др.). В позднем голоцене климат приобретает более континентальные черты и основу растительности составляют березово-сосновые леса. На современном этапе растительность заказника сильно изменена ввиду катастрофических пожаров. В составе лесов преобладают повислоберезовые; сосновые и еловые. В центральной части болотного массива; где крайне мала зона аэрации; хорошо развиты грядово-мочажинные комплексы.

Болота играют важную роль в экосистеме нашей планеты [3]. Они являются уникальной средой; обеспечивая убежище и пищу для множества растений; животных и микроорганизмов; в том числе находящихся под охраной в Республике Беларусь. В Ельне находятся редкие и охраняемые виды растений 2; 3 и 4 категорий охраны. На территории заказника выявлены экологически опасные ситуации; которые оказывают угрозу функционирования природных экосистем заказника: рубки; пожары; рекреационные нагрузки и др. [6]. Для сохранения болотной экосистемы были проведены ряд работ и программ по восстановлению гидрологического режима. На ряду с уже выполненными мероприятиями предлагается: создать регулярный мониторинг с целью оперативного выявления проблем; разработать разветвленную сеть экологических троп для рациональной организации антропогенной нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время четвертичного периода на территории Беларуси выделены пять ледниковых этапов; которые чередовались с межледниковыми. С каждым новым ледниковым этапом климат становился холоднее; что влияло на площадь оледенения. Болота Беларуси; формировавшиеся с межледниковых эпох; играют важную роль в экосистеме и разнообразны по типам и условиям. Ельня; один из крупнейших верховых болотных массивов; имеет богатую историю формирования растительности; изменяющуюся в зависимости от климатических условий. Для сохранения уникальной экосистемы исследуемого болота предложены дополнительные меры по мониторингу и организации менеджмента антропогенной нагрузки.

Библиографические ссылки

1. Геология Беларуси/ *Махнач А. С.* [и др]. /Минск: Институт геолого-геологических наук НАН Беларуси; 2001. – 815 с.
2. *Величко А. А.* Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас монография. Москва; 2009. 120 с.

3. *Чумаков Л. С.* Болота Беларуси – проблемы и перспективы использования. Экологический вестник. 2013. № 3. С. 91–98.

4. История; современное состояние и перспективы развития растительности ландшафтного заказника «Ельня» / *Еловичева Я. К.* [и др.]/ Физическая география в новом столетии; вып. 2 (к 100-летию со дня рождения профессора В. Г. Завриева). Минск: БГУ; 2007. С. 225–245. Деп. БелИСА 10.12.2007 г.; № Д-200762.

5. *Еловичева Я. К.; Матузка А. Н.; Иванов Д. Л.* Эволюция природной среды территории Беларуси в плейстоцене по данным опорных разрезов // Вестник БГУ. Серия 2. Химия; биология; география. 2009. № 1. С. 88–99.

6. Флора и растительность ландшафтного заказника «Ельня»/ *Грунмо Д. Г.* [и др.] / Минск: Право и экономика; 2010. 200 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ

М. В. Воробей

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, *maks.vorobey.2020@mail.ru*

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

Целью данной работы является применение геостатистических методов для анализа пространственного распределения кислотности пахотного почвенного покрова. Были отобраны образцы почв и проведены лабораторные измерения кислотности. С использованием геостатистических методов были проведены расчеты, такие как вариограммный анализ и картографирование кислотности почвы. Итогом работы стал сравнительный анализ методов картирования кислотности с учетом экономической выгоды.

Ключевые слова: геостатистический анализ; кислотность почвы; физико-химические свойства почвы; точное земледелие; вариограммный анализ; снижение экономических затрат.

ВВЕДЕНИЕ

Физико-химические свойства почвы, такие как кислотность, играют важную роль в определении ее плодородия и способности поддерживать здоровый рост растений. В большинстве развитых странах мира учет неоднородности свойств почвенного покрова применяется при дифференцированном внесении удобрений и является основой точного земледелия [1]. При этом большое количество усилий вкладывается в разработку машинно-аналитических комплексов по автоматизированному отбору проб [2]. В свою очередь, в Беларуси при агрохимическом обследований с/х земель с одного элементарного участка отбираются 30-35 уколов общим весом 0,6 кг, из которых отбирается смешанный образец [3]. Это приводит к абсолютному игнорированию полевых особенностей. Что в свою очередь приводит к понижению уровня эффективного плодородия и последующей частичной гибели урожая.

Использование геостатистического подхода при анализе пространственного распределения кислотности почвы становится все более важным для оптимизации уровня кислотности и повышения урожайности. В современной цифровой почвенной картографии происходит объединение различных методов изучения почвенного покрова и его свойств, а также активное использование машинного обучения для прогностического картографирования почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве контрольных площадок, были выбраны два поля, которые используются для возделывания тритикале, находящихся в хозяйстве ОАО «Кошелево-Агро», Новогрудского района. Поле №1 имеет площадь 119,7 га и перепады высот 40 метров и располагается близ населенного пункта «Радюки» и поле №2, площадь 180,6 га, находится близ деревни «Милевцы», перепады высот составляют 38 метров. На обоих полях в сентябре 2023 года был произведен отбор образцов с интервалом в 70 метров и глубиной отбора 0-20 см. На поле №1 было отобрано 229 образцов, на поле №2 – 343. В лаборатории пробы прошли первичную обработку, далее были получены значения кислотности почвы потенциометрическим способом.

На поле №1 преобладают почвы дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, развивающиеся на моренных суглинках, среднее содержание гумуса – 2,5%. Поле №2 менее однородно по типу почв и генезису почвообразующих пород: почвы – дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные; большая часть поля имеет моренное происхождение, однако северо-западная часть поля имеет лессовидное подстиление, также имеются мелкоконтурные ареалы дерново-карбонатных почв. На большей части территории преобладают связно-супесчаные почвы, с средним содержанием гумуса – 1,5%.

Полученные данные были проанализированны и преобразованы в программе ArcMap (рис. 1).

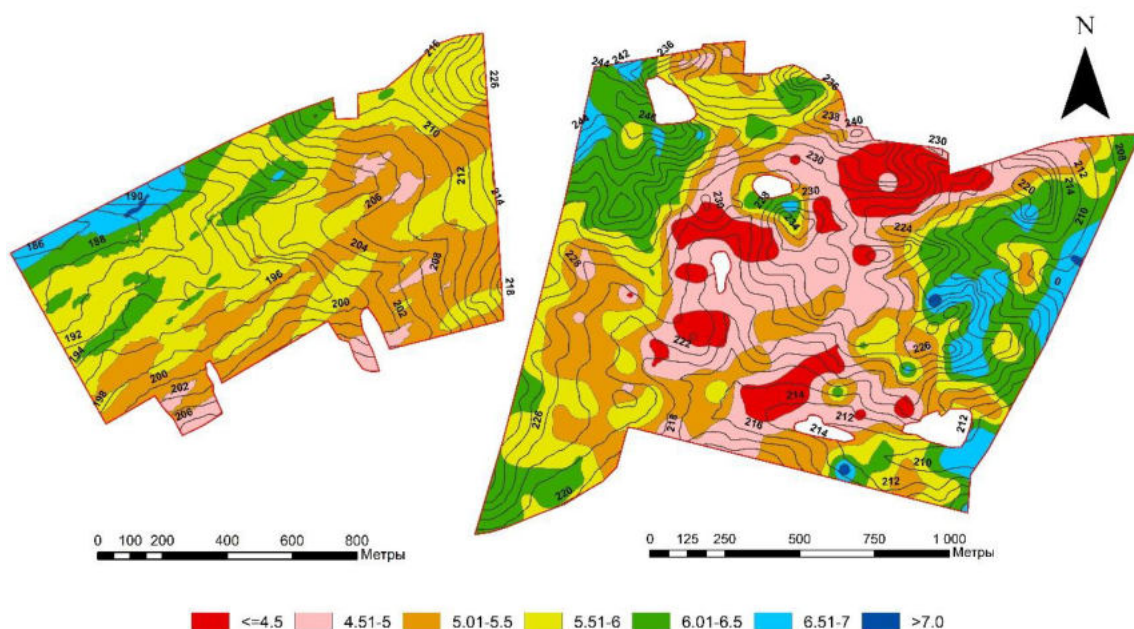


Рис.1. Картограммы распределения кислотности, pH_{KCl} поле № 1 и № 2, составлено авторами

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для поля № 1 входные данные преобразованы не были, так как у них изначально наблюдается нормально распределение, также был выбран первый порядок удаления тренда. Лучшим вариантом при вариограммном анализе стала устойчивая модель: самородком (наггет-эффектом) 0, порогом 0,426 и средней стандартной ошибкой 0,604 при минимальном входном значении 4,25 и максимальном 7,82.

Для поля №2, после анализа входных значений, были выбраны логарифмические преобразования и второй порядок удаления тренда, при вариограммного анализе были выбраны модели экспоненциальная и J-Бесселя: самородком (наггет-эффектом) 0, частичный порог 0,02 и средней стандартной ошибкой 0,664 при минимальном входном значении 3,72 и максимальном 7,9.

Остаточная дисперсия для обоих полей равна 0, что говорит о сильной автокорреляции между точками и высокой точностью полученных картограмм. Шаг для обоих полей равняется 70 [4]. Результатом геостатистических операций стали полученные картограммы распределения кислотности (рис. 1).

Кислотность почв зависит от большого количества факторов: состав материнской породы, климатические условия, грунтовые воды, растительный покров и тд., из-за чего сложно установить какую-либо достоверную зависимость и их влияние на распределения кислотности от отдельных факторов [5]. Помимо этого, поле является объектом хозяйственной деятельности человека, что вносит значительные изменения и накладывает дополнительные трудности в установлении зависимости распределения кислотности на с/х землях. Поэтому выявление закономерностей в распределении кислотности в почвенном покрове в рамках данного исследования является не целесообразным, а также нуждается в гораздо большей выборке данных.

Изучение полученных картограмм полей №1 и №2 показывает, что на территории, расположенной ниже по склону от хвойных лесов, наблюдается влияние процесса подкисления почв хвойными породами. Данное влияние можно отметить на южной части поля №1 и северной части поля №2. Также на поле №2 можно наблюдать влияние карбонатных отложений на показатели кислотности в сторону понижения кислотности.

Для сравнительного анализа двух способов картографирования кислотности почв: классического агрохимического обследования и геостатистическими методами, был проведен расчет потребности почв в известковании по данным способам. Расчет проводился по инструкции Н. В. Клебановича [6].

На поле №1 по классическому способу агрохимического обследования площадь, нуждающаяся в известкований составила 47,1 га, а по методу кригинга составили 44,2 га. Разница составила 2,9 га, что является незначительной частью от общей площади поля, менее 2,5%. При рассмотрении количества тонн CaCO_3 , необходимых для известкования, было установлено, что классический способ требует 202,4 тонны, а метод геостатистических методов — 146,2 тонны. Разница уже является более существенной, а именно в денежном эквиваленте 4833 Бел.руб (табл. 1).

Таблица 1

**Затраты на известкование поля №1, Белорусских рублей,
составлено авторами по [6]**

Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования						
Группа почв	Гумус, %	pH _{KCl}	CaCO_3 , т/га	Площадь, га	CaCO_3 , тонн	Затраты, Бел.руб
Связносупесчаные	1,51-2	4,51-5	5,25	5,8	30,5	2623
Связносупесчаные	2,01-2,5	4,51-5	6,25	6,8	42,5	3655
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	5,01-5,5	3,75	34,5	129,4	11128
Почвы не нуждающиеся в известковании				72,6	-	-
Сумма				119,7	202,4	17406
Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геостатистических методов						
Песчаные	2,01-2,5	4,5-4,75	4,5	0,1	0,5	43
Связносупесчаные	1,51-2	4,76-5	5	0,4	2	172
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	4,76-5	4	2,5	10	860
Песчаные	1,51-2	4,76-5	3,5	1,7	6	516
Связносупесчаные	1,51-2	5,01-5,25	4,5	2	9	774
Рыхлосупесчаные	1,51-2	5,01-5,25	3,5	11,4	39,9	3431
Песчаные	2,01-2,5	5,01-5,25	3	1,4	4,2	361
Связносупесчаные	1,51-2	5,26-5,5	4	1,2	4,8	413
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	5,26-5,5	3	22	66	5676
Песчаные	1,51-2	5,26-5,5	2,5	1,5	3,8	327
Почвы не нуждающиеся в известковании				75,5	-	-
Сумма				119,7	146,2	12573

Наблюдается сходство между показателями поля №2, полученными с помощью двух различных методов. Эти показатели включают площадь, требующую известкования, а также количество тонн CaCO_3 . Однако применение геостатистических методов позволяет не только количественно, но и качественно улучшить внесение CaCO_3 благодаря учёту неоднородности в распределении кислотности в почвенном покрове (таблица 2).

Таблица 2

**Затраты на известкование поля №2, Белорусских рублей,
составлено авторами по [6]**

Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования						
Группа почв	Гумус, %	pH_{KCl}	CaCO_3 , т/га	Пло- щадь, га	CaCO_3 , тонн	Затраты, Бел.руб
Связносупесчаные	1,01-1,5	$\leq 4,5$	6,25	21,5	134,4	11558
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,51-5	5,25	49,8	261,5	22489
Песчаные	1,01-1,5	4,51-5	3,75	7,2	27	2322
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,5	4,25	4,5	19,1	1643
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,5	3,25	6	19,5	1677
Почвы не нуждающиеся в известковании				91,7	-	-
Сумма				180,7	461,5	39689
Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геостатистических методов						
Связносупесчаные	1,01-1,5	$< 4,25$	6,5	4,3	28	2408
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,25-4,5	6	12,2	73,2	6295
Песчаные	1,01-1,5	4,25-4,5	4,5	0,8	3,6	310
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,51-4,75	5,5	18,2	100,1	8609
Песчаные	1,01-1,5	4,51-4,75	4	0,5	2	172
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,76-5	5	20,7	103,5	8901
Песчаные	1,01-1,5	4,76-5	4	0,1	0,4	34
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	4,76-5	3,5	0,4	1,4	120
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	4,5	16,5	74,3	6390
Песчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	3,5	1,3	4,6	396
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	3	0,7	2,1	181
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	4	14,4	57,6	4954
Песчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	3	5	15	1290
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	2,5	0,4	1	86
Почвы не нуждающиеся в известковании				85,2	-	-
Сумма				180,7	466,8	40146

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тщательный отбор проб почвы, несмотря на свою трудоемкость, по сравнению с традиционными методами, предоставляет более точные и репрезентативные данные о кислотности почвы. Это открывает значительные экономические выгоды:

Оптимизированное применение извести: Тщательный отбор проб почвы позволяет точно определить потребность в известковании, экономя средства на ее приобретение и предотвращая чрезмерное известкование.

Повышенная урожайность: Точное применение извести создает оптимальные условия для роста растений, что приводит к увеличению урожайности и повышению прибыльности сельскохозяйственных культур.

Библиографические ссылки

1. Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 21 июля 2022 г. / Институт почвоведения и агрохимии, Белорусское общество почвоведов и агрохимиков; редкол.: Ю. К. Шашко [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. 360 с. ISBN 978-985-7149-83-4.

2. Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии: сб. науч. ст./ Вестник Москва, сер. 17, Почвоведение - А.Л. Киндеев. 2022 г., №2

3. Клебанович Н. В. Методы обследований земель: учеб. пособие / Н. В. Клебанович: – Минск: БГУ, 2011. – 208

4. Стохастическое моделирование кислотности почв Киндеев А.Л. – Минск, 2022.

5. Границы и причины изменчивости параметров кислотности почв лесных биогеоценозов среднего Поволжья: науч. ст./ Вестник ПГТУ. Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, И.И. Митякова, Н.Б. Нуреев. 2019 г., №1(41)

6. Клебанович Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. Мн.: БГУ, 2003. 322с. ISBN 985-445-947-0

ТИПОЛОГИЯ ГЕОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ)

Ю. С. Давидович

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, seg98001@gmail.com
Научный руководитель — А. Н. Червань, кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент*

Работа посвящена принципам и методике типологии и идентификации геосистем физико-географической провинции Белорусское Полесье на основе геоинформационного пространственного анализа структуры почвенного покрова. Геосистемы рассмотрены в качестве территориальных единиц по направлениям природопользования в соответствии с функциональными типами административных районов Беларуси. Проанализирована целесообразность использования материалов дистанционных съемок в определении состояния геосистем Белорусского Полесья.

Ключевые слова: геосистемы; Белорусское Полесье; геоинформационные технологии.

Рациональное природопользование является важнейшей проблемой не только территории физико-географической провинции Белорусское Полесье, но и Республики Беларусь в целом. Оперативное принятие управленческих решений в природопользовании требует наличия надежной и постоянно действующей системы регулирования землепользованием на основе ежегодных отчетов о состоянии земельных ресурсов. Решение данной проблемы на сегодняшний день активно реализуется с применением современных геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

Геосистемы являются основными носителями качественной и количественной информации о состоянии природных ресурсов в границах каждой почвенной комбинации, что позволяет говорить о них как об инвариантах почвенно-земельных ресурсов с качественными различиями устойчивости к процессам деградации земель [1, 2]. Неоднородность почвенного покрова выступает обратно пропорциональным критерием возможности снижения проявления деградационных процессов, например, зарастания древесно-кустарниковой растительностью или постмелиоративной деградации почвенно-земельных ресурсов.

Целью данного исследования является впервые выполняемая типология геосистем крупного региона – Белорусского Полесья в границах закономерно организованных почвенных комбинаций на основе автоматизированного геоинформационного анализа цифровых почвенных карт.

Исходными данными для инвентаризационных и оценочных работ геосистемного анализа регионального и районного уровня в Белорусском Полесье являются материалы локальных земельно-информационных систем, в частности тематические слои о почвенном покрове, а также разномасштабные планово-картографические сведения о физико-географических условиях региона.

В числе прочих в структуре базы данных в программной среде ГИС с использованием специализированного программного обеспечения для типологии геосистем учитывались следующие данные:

- информация почвенных карт (масштабов 1:50000 и 1:10000) районов и сельскохозяйственных организаций;
- материалы схем землеустройства районов, схем внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций (масштабов 1:50000 и 1:10000);
- материалы кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций;
- данные дистанционного зондирования Земли.

Данные мультиспектральной съемки в данной работе использованы для определения актуального состояния геосистем в аспекте направлений природопользования в соответствии с основным документом территориального планирования – Государственной схемой комплексной территориальной организации Республики Беларусь [3].

Признаки качественного состояния геосистем неразрывно связаны с критериями их пространственной идентификации. По общей динамике природных, в том числе почвообразующих, процессов, в структуре почвенного покрова (СПП) выделяется группа внепойменных (водораздельные пространства) и пойменных мезокомбинаций. Орографически водораздельные пространства делятся на водоразделы, характеризующиеся поверхностным водным стоком, и депрессии, аккумулирующие сток. Геоморфологические, гипсометрические и литологические условия дифференцируют геосистемы на более детальном уровне.

В соответствии с вышеизложенным разработан номенклатурный список всех геосистем, встречающихся на территории Белорусского Полесья, а также унифицированная система условных обозначений каждой из них. Общее количество геосистем по почвенным комбинациям с учетом всех

вариантов почвообразующих пород составляет 101, что описывает 68 % всех возможных вариантов в границах Беларуси. Каждая из них закодирована в домене базы данных ГИС и получила символическое представление, что позволяет автоматизировать процесс инвентаризации СПП региона и составление производных картографических материалов. В ГИС среде предусмотрен системный учет типа почвенной комбинации, долевого участия почв разного генезиса, гранулометрического состава, степени увлажнения и характера подстилки почвообразующих пород.

Сочетания групп элементарных почвенных ареалов, включающих особенности почвенных разновидностей и растительных ассоциаций, образуют хорошо различимые на мультиспектральных космических снимках и повторяющиеся в пространстве «узоры», отражающие комплекс физико-географических показателей, независимо от вида фактического использования земель.

В границах геосистем Белорусского Полесья в базе данных выполнен их геостатистический картометрический анализ. Получены основные картометрические показатели СПП – коэффициенты контрастности, расчлененности и неоднородности геосистем. Результаты расчета и группировки итогового коэффициента неоднородности приведены на рисунках 1 и 2.

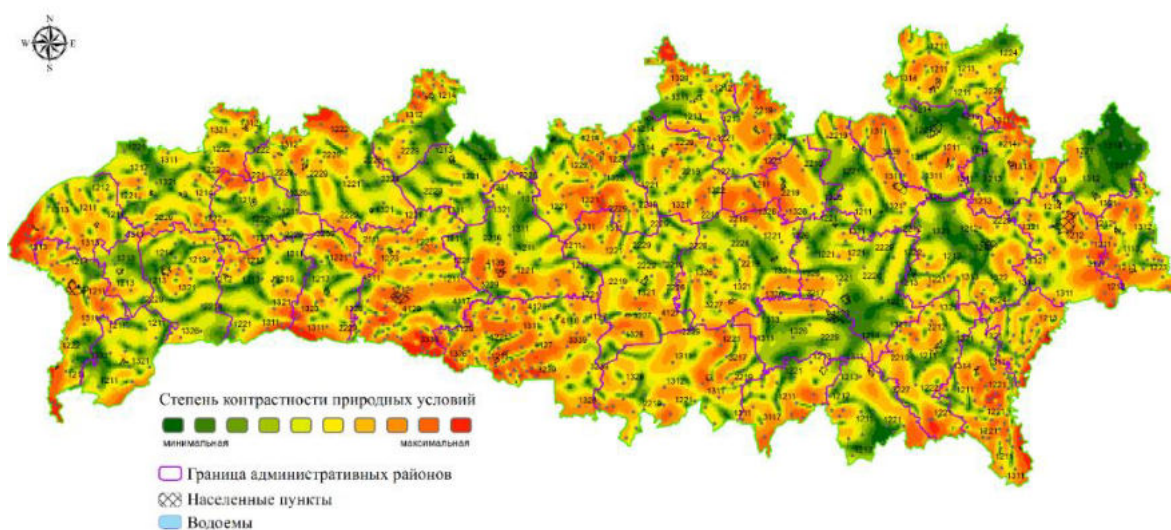


Рис. 1. Контрастность структуры почвенного покрова физико-географической провинции Белорусское Полесье

Таким образом, картометрический анализ материалов в границах геосистем позволяет объединить морфологический (пространственный) и генетический (функциональный) анализы природных условий в границах закономерно организованных геосистем.

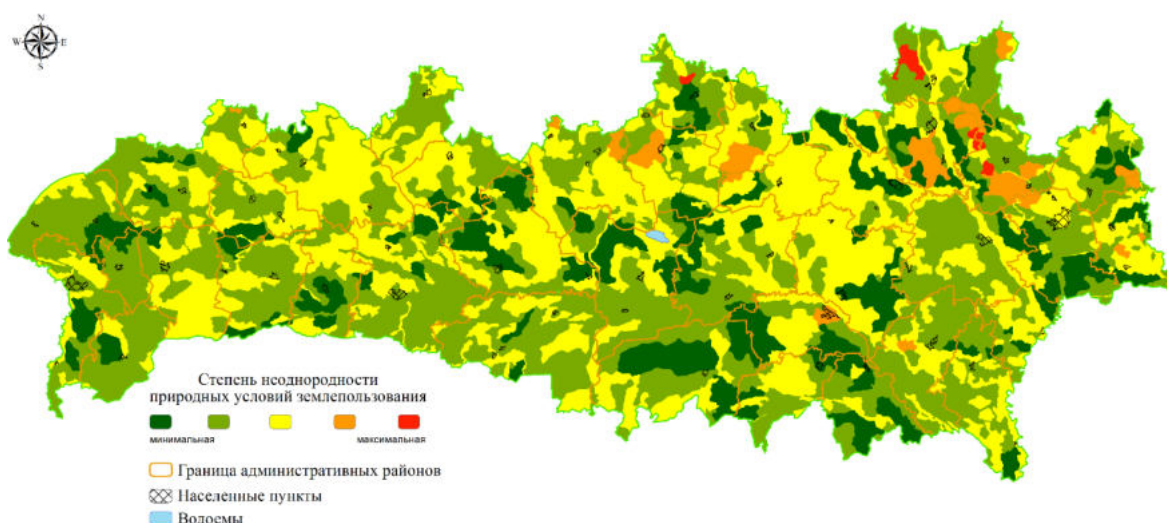


Рис. 2. Неоднородность структуры почвенного покрова физико-географической провинции Белорусское Полесье

В ходе идентификации пространственной структуры геосистем использованы параметры неоднородности почвенных комбинаций, учитывая полученные ранее закономерности взаимосвязи биоразнообразия и педоразнообразия [4] в связи с тем, что в перспективе направления природопользования могут предусматривать природоохранное и рекреационное использование [5]. Геосистемы выступают едиными территориальными (пространственными) системами, в которых взаимосвязано размещение сельскохозяйственных и лесных земель, поселений, транспортной сети и сохранившихся в естественном состоянии природных объектов.

Степень дешифрируемости данных дистанционного зондирования Земли рассчитана на основании формул каждой почвенной комбинации, системно учитывающих, в первую очередь, степень увлажнения и неоднородность СПП. Данные указывают на целесообразность первоочередного использования дистанционных методов оценки состояния геосистем в таких районах, как Ганцевичский, Ляховичский, Октябрьский и Столинский в связи с аграрным типом по функциональному зонированию в ГСКО и более 40 % хорошо дешифрируемых условий в соответствии с типологией геосистем. Особое место в таком аспекте имеют Брестский, Солигорский и особенно Пинский районы, так как территориальное планирование направлений землепользования на геосистемной основе необходимо для их многоцелевого функционирования и может быть обеспечено дистанционными методами оценки состояния геосистем – доля площади группы максимального дешифрирования превышает 30 %.

Геосистемный подход позволяет сформировать методологическую и пространственно-временную основу для объединения данных земельно-

информационной системы, дистанционного зондирования и мониторинга земель для целей территориального планирования, предусматривающего эффективное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды как в регионе Белорусского Полесья, так и для территории всей республики.

Библиографические ссылки

1. *Сочава В. В.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978.
2. *Коновалова Т. И.* Изменчивость геосистем // География и природные ресурсы. 2004. № 2. С. 5–11.
3. *Власюк Н. Н.* Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь. Основные направления и приоритеты развития // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 3–5.
4. *Chervan A.N., Kindeev A.L., Sazonov A.A.* Soil Cover Patterns and Pedo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. № 10. P.1348–1359.
5. *Sorokina N.P., Kozlov D.N.* Experience in digital mapping of soil cover patterns // Eurasian Soil Science. V.42. No 2. P.182–193.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПАРКА 50 - ЛЕТИЯ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

Ф. М. Марченко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, 2015marfed@gmail.com*

Научный руководитель – И. И. Счастливая, кандидат географических наук, доцент

В работе рассматривается экологическое состояние зелёных насаждений парка 50-летия Великого Октября, находящегося в Заводском районе г. Минска. Выполнены полевые исследования, проведена оценка и определена категория жизненного состояния насаждений по методике В. А. Алексеева. Результаты представлены обобщённой характеристикой состояния озелененной территории.

Ключевые слова: зелёные насаждения; озелененная территория; экологические состояние зелёных насаждений; категория жизненного состояния.

В течение последних 100 лет в мире происходит процесс глобальной урбанизации. В Беларуси также отмечается этот процесс. Однако, как и во всем мире, это приводит к возникновению ряда экологических проблем в городах. Огромное значение в разрешении этих проблем играют зеленые насаждения. Они активно влияют, как на здоровье населения, так и на качество жизни людей в городских поселениях. Соответственно, жизненное состояние зеленых насаждений в пределах озелененных территорий играют важную роль в функционировании городской среды.

Парк 50-летия Великого Октября – крупнейшая озеленённая территория Заводского района г. Минска, занимающая площадь в 71,74 га. Он расположен между тремя крупными промышленным производствами: тракторным заводом с севера, подшипниковым – с востока и моторным – с северо-востока.

Для выполнения оценки зелёных насаждений в парке в период с 03.02 по 06.02.2024 г. проведены полевые исследования и собрана информация о особенностях состояния деревьев по методике диагностики жизненного состояния древостоев В. А. Алексеева [1]. Диагностика деревьев по этой методике основывается на непосредственном наблюдении за компонентами состояния дерева и придания им весовых значений для последующей обработки.

Для обеспечения объективности исследования жизненного состояния насаждений была проведена выборка деревьев на восьми точках наблюдения, расположенных в разных частях парка (рис. 1). [2]. Всего обследовано 192 дерева сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

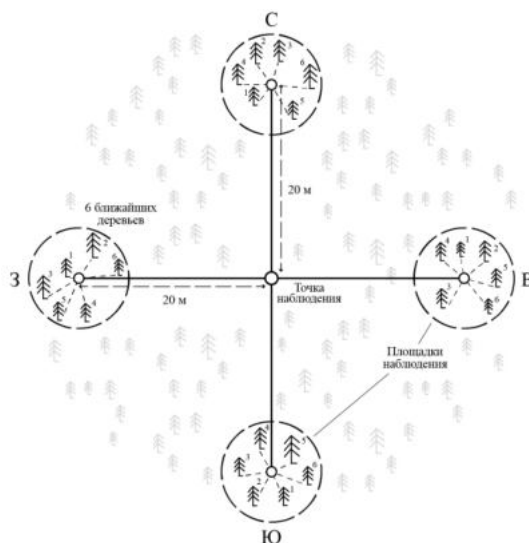


Рис. 1. Схема точек наблюдений

В соответствии с выбранной методикой жизненное состояние отдельных деревьев оценивается по шкале. По ней, в зависимости от экологического состояния насаждений, выделяется шесть категорий деревьев: 1 – здоровое дерево; 2 – ослабленное; 3 – сильно ослабленное; 4 – отмирающее; 5 и 6 – свежий и старый сухостой.

Из обследованных в парке 192 деревьев, 8 (4,17%) определены как здоровые, 108 (56,25%) ослабленные, 46 (23,96%) сильно ослабленные, 21 (10,94%) отмирающие. Присутствует небольшое количество сухостоя, учет которого в условиях городской среды является спорным моментом. Для проверки влияния этой характеристики на расчеты жизненного состояния древостоев проведено сравнение структуры показателей, выполненное с учетом сухостоя и без него. Результат расчетов показал, что большого значения этот фактор не имеет, пропорции показателей категорий жизненного состояния в целом сохраняются, хотя абсолютные величины несколько различаются.

Опираясь на полученные результаты, рассчитана средняя жизненность древостоя по точкам наблюдений и в парке в целом без учета сухостоя. Расчёт выполнен по формуле:

$$g = (d_1 * 1 + d_2 * 2 + d_3 * 3 + d_4 * 4) / n,$$

где g – средняя жизненность деревьев; d_1 – количество деревьев с первой категорией жизненности; d_2 – количество деревьев со второй категорией жизненности; d_3 – количество деревьев с третьей категорией жизненности; d_4 – количество деревьев с четвёртой категорией жизненности; n – количество деревьев.

Результаты расчетов показали, что средняя величина жизненного состояния древостоя равна 2,44 (ослабленное состояние древостоя), при колебании показателей от 2,13 до 2,88 (от ослабленного до сильно ослабленного).

Для рассмотрения особенностей жизненного состояния древостоя на территории парка, составлена схема, на которой отражены усредненные показатели на точках наблюдений и проведенными между ними псевдоизолиниями с промежутком в 0,10 категории жизненности (рис. 2).

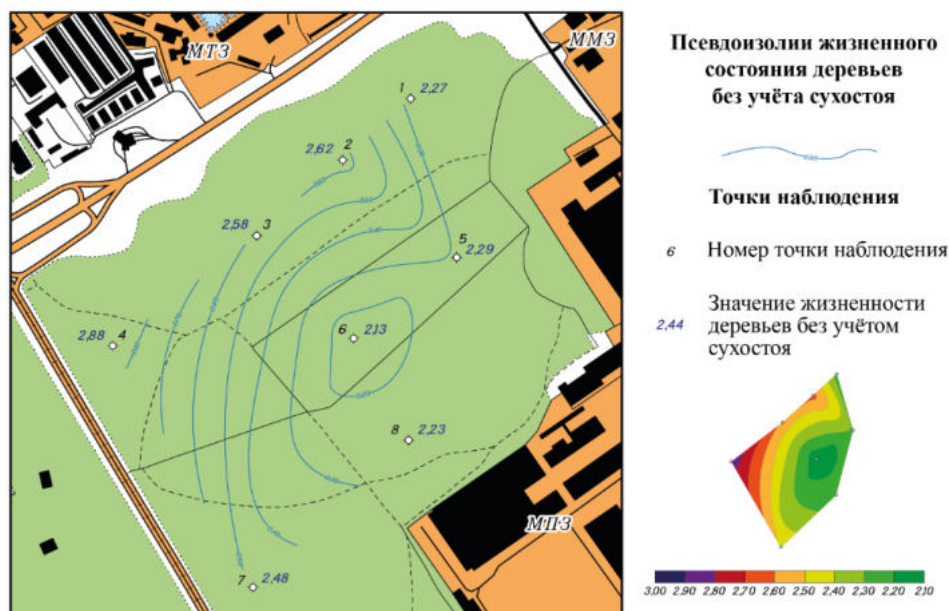


Рис. 2. Жизненное состояние деревьев в парке 50-летия Великого Октября

Наилучшее жизненное состояние деревьев (со средним показателем 2,13) отмечено в центре парка. Наименее благоприятное состояние (с показателями 2,62; 2,58, 2,88) наблюдается у насаждений, расположенных в непосредственной близости от Минского тракторного завода.

Таким образом, жизненное состояние деревьев в парке 50-летия Великого Октября в целом можно оценить как ослабленное, что обусловлено его непосредственной близостью к источникам сильного антропогенного воздействия.

Библиографические ссылки

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4 С. 51-57.
2. Боголюбов А.С., Буйволов Ю.А., Кравченко М.В. Оценка жизненного состояния леса по сосне. М.: «Экосистема», 1999. 12 с.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ БЕЛАРУСИ: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ, ФАКТОРЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ

А. М. Небышинец

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, arinanebyshinec@gmail.com
Научный руководитель – Ю. А. Гледко, кандидат географических наук, доцент*

Дано определение понятия климатической уязвимости, представлены методы оценки и классификация климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных индексов. Период наблюдений охватывает 1989-2022 гг. – период потепления климата. Рассмотрено распределение индекса климатической уязвимости по территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: климат; климатическая уязвимость; климатические индексы; температура; осадки; ветер.

В литературе применяется понятие «гидрометеорологическая уязвимость» страны (ГМУ), ее территорий и производственно-хозяйственных объектов. ГМУ является сложной функцией, аргументами которой выступают: характер и частота негативных погодно-климатических явлений; масштаб производственного объекта или процесса; его погодозависимость; степень защищенности; особенности регионального положения, отражающие метеорологический риск, и ряд других характеристик отраслевого производства. Таким образом, ГМУ рассматривается как комплексное понятие, включающее гидрометеорологические характеристики, а также макроэкономические показатели [4].

Оценки уровней уязвимости и устойчивости, это исследования, которые позволяют очертить потенциал конкретной территории справляться с изменением климата. Уязвимость оценивается как функция воздействия, чувствительности и способности к адаптации. В основу исследования положено определение индекса уязвимости (Vulnerability index). Это метрический параметр, характеризующий уязвимость системы. Индекс климатической уязвимости обычно выводится посредством сочетания (со взвешиванием или без) нескольких показателей, которые, как предполагается, представляют уязвимость [2].

Расчет индексов климатической уязвимости (V_i) выполнен согласно методике, представленной в работе [5] по формуле:

$$V_i = \frac{|T_{\min}| + |T_{\max}|}{|T_{\min \text{ ср.}}| + |T_{\max \text{ ср.}}|} + \frac{R_{\text{экстр}}}{R_{\text{ср}}} + \frac{F_{\text{экстр}}}{F_{\text{ср}}},$$

где $T_{\text{макс}}$ – максимальное значение из абсолютных максимумов температуры воздуха; $T_{\text{ср.макс}}$ – среднее годовое значение из абсолютных максимумов температуры воздуха; $T_{\text{мин}}$ – минимальное значение из абсолютных минимумов температуры воздуха; $T_{\text{ср.мин}}$ – среднее годовое значение из абсолютных минимумов температуры воздуха; $P_{\text{ср}}$ – средняя суточная сумма осадков; $P_{\text{экстр}}$ – максимальная сумма осадков за год; $F_{\text{ср}}$ – средняя годовая скорость ветра; $F_{\text{экстр}}$ – годовой максимум из месячных значений максимальной скорости.

Как видно, формула состоит из суммы безразмерных показателей и представляет соответственно, безразмерное число, которое предлагается считать индексом климатической уязвимости [3].

При написании работы осуществлялся сбор информации для получения данных о метеовеличинах, также использовались следующие методы: сравнительно-описательный; статистический – для анализа динамики температуры воздуха, осадков и скоростей ветра; математический – для подсчета статистических данных основных метеорологических параметров; картографический – на основе составления карт и аналитический.

Для расчета климатической уязвимости использовались данные гидрометеорологических наблюдений 42 станций [1]. Рассматриваемый период охватывает 1989-2022 гг. – период потепления климата. Были определены экстремумы температуры, осадков и ветра и их средние многолетние значения.

Разработана классификация индекса климатической уязвимости, которая включает четыре категории индекса от «низкий» до «критичный» (таблица). Показатели уязвимости, по которым была составлена данная классификация, были получены из суммы безразмерных показателей, которые представляют безразмерное число.

Классификация индекса климатической уязвимости

Показатель уязвимости	Индекс климатической уязвимости
49,1-56,0	Критичный
42,1-49,0	Высокий
35,1-42,0	Средний
30,0-35,0	Низкий

Для визуализации статистических данных построена карта распределения индекса климатической уязвимости по 42 метеостанциям для территории Беларуси. На рисунке представлены результаты расчета и классификации безразмерных индексов климатической уязвимости (V_i) по метеостанциям Беларуси за период 1989-2022 гг.



Распределение индекса климатической уязвимости по территории Беларуси за период 1989-2022 гг.

Анализируя карту, можно сделать вывод, что распределение индекса климатической уязвимости по территории страны неравномерно и характеризуется в большинстве случаев средним индексом климатической уязвимости. В основном низкие и средние показатели индекса приходятся на центральную, юго-западную и юго-восточную часть территории. Высокие показатели приходятся на север и юг страны, а критичные наблюдаются в районе Ивацевичей и Ганцевичей. Также можно отметить влияние рельефа, так как низкие и средние показатели характерны возвышенностям и равнинам – Прибугская равнина, Волковысская возвышенность, Новогрудская возвышенность, Минская возвышенность, Нарачано-Вилейская равнина, Витебская возвышенность, Бобруйская равнина, исключением является Оршанская возвышенность и Приднепровская низменность. Высокие и критичные показатели характерны низменностям – Полоцкая низменность, Полесская низменность. Высокие и критичные индексы климатической уязвимости в первую очередь связаны с режимом выпадения осадков, повышением суточных максимумов, на фоне незначительных изменений годовых сумм осадков.

Полученные значения индексов могут быть использованы при долгосрочном планировании мер адаптации к изменениям климата.

Библиографические ссылки

1. ГKK. (1961-2020 гг). Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свид-ва 0870100021. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

2. Гледко Ю. А., Небышинец А. М. Оценка климатической уязвимости как компонент планирования мер по адаптации к изменению климата // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2024. С. 107-112.

3. Данилович И.С. Оценка климатической уязвимости территории Беларуси на основе безразмерных климатических индексов / И.С. Данилович // Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение: материалы междунар. науч.-практич. конференции, посвященной 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск, 9–11 ноября 2022 г. / БГУ, Фак. географии и геоинформатики; [редкол.: Д. С. Воробьев (отв. ред.) и др.]. Минск: БГУ, 2022. С. 29-32.

4. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В.Ф. Логинов. Минск: ТетраСистемс, 2008. 496 с.

5. Оганесян В.В. Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов // Труды Гидрометцентра России. № 366. 2017. С. 158-165.

ОСОБЕННОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ HPHT И CVD АЛМАЗОВ

Е. С. Попова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, elizaveta.popova759@gmait.ru*

*Научный руководитель — В. П. Самодуров,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент*

В работе рассматриваются способы идентификации лабораторных алмазов от природных. Представлены результаты качественной оценки современных геммологических лабораторий. Обобщены и проанализированы процессы внутренней и внешней динамики алмазов.

Ключевые слова: CVD пленки; природные алмазы; дефект кристаллической структуры; HPHT алмаз; флуоресценция; спектроскопические свойства.

Цель данной работы – провести исследование и описание лабораторных HPHT и CVD алмазов, а также описать основные виды дефектов их кристаллической структуры и научиться отличать лабораторные алмазы от природных.

В промышленности синтез алмазов ведется следующими методами: CVD — процесс, в котором алмаз осаждают из пара; HPHT — образование камня происходит благодаря высокой температуре и давлению; синтез с подрывом взрывчатки, содержащей углерод.

Итогом применения данных исследований будет распознавание бриллиантов природных от лабораторных по основным признакам, получение результатов и разницы в огранке от крупных до мелких алмазов, выращенные методом HPHT, CVD или природным.

Коротковолновая ультрафиолетовая флуоресценция. Синтетические материалы HPHT синего и бесцветного диапазонов часто демонстрируют заметную светло-голубую флуоресценцию из-за примесей бора. Обработанные и природные голубые алмазы также часто демонстрировали голубую флуоресценцию, хотя обычно более слабую (природные алмазы также могут демонстрировать красную флуоресценцию. Среди других цветов синтетических бриллиантов HPHT большинство не обладали заметной флуоресценцией. Например, только один из образцов желтого или оранжевого цвета демонстрировал флуоресценцию (слабо-оранжевую).

Визуализация с помощью DiamondView. На протяжении последних двух десятилетий прибор для визуализации с помощью флуоресценции DiamondView был важным инструментом идентификации алмазов для крупных геммологических лабораторий. Конструкция держателя для образцов позволяет размещать алмазы и исследовать их в различных положе-

ниях, а реакции флуоресценции можно наблюдать в режиме реального времени. Очень короткая длина волны (~225 нм) и высокая интенсивность источника ультрафиолетового излучения создают флуоресценцию непосредственно под поверхностью граней, создавая отчетливую реакцию. Хотя большинство синтетических материалов НРНТ не реагируют на стандартный длинноволновый источник ультрафиолетового излучения, а многие из них инертны к коротковолновому ультрафиолетовому излучению, все алмазы, включая все синтетические материалы НРНТ, демонстрируют некоторую заметную реакцию на высокоинтенсивный источник ультрафиолетового излучения высокой энергии[1].

Различия в цветах и структуре УФ-флуоресценции служат основой для анализа DiamondView. Из-за уникальной среды роста синтетические материалы НРНТ демонстрируют отличительные реакции флуоресценции в режиме DiamondView.

Цвет флуоресценции. С помощью DiamondView можно наблюдать большое разнообразие цветов флуоресценции синтетических материалов НРНТ. Синтетические материалы НРНТ часто имеют более одного цвета флуоресценции (например, зеленый и зеленовато-голубой).

Бриллианты необычных цветов, как правило, демонстрируют контраст в цвете флуоресценции между различными плоскостями роста. Часто плоскости демонстрируют два различных цвета флуоресценции или комбинацию областей с флуоресценцией и без нее. Зеленая флуоресценция обусловлена дефектами, в то время как переход от оранжевой к красной флуоресценции происходит из центров. Происхождение других цветов флуоресценции менее изучено учеными. Сравнение этих цветов флуоресценции с другими известными спектральными характеристиками не выявило каких-либо убедительных корреляций[1].

При использовании бесцветной синтетики НРНТ контраст в цвете флуоресценции между участками роста гораздо более тонкий, и геммологу может быть трудно его обнаружить, даже поворачивая образец в режиме просмотра бриллиантов. В случае с бесцветными бриллиантами, в частности, геммолог должен быть особенно внимателен при поиске особенностей роста в DiamondView. Такое снижение цветового контраста обусловлено меньшим количеством дефектов и примесей, влияющих на цвет, в бесцветных бриллиантах по сравнению с синтетическими материалами НРНТ необычных цветов. Следовательно, различия в концентрации дефектов между участками роста, которые создают флуоресценцию, не будут столь очевидны.

Спектроскопические свойства. При таком ограниченном количестве визуальных геммологических свойств для диагностики (а именно, при от-

сутствии цветовой зональности или характерных включений, но при наличии необычных цветов флуоресценции и полосчатых деформаций) спектроскопические методы необходимы для обнаружения CVD в геммологической лаборатории. Эти методы позволяют быстро идентифицировать алмазы и, следовательно, как потенциальные CVD-синтетические материалы. (Почти бесцветные алмазы, которые представляют собой подавляющее большинство природных алмазов, все еще не могут быть получены методом CVD.) Во-вторых, среди образцов, идентифицированных как потенциальные CVD-синтетики, сочетание характеристик поглощения в видимом/ближнем инфракрасном диапазоне (Vis-NIR), инфракрасного поглощения с преобразованием (FTIR) и спектроскопии поможет в окончательной идентификации происхождения CVD. Поэтому идентификацию CVD-синтеза лучше всего проводить в геммологической лаборатории, которая ведет базу данных с информацией об известных природных, обработанных и синтетических алмазах и видит достаточное количество товаров, чтобы определить новые тенденции[1].

Таким образом, основными признаками распознавания бриллиантов, изготовленных из лабораторных алмазов, являются следующие: ультрафиолетовое свечение, особенности внутреннего строения (в частности, включений металла), спектр оптического поглощения, цветовая зональность. Поскольку металлические включения присутствуют не во всех кристаллах искусственного алмаза, то главные отличительные признаки их от природных алмазов связаны с количеством и состоянием примесных атомов в структуре и, в первую очередь, азота. Основное отличие природных алмазов от перекристаллизованных заключается в форме вхождения атомов азота в структуру алмазов, что и обуславливает их различие по некоторым физическим свойствам.

Кристаллы алмаза, полученные синтетическим путем, лучше поддаются процессу огранки, из чего следует, что даже самые маленькие кристаллы могут похвастаться безупречной огранкой. Также небольшие синтетические алмазы намного прочнее природных.

Библиографическиессылки

1. Gemological Institute of America [Electronic resource] / synthetic diamonds. – Mode of access: <https://www.gia.edu/gems-gemology>. Date of access: 21.03.2023.
2. Conditions of diamond formation through carbonate-silicate interaction / Yu. N. Pal'yanov [etc.] // Eur. J. Mineralogy. 2005. Vol. 17, № 2. P. 207–214.
3. The gemological properties of Russian gem-quality synthetic yellow diamonds / J. E. Shigley [etc.] // Gems & Gemology. 1993. Vol. 29, № 4. P. 228–248.

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЕВОГО РЕЖИМА РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

В. А. Тимошенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, dedshliagerzniasvizha@gmail.com
Научный руководитель — Д. Л. Иванов, профессор, доктор географических наук.*

Представлены результаты исследования изменения уровня реки Западная Двина в условиях потепления климата. Анализируются трансформации гидрологического цикла под влиянием климатических изменений и антропогенных факторов. Выявлено снижение пиковых уровней весеннего половодья, увеличение продолжительности летне-осенней межени и повышение зимних уровней воды.

Ключевые слова: уровень реки; Западная Двина; глобальное потепление.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десятилетий наблюдается тенденция к потеплению климата, что оказывает существенное воздействие на гидрологические процессы. В контексте территории Беларуси особый интерес представляет река Западная Двина, которая является одним из ключевых водотоков республики. Изменения в температурном режиме, осадках и снеготаянии приводят к изменению режима водосбора, распределению водных ресурсов и водного режима реки. Эти изменения могут иметь значительные последствия для экосистем, сельского хозяйства и водных ресурсов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения происходящих изменений уровня реки использовались обработанные многолетние данные гидрологических постов, находящихся в пределах Беларуси: Сураж (73111), Витебск (73115), Улла (73119), Полоцк (73122), Верхнедвинск (73131) [1,2]. Исходными данными для анализа изменений в уровне реки Западная Двина послужили ежегодные данные о суточном уровне воды в створе.

Для исследования был выбран временной промежуток с 1980 года по 2022 год, что обусловлено ежегодными положительными отклонениями среднегодовой температуры воздуха в Беларуси от нормы с 1989 года и началом глобального потепления.

Для исследования изменений уровня реки был проведён анализ следующих периодов водного режима: весеннее половодье, летне-осенняя межень, зимняя межень. Анализ производился по ежегодным гидрографам выбранных постов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Весеннее половодье. Выявлена общая тенденция смещения начала половодья с последней декады марта на первую. Средняя дата наступления периода половодья за период 1980–1989 гг. (период до потепления) – 23 марта, за период 1990–1999 гг. – 14 марта, 2000–2009 – 20 марта, 2010–2019 – 12 марта, 2020–2022 – 2 марта; средняя дата наступления половодья за период потепления – 10 марта.

Отмечается практически одновременное начало половодья на протяжении всей реки в пределах Беларуси. Ранние даты начала подъема, за период 1980–1989 гг., отличаются от средних на 24 дня, а за 1990–2022 на 14 дней; поздние, за 1980–1989 гг., – 10 дней, за 1990–2022 гг. – 17 дней. Средняя разница дат наступления половодья между постом Сураж и Верхнедвинск, за период до потепления составляет 5 суток, а за период изменения климата – 3 суток.



Рис. 1. Даты начала и окончания половодья за период 1980–2022 гг. [3]

Среднее окончание половодья сместилось на более ранние даты: с последней декады мая на вторую в верхнем течении (по данным поста Сураж), и со второй декады июня на первую в нижнем течении (по данным поста Верхнедвинск). Однако, в последние пять лет конец половодья

наблюдается во второй и третьей декадах мая на всей исследуемой протяжённости реки. В некоторые годы наблюдалась значительная разница между датами конца половодья. Так, в 1994 году, разница между постами Сураж и Верхнедвинск составила 21 день, а в 2005 году – 51 день.

В результате смещения начала и окончания половодья на более ранние сроки, происходит общее увеличение продолжительности половодья. В верхнем течении (по данным поста Сураж) рост продолжительности происходит интенсивнее, чем в нижнем (по данным поста Верхнедвинск).

За период 1980–1989 гг. средняя продолжительность половодья в створе поста Сураж составила 65 дней, а за период 2010–2019 гг. – 73 дня; для поста Верхнедвинск, за 1980–1989 гг. – 76 дней, за 2010–2019 гг. – 84 дня.

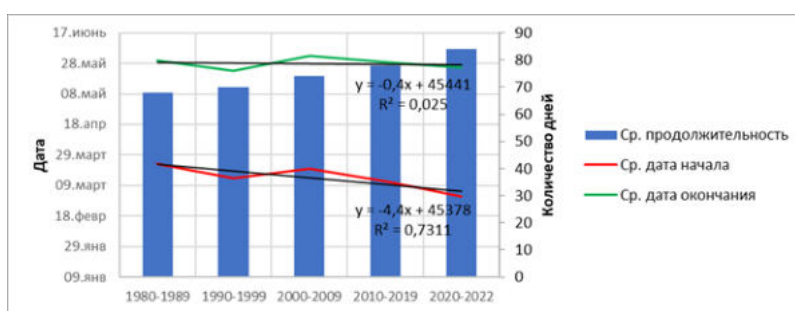


Рис. 2. Усреднённые за десятилетний период даты начала и окончания половодья, его продолжительность [3]

Причиной смещения дат начала половодья и его продолжительности служит увеличение повторяемости зимних оттепелей, что является результатом потепления климата. Введение в эксплуатацию Витебской ГЭС в 2017 году также сыграло роль в увеличении продолжительности половодья.

Для Западной Двины, в целом, наивысшие уровни весеннего половодья наблюдаются в первой половине апреля. В отдельные годы максимальный уровень наблюдался в первой половине марта. Поздние даты пика половодья приходятся на конец апреля – начало мая. Увеличение продолжительности половодья, в сумме с работой Витебской и Полоцкой ГЭС с 2017 года, привело к смещению дат пика половодья, в среднем, на одну декаду. Это уже начинает наблюдаться на посту Витебск, а далее вниз по течению, это смещение только увеличивается. После поста Полоцк значение уменьшается, что подтверждает влияние ГЭС.

Начиная с 1994 года, происходит рост амплитуды дат пика половодья. Так, средняя разница между самой ранней и самой поздней датой пика по всем постам, за период 1980–1989 гг., составила 48 дней, за период 1990–

1999 гг. – 50 дней, 2000–2009 гг. – 56 дней, 2010–2019 гг. – 69 дней, 2020–2022 гг. – 33 дня.

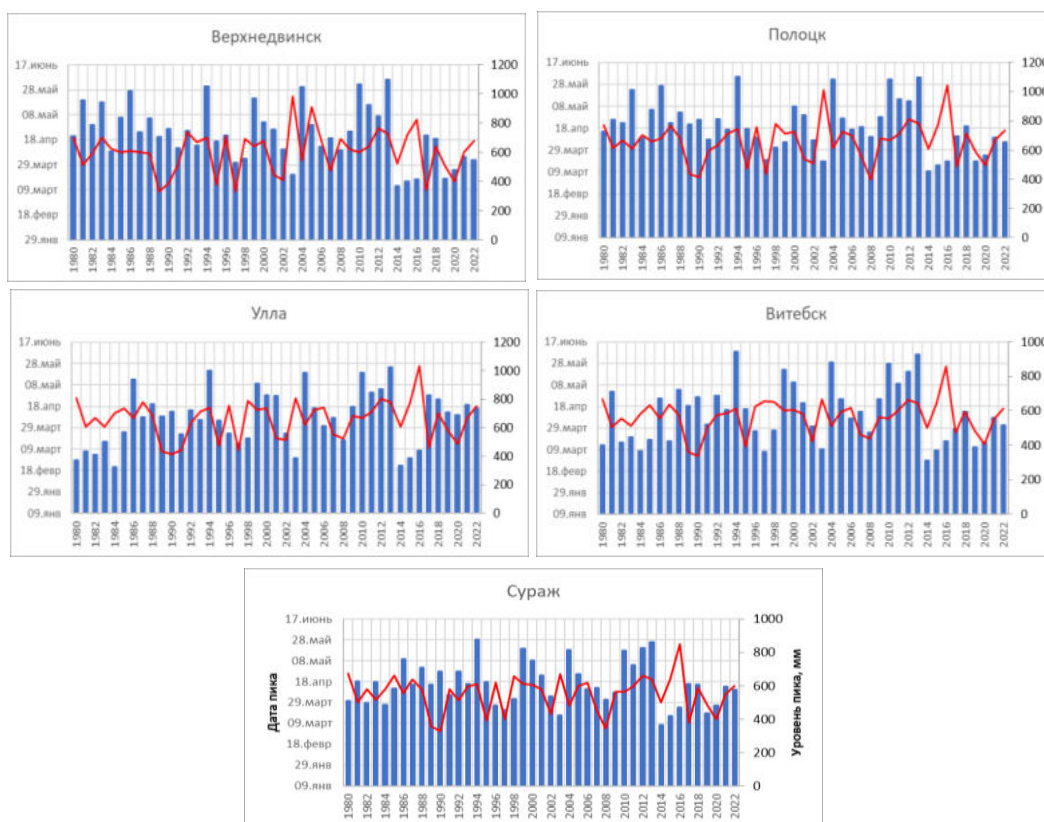


Рис. 3. Даты и уровни пика половодья за период 1980–2022 гг. [3]

Ещё одним результатом увеличения продолжительности весеннего половодья является снижение уровня пика. Наибольшая динамика снижения уровня пика, в пределах Беларуси, наблюдается в нижнем течении в створе поста Верхнедвинск, что демонстрирует общую картину для всей вышележащей части водосбора. Тенденция к снижению пика объясняется участвовавшими зимними оттепелями, приводящих к снижению среднего уровня половодья в целом за счёт перераспределения части талых вод на более ранние даты.

Летне-осенняя межень. В последние годы характерной чертой климата в регионе являются засухи и засушливые условия в атмосфере, почве, водных системах, от которых ежегодно страдает значительная часть населения европейского региона. Повторяемость сильных засух в период 1948–1988 гг. и 1958–1988 гг. с мая по сентябрь отмечалась в 20–43% лет, в период потепления в 31–62% лет. Экстремальные засухи отмечались в период

1948-1988 и 1958-1988 гг. в 7-23% лет, в период потепления климата экстремальные метеорологические засухи отмечены в 14-31% лет периода потепления [2].

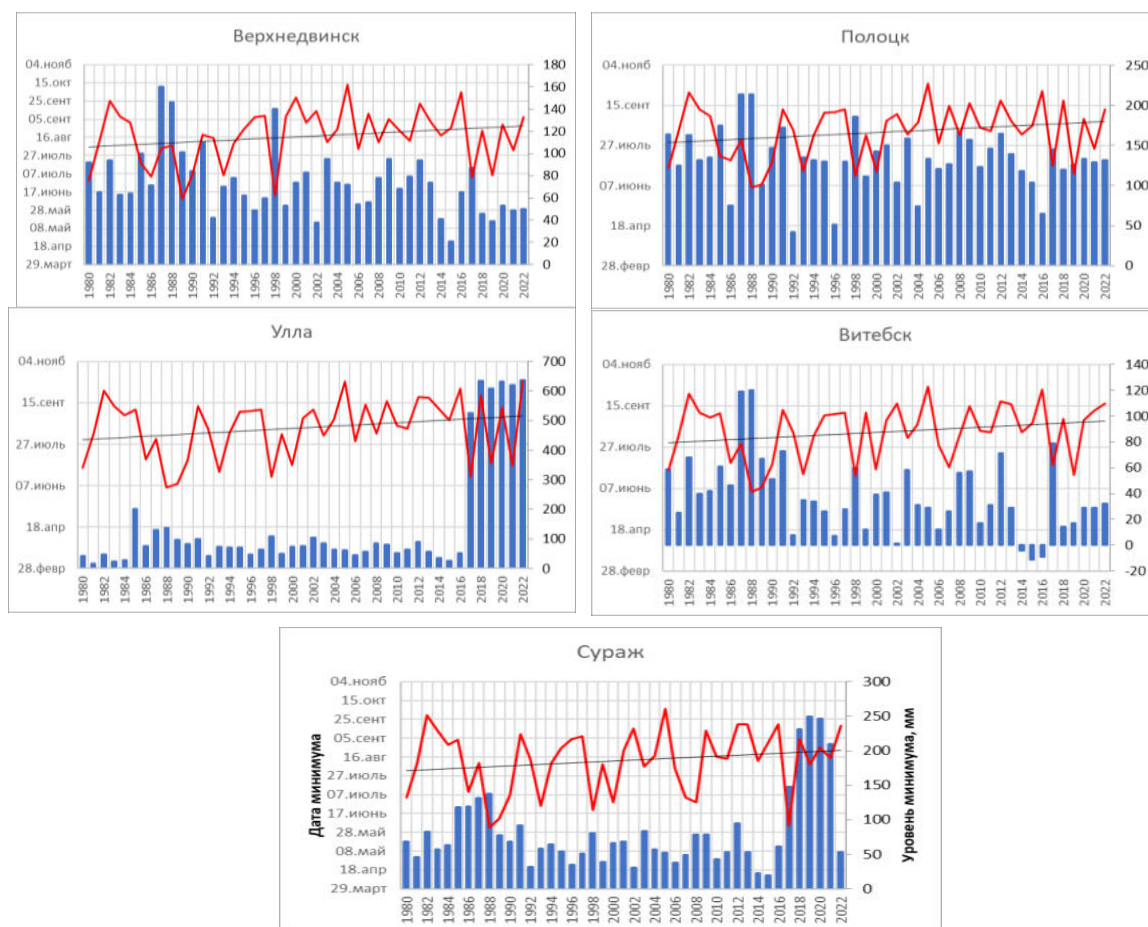


Рис. 4. Минимальный уровень летне-осенней межени и его даты за период 1980-2022 гг. [1]

Увеличение количества засух и смещения конца половодья на более ранние сроки повлияло на летне-осеннюю межень реки Западная Двина. Так, средняя продолжительность межени для периода до потепления составляла 136 дней, за период 1990-1999 гг. – 135 дней, 2000-2009 гг. – 138 дней, 2010-2019 гг. – 143 дня, 2020-2022 гг. – 149 дней.

Итогом увеличения продолжительности летне-осенней межени является смещение средних дат минимального уровня на более поздние сроки - с первой декады августа на третью. Средняя дата минимального уровня летне-осенней межени за 1980-1989 гг. – 1 августа, 1990-1999 гг. – 8 августа, 2000-2009 гг. – 20 августа, 2010-2019 гг. – 21 августа, 2020-2022 гг. – 28 августа.

Ещё одним результатом роста количества засух стало уменьшение минимального уровня воды в реке за время летне-осенней межени. Стоит отметить, что из-за работы Витебской и Полоцкой ГЭС, на постах Сураж и Улла с 2017 года, отмечается стабильный уровень воды на протяжении всего года.

Средний минимальный уровень межени (без учёта Суража и Уллы) за 1980-1989 гг. – 103 мм, 1990-1999 гг. – 78 мм, 2000-2009 гг. – 80 мм, 2010-2019 гг. – 70 мм, 2020-2022 гг. – 69 мм.

Зимняя межень. Современное потепление климата привело к тому, что зимы стали более тёплыми, начало их сместилось на более ранние сроки, участились оттепели, нередко наблюдается выпадение осадков в виде дождя, значительно превышающих норму, отмечается повышенная увлажненность предшествующего осеннего сезона.

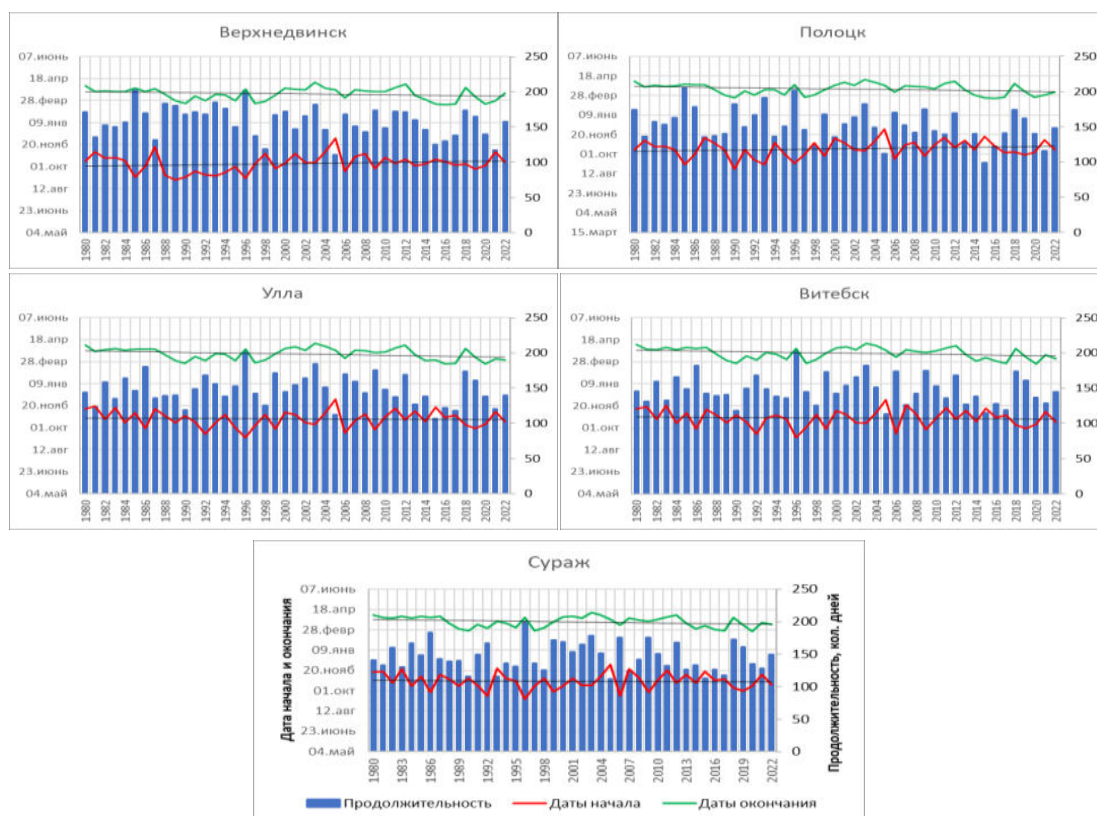


Рис. 5. Продолжительность, даты начала и окончания зимней межени за период 1980-2022 гг. [3]

Смещение дат начала половодья на более ранние сроки, а окончания летне-осенней межени на более поздние, привело к уменьшению продолжительности зимней межени. В период 1980-1989 гг. средняя дата начала зимней межени приходилась на 22 октября, 1990-1999 гг. – 15 октября, 2000-2009 гг. – 23 октября, 2010-2019 гг. – 23 октября, 2020-2022 гг. – 20

октября. Средняя дата окончания зимней межени за 1980-1989 гг. – 25 марта, 1990-1999 гг. – 19 марта, 2000-2009 гг. – 23 марта, 2010-2019 гг. – 12 марта, 2020-2022 гг. – 3 марта.

Таким образом, в средних датах начала зимнего половодья значительных изменений не отмечается, а средние даты окончания сместились на более ранние сроки - с последней декады марта на первую.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования изменений уровневого режима реки Западная Двина за период потепления климата выявлены значительные трансформации в гидрологическом цикле. Основные изменения касаются весеннего половодья, где наблюдается снижение пиковых уровней и плавный подъём уровня воды вследствие учащённых зимних оттепелей. Летне-осенняя межень демонстрирует увеличение продолжительности периода на фоне смещения дат окончания весеннего половодья, с одновременным снижением минимального уровня воды из-за частых засух. Зимняя межень также изменяется, характеризуясь повышенными уровнями воды в результате перераспределения талых вод.

Дополнительно отмечены антропогенные воздействия на уровень режим реки, связанные с деятельностью гидроэлектростанций, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний уровня воды.

Таким образом, динамика уровневого режима Зап. Двины отражает как климатические изменения, так и влияние техногенной деятельности.

Библиографические ссылки

1. *Иванов Д.Л.* Состояние системы контроля качества поверхностных вод в Республике Беларусь / Д.Л. Иванов // Материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых «Молодежь и инновации – 2020», посвящ. 180-летию УО БГСХА: в 2 ч. Ч. 2 / редкол.: В.В. Великанов (гл. ред.) [и др.]. Горки, БГСХА, 2021. С.86-91.
2. *Иванов Д.Л., Ивашко Е.А.* Сеть мониторинга поверхностных вод бассейна Днепра в системе контроля качества вод в Республике Беларусь / Д.Л. Иванов, Е.А. Ивашко // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды. Материалы VI Междунар. науч.-практич. конф. (Гомель, 2–3 июня 2022 года) - Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. С. 47-50
3. Архивные данные Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Республики Беларусь.
4. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси/*Лопух П.С., Пармасёнок И.С.* Минск: БГУ, 2013. 224 с.

ЗНАЧЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. В. Чарковский

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, geo.charkovs@bsu.by
Научный руководитель — Л. О. Сушкевич, кандидат географических наук*

В статье рассматривается значение возобновляемой энергетики в обеспечении энергетической и экономической безопасности Республики Беларусь. Проанализированы динамика и структура производства электроэнергии за счет использования возобновляемых энергоресурсов в стране. Сделан вывод о дальнейшем развитии возобновляемых источников энергии, отмечены ключевые факторы, замедляющие переход к возобновляемым источникам энергии и приведены прогнозируемые значения показателей использования ВИЭ в контексте национальной энергетической стратегии.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика; энергетическая безопасность; экономическая безопасность; традиционные источники энергии; производство электроэнергии.

Энергетическая безопасность является одной из ключевых составляющих национальной безопасности любого государства. Для Республики Беларусь, обладающей ограниченными запасами ископаемых энергоресурсов, вопрос обеспечения надежного и устойчивого энергоснабжения приобретает особую значимость. В условиях глобальных экономических и политических изменений, а также увеличения зависимости от импортных источников энергии, поиск альтернативных путей обеспечения энергетической безопасности становится все более актуальным.

Возобновляемая энергетика представляет собой динамично развивающуюся сферу энергетики: на глобальном уровне за последние 20 лет производство электроэнергии из возобновляемых энергоресурсов в мире увеличилось с 19 до 29 % [4]. Значение возобновляемых энергоресурсов в глобальном энергетическом секторе видится важным, в первую очередь, как альтернативный ресурс для снижения зависимости от традиционных ископаемых топливно-энергетических ресурсов, таких как уголь, нефть и природный газ, а также цен на них.

В Республике Беларусь темпы развития возобновляемой энергетики отстают от мировых тенденций: с 2005 по 2020 годы на 3,3 п.п. (рис. 1). Прирост производства электроэнергии из возобновляемых источников составил всего лишь 0,7 ТВт·ч, что существенно меньше прироста потребления электроэнергии в стране, который за тот же период составил 5,3 ТВт·ч

[2]. Это связано с тем, что Республика Беларусь имеет развитую сеть традиционных источников энергии, в первую очередь тепловых электростанций, а также с 2020 года в энергетическом комплексе страны функционирует атомная электростанция. Эта зависимость от дешёвых традиционных источников замедляет переход к возобновляемым источникам энергии.

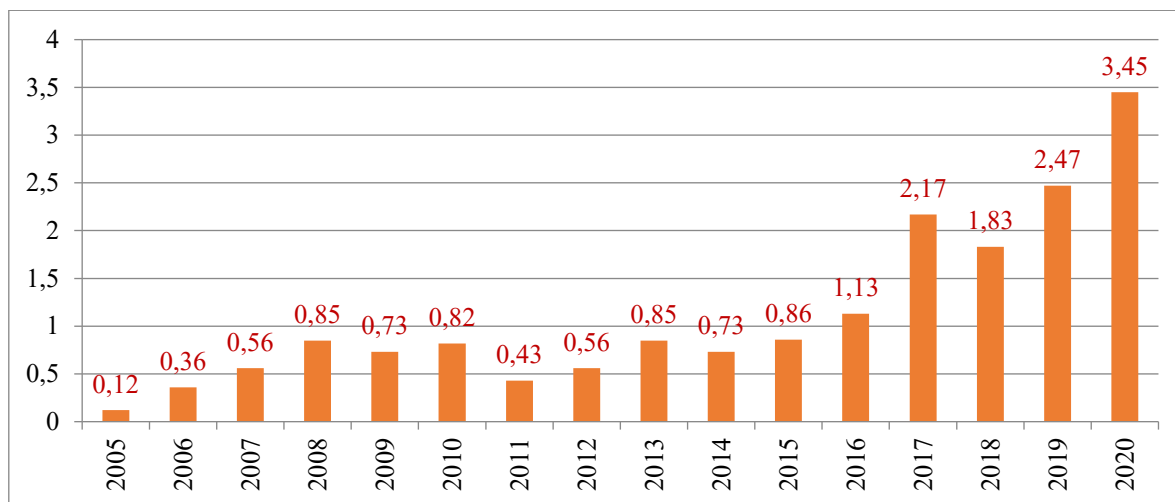


Рис. 1. Динамика удельного веса ВИЭ в структуре производства электроэнергии в Республике Беларусь, %, 2005–2020 гг.

Составлено по: [3]

В тоже время как видно из структуры валового производства электрической энергии по источникам энергии в Республике Беларусь в 2022 году основная доля производства приходится на газ и нефть (рис. 2). От их импорта в значительной степени зависит вся энергетика страны, что является значительной угрозой энергетической безопасности и так же является значительной статьей расходов государства. В 2019 году общий импорт энергии составил 9,9 млрд долл. США, в то время как чистый импорт энергии составил 3,6 млрд долл. США. Относительно чистый импорт энергии составляет примерно 5,5% ВВП страны, что значительно влияет на ее внешнеторговый дефицит. Таким образом, использование местных источников энергии критически важно для снижения внешнеторгового дефицита страны и её расходов на импорт энергии.

В связи с этим ускоренное внедрение возобновляемой энергетики становится крайне важным фактором для достижения установленных целей: в Беларуси утвержден ряд целевых индикаторов, направленных на укрепление энергетической безопасности, которые отражены в ключевом стратегическом документе по энергетической политике «Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь» [1]. Среди этих индикаторов находится индикатор «Отношение объема производства (добычи) первич-

ной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР». Концепция энергетической безопасности страны предусматривает нормативы для использования возобновляемых источников энергии, и критическое значение этого показателя установлено на уровне 5%, а нормальное – на уровне 14%. По состоянию на начало 2022 года этот показатель достиг 7,8 %, что уже превысило прогнозный показатель 2025 г. в 7 %.

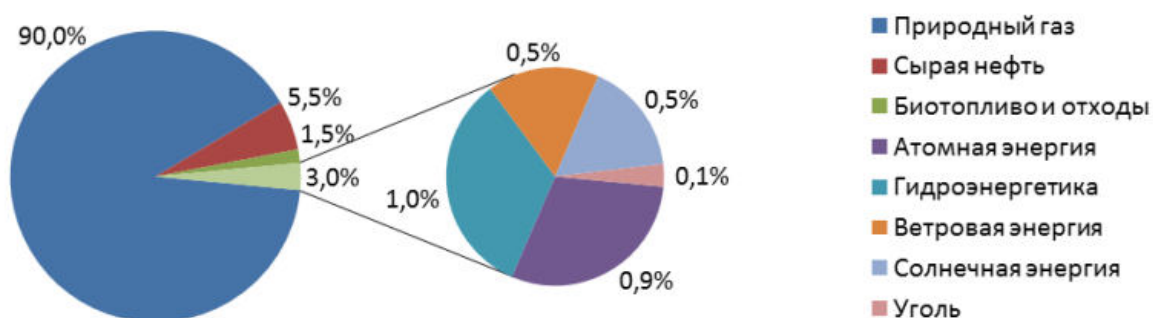


Рис. 2. Структура потребления топливно-энергетических ресурсов
Республике Беларусь, 2022 г.
Составлено по: [3]

Исходя из прогнозируемых значений данного индикатора и тех, что уже были достигнуты (табл. 1) можно сказать, что с 2010 по 2020 год произошел значительный рост доли производства энергии из возобновляемых источников. Это свидетельствует о постепенном сдвиге к чистой энергетике и эффективности принятых мер для её развития, что может указывать на успешную реализацию стратегии по развитию возобновляемых источников энергии. Однако отметим, что согласно предложенным в Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь пороговым уровням индикатора «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР» в настоящий момент значение данного индикатора находится на предкритическом уровне.

Таблица 4.1 – Прогнозируемые и достигнутые значения индикатора «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР» энергетической безопасности Республики Беларусь (составлено автором по [1])

Несмотря на то, что потенциал ВИЭ в настоящее время используется не в полном объеме, энергоустановки, работающие на ВИЭ, широко представлены в Беларуси и представляют собой эффективный способ снижения зависимости от импорта энергии, уменьшения уязвимости перед колебаниями цен на импортную энергию и стимулирования собственного производ-

ства энергии. Это могло бы увеличить безопасность энергетического сектора страны и способствовать созданию экономически стабильной и экологически устойчивой энергетической отрасли. Основные причины необходимости развития данного направления – это обеспечение энергетической экономической безопасности Республики Беларусь, а так же улучшение экологической обстановки и уменьшения уязвимости перед колебаниями цен на импортную энергию и стимулирование собственного производства энергии. Еще одним важным преимуществом развития возобновляемой энергетики является то, что ВИЭ может выступать в качестве источника энергии в моменты пиковых годовых нагрузок на сеть, что является существенным способом повысить надежность энергосистемы страны. Неочевидным фактором является повышение инвестиционной привлекательности страны для международных организация и частных инвесторов, т.к. развитие ВИЭ привлекает инвестиции как в энергетику так и в смежные отрасли экономики.

Прогнозируемые и достигнутые значения индикатора «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР» энергетической безопасности Республики Беларусь

Наименование индикатора		Значения индикаторов по годам					
		2010	2015	2020	2025	2030	2035
Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР, процентов	Прогнозируемые значения	5	5	6	7	8	9
	Пороговые уровни: критический (5%), нормальный (14%).	Критический	Критический	Предкритический	Предкритический	Предкритический	Предкритический
	Достигнутые значения	5,4	5,6	7,8	-	-	-

Таким образом, возобновляемая энергетика представляет собой критически важный элемент для обеспечения энергетической и экономической безопасности Республики Беларусь. В последние годы темпы разви-

тия возобновляемых источников энергии в стране отстает от мировых тенденций, но обладает собственными особенностями такими как: устойчивый рост производства электроэнергии, диверсификация производственной структуры, территориальная децентрация установленных мощностей ВИЭ. При дальнейшем устойчивом росте ВИЭ сможет снизить зависимость от импортируемых энергоресурсов, способствовать экономическому росту за счет увеличения ВВП и создания новых рабочих мест, а также улучшить экологическую обстановку, уменьшая выбросы парниковых газов в Республике Беларусь. Все это является свидетельством того, что ускорение внедрения технологий возобновляемой энергетики и повышение энергоэффективности являются ключевыми шагами на пути к устойчивому развитию и энергетической независимости страны.

Библиографические ссылки

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь: утв. пост. Совета Министров Республики Беларусь 23.12.2015 № 1084. Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21501084> (дата обращения: 04.03.2024)/
2. Жигальская, Л. О. Альтернативная электроэнергетика в Республике Беларусь: сдвиги во времени и пространстве [Электронный ресурс]. URL: <http://37.18.92.27/web-local/fak/rj/index.php?id=25&mod=rubric&mm=37> (дата обращения: 02.04.2024).
3. Энергетика [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sektorekonomiki/energeticheskaya-statistika/> (дата обращения: 04.03.2024).
4. Energy Statistics Data Browser [Electronic resource] URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. (date of access: 10.02.2024).

СЕНЬОР-ТУРИЗМ В ЕВРОПЕ: ГЕОГРАФИЯ И ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ

И. А. Шалковская¹⁾, А. С. Ярмула²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, innashalkovskay@gmail.com

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, nasyadubya@gmail.com

Научный руководитель – Е. А. Антипова, доктор географических наук, профессор

В статье проведен экономико-географический анализ нового вида туризма, являющегося следствием глобального процесса старения, туризма сеньоров, на примере Европейского региона. Проанализирована численность и доля туристов в структуре населения ЕС; туристские ночевки в странах ЕС; рассмотрены и проанализированы цели туризма сеньоров, а также их причины отказа от туризма. Изучены лучшие международные практики сеньор-туризма. Выявлено, что туризм сеньоров является закономерным и необратимым процессом в развитии туристской индустрии.

Ключевые слова: сеньор-туризм; туризм пожилого населения; демографическое старение; туристы в возрасте 65+ лет; туристские ночевки; причины отказа от туризма.

В последние десятилетия туризм стал неотъемлемой частью современной жизни во многих странах мира. Индустрия туризма занимает все более важное место в социальных критериях и приоритетах качества жизни. Эта тенденция проявляется и в возрастающем участии пожилых европейцев в туристической деятельности. На сегодняшний день миллионы пожилых людей в Европе активно путешествуют, что приобрело массовый и глобальный характер. В связи с этим целью исследования является изучение географических и структурных особенностей сеньор-туризма в Европе в условиях глобального демографического старения, а также анализ международных практик в области сеньор-туризма. Объектом исследования являются страны Европы в контексте международного туризма в условиях глобального демографического старения. Предметом исследования выступили пространственно-временные тенденции туризма сеньоров. Методы, используемые в работе: литературный, метод контент-анализа, статистическо-математический, сравнительно-географический метод и ГИС-технологии.

Под сеньор-туризмом нами понимается туристическое путешествие, совершаемое населением в возрасте 65+ лет (в зависимости от национальных оценок возраста пожилого населения) за пределы их постоянного места жительства в свободное время с любой целью, за

исключением трудоустройства и смены места жительства. Рассматриваемый вид туризма является частью более крупных форм современного международного туризма (туризма для всех, социального туризма, доступного туризма, инклюзивного туризма и пр.) [1].

В данном исследовании нами проанализированы такие показатели, как количество туристов в странах ЕС возрасте 65+ лет; доля туристов от общей численности населения стран ЕС; доля от населения в возрасте 65+ лет в структуре туризма Европы; доля от туристов в возрасте 65+ лет в структуре туризма Европы; доля населения ЕС, не занимающегося туризмом в возрасте 65+ лет; доля различных целей в общем количестве личных поездок жителей Европы в возрасте 65+ лет; доля нетуристов в странах Европы; причины отказа от туризма в странах Европы населением в возрасте 65+ лет.

Анализируя структуру стран ЕС по доле туристов в возрасте 65+ лет, можно отметить, что в изучаемом регионе в период 2013-2023 гг. наблюдается положительная динамика количества туристов (более 40 млн. чел. в 2023 г.) (таблица 1). 20 стран региона, что составляет 69,0 % от общего количества стран ЕС, имеют низкий уровень количества туристов (менее 1 млн. чел). 13,8 % (4 страны) имеют средний уровень численности туристов в возрасте 65+ лет (1 млн. чел. – 2 млн. чел.), 17,2 % (5 стран) имеют высокий уровень количества туристов в возрасте 65+ лет (более 2 млн. чел.). Страны с высоким уровнем экономического развития, такие как, Германия, Франция, Нидерланды, Италия, Испания, притягивают к себе большое количество пожилых туристов. Это можно объяснить тем, что в высокоразвитых странах Европы уделяется большое внимание пожилым туристам, разрабатываются туристские программы и маршруты, что как магнит тянет сеньор-туристов. Страны с переходной экономикой, соответственно, принимают меньшее количество пожилых туристов (Румыния, Словакия, Словения).

Таблица 1

Выборочные показатели оценки сеньор-туризма Европы

№	Показатель	Годы	
		2013	2013
1	Туристы в странах ЕС возрасте 65+ лет , чел.		
	Доля от общей численности туристов стран ЕС, %	37 188 209	40 828 360
		7,4	9,1

Анализируя долю населения в возрасте 65+ лет в структуре туристов Европы, можно отметить, что средний показатель по странам ЕС равен 23,9 %, что практически составляет 1/4 часть от всех туристов, которые посе-

щают данный регион (таблица 2). Высокими показателями отличается Болгария (24,9 %), Греция (25,7 %), Италия (26,4 %), Португалию (25,3 %). Эти страны могут привлекать пожилых туристов своими природными достопримечательностями, богатым культурным наследием или средиземноморским климатом. Некоторые страны имеют долю пожилого населения в структуре туризма ниже среднего значения. Например, Ирландия (17,7 %), Люксембург (17,1 %), Северная Македония (16,8 %) и Словакия (19,0 %). Северная Македония имеет ограниченную доступность и менее развитую туристическую инфраструктуру для пожилых людей.

Таблица 2

Выборочные показатели оценки сеньор-туризма Европы

№	Показатель	2019 г.
1	Доля населения в возрасте 65+ лет в структуре туризма Европы, %	23,9
2	Доля туристов в возрасте 65+ лет в структуре туризма Европы, %	18,1
3	Доля населения ЕС, не занимающегося туризмом в возрасте 65+ лет, %	51,1

Отсутствие подходящих и адаптированных мест размещения, транспортных средств или недостаток доступных услуг и удобств для пожилых туристов становятся серьёзным препятствием для привлечения туристов изучаемой возрастной группы. Туристическое предложение Ирландии ориентировано на другие возрастные группы туристов. Невысокие финансовые возможности у пожилых туристов могут ограничивать их способность путешествовать и посещать Люксембург.

Анализируя долю туристов в возрасте 65+ лет в структуре населения Европы, можно отметить несколько иную ситуацию. Средний показатель доли от туристов в возрасте 65+ лет в структуре населения Европы за 2019 г. составил 18,1 % (таблица 2). Низкий уровень (менее 10 %) доли от туристов в возрасте 65+ лет имеют такие страны, как Болгария, Литва, Северная Македония. Самая высокая доля туристов в возрасте 65+ лет наблюдаются в Швеции (24,3%), Финляндии (20,4%), Германии (20,2%) и Дании (20,2%) (рисунок 3.1.4). Эти страны имеют относительно высокую долю пожилого населения, которое также активно путешествует.

Некоторые страны, такие как Болгария (8,0 %) и Литва (9,2 %), имеют относительно низкую долю туристов в возрасте 65+ лет в структуре населения. Это может быть связано с предпочтениями пожилых людей в отношении путешествий, доступностью транспортной инфраструктуры или другими факторами. Уровень жизни в данных странах недостаточно высок, туристская инфраструктура не всегда адаптирована для пожилых туристов.

Важным показателем анализа туризма сеньоров являются *цели путешествий*. Отдых является наиболее популярной целью для туризма сеньоров, доля данной цели составляет 52 % (рисунок 1). Туризм предоставляет сеньорам возможность выйти из повседневной рутины, расслабиться и получить заряд новой энергии и бодрости.

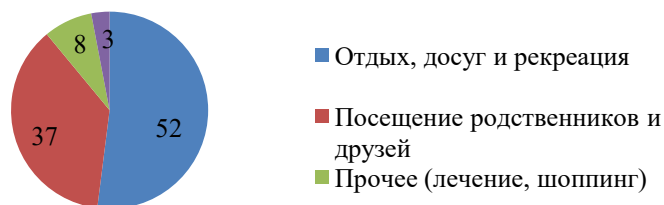


Рис. 1. Доля различных целей в общем количестве личных поездок жителей Европы в возрасте 65+ лет, 2019 г., %
Составлено по: [5]

Посещение родственников и друзей являются второй по значимости целью, доля составляет 37 % (рисунок 1). Родственники могут проживать в других странах из-за обучения, работы или иммиграции. Сеньор-туристы стремятся поддерживать близкие отношения с семьей и проводить время вместе, поэтому они готовы отправиться в поездку, чтобы увидеться с родными и близкими лично.

Доля на «прочие» поездки среди населения Европы в возрасте 65+ лет составляет 8 % (рисунок 1). Некоторые пенсионеры предпочитают проходить лечение за границей, потому что они считают, что качество медицинского обслуживания в других странах лучше или более престижное. В некоторых случаях, лечение в родной стране может быть слишком дорогим для пожилого населения. В таких ситуациях, сеньоры прибегают к альтернативным вариантам лечения за границей, где стоимость лечения может быть более доступной.

Пожилые люди, несомненно, являются важной частью современного общества. В то время как многие сеньоры активно занимаются туризмом и наслаждаются новыми приключениями и опытом, существует значительная группа населения, которая предпочитает отказаться от путешествий. В странах Европейского союза более половины (51,1 %) населения в возрасте 65+ лет не занимаются туризмом [5].

Исходя из анализа рисунка 3, видно, что для большинства стран Европы доминирующей причиной отказа от туризма являются проблемы, связанные со здоровьем (среднее значение по странам ЕС составляет 47,0 %). По этой причине доля отказа от туризма в Хорватии составляет 70,2 %, в Словении – 60,4 %, в Словакии – 67,9 % (рисунок 2).

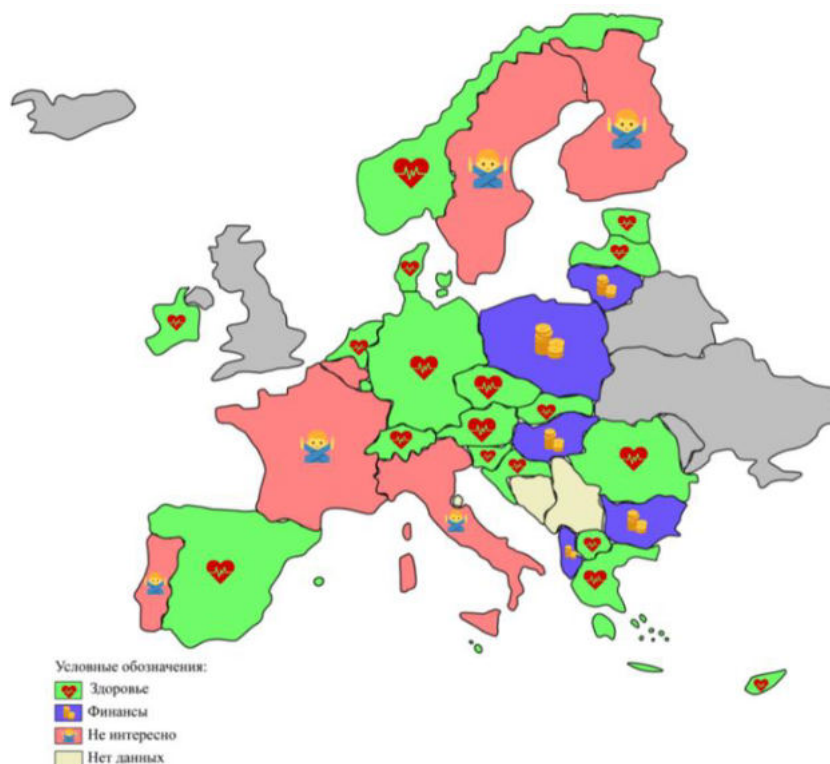


Рис. 2. Преобладающие причины отказа от туризма в странах Европы населением в возрасте 65+ лет, 2019 г. %
Составлено по: [5]

Одной из самых частых причин отказа от туризма являются проблемы с финансами – 32,6 % населения ЕС отказываются от туризма именно по данной причине. Ввиду финансовых ограничений в таких странах, как Литва, Польша, Албания и Венгрия местные жители не могут позволить себе путешествия (рисунок 3). Недостаток финансовых средств для туризма может быть связан с неразвитой пенсионной системой, ввиду этого пенсионеры могут испытывать трудности в оплате стоимости поездок.

В настоящее время туризм становится все более популярным среди пожилых людей, которые желают исследовать новые места, наслаждаться культурой и отдыхать от повседневной рутины. В данном контексте, важное значение приобретает создание доступной среды, адаптация услуг и обучение персонала, чтобы удовлетворить потребности и ожидания этой возрастной группы.

Португалия стала первой страной в мире, получившей в 2019 г. от Всемирной туристской организации (UNWTO) награду под названием «Доступное направление туризма».

В 2013 г., Жозе Бурден – президент Португальской Ассоциации непрерывного медицинского обслуживания и основатель организации «CERCITOR» – крупнейшей в стране общественной организации, которая

помогает людям с инвалидностью, основал туристскую компанию «TourismForAll». Организация работает с круизными компаниями, создает программы и туры для людей с ограниченными возможностями, в том числе и для пожилого населения. В Португалии в некоторых отелях установлены больничные кровати в номера отелей. В отелях есть оборудование для пляжного отдыха, компания работает с такими туристами, которым нужен кислород или диализ. Компания сотрудничает с теми партнерами в стране (ресторанами, транспортом, отелями), которые могут принимать туристов с ограниченными возможностями [6].

Во *Франции* во многих туристских фирмах создаются своих уникальные предложение для сеньор-путешественников. К примеру, «S.electour» – одна из первых фирм, которая определила стратегию развития предложения туристического продукта специально для пожилых людей. Компания создала стратегию по завоеванию туристического рынка сегмента пожилых людей. Рекламная политика компании предполагает наличие брошюр с предложением продукции, предназначенной только для сеньор, и довольно точно отражающих свою позицию на рынке относительно категории лиц пожилого возраста [2].

В *Германии* доступность туризма для всех регионов является приоритетом туристской политики. Она включает обеспечение достоверной информации о предложениях безбарьерного доступа, доступных для людей с ограниченными возможностями.

В 2010 году по инициативе Рауля Краутхаузена и некоммерческой организации «Sozialhelden» (Социальные Герои) была выполнена онлайн карта (Wheelmap.org), которая позволяет находить места, доступные для маломобильного населения (колясочников, пожилых людей и т. п.) [3]. На карте отмечены условными знаками здания, вокзалы и общественные туалеты, оборудованные для маломобильных людей.

Правительство *Испании* с 2021 г. спонсирует туристическую программу «Imserso», которая открыта для всех резидентов Испании старше 65 лет. Пенсионерам предоставляются более дешевые поездки от 5 до 15 дней по Испании (включая материк, острова и города-анклавы) в непиковый сезон (с октября по июнь). Цена тура колеблется от 200 до 400 евро за человека и включает в себя транспортные расходы, проживание в гостинице 3-4 звезды, трехразовое питание, страхование и развлекательную программу [3].

Международные практики международного туризма для пожилых людей отражают растущую потребность в разработке и предоставлении специализированных услуг для данной возрастной группы. С учетом того, что пожилые люди становятся все активнее и заинтересованы в путешествиях,

международные туристические компании и организации должны адаптировать свои предложения, чтобы удовлетворить их потребности и предоставить безопасную и комфортную среду для путешествий.

Библиографические ссылки

1. Александрова А.Ю. Международный туризм / А.Ю. Александрова. – М.: КНОРУС, 2013. – 460 с.
2. Дунаева О. А. Туризм третьего возраста: зарубежный опыт. [Электронный ресурс]. URL: clck.ru/3ATrFN (дата обращения 01.05.2024).
3. Испания: культура, доступная для всех. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3ATKMН> (дата обращения 29.04.2024).
4. Онлайн-карта для маломобильного населения. [Электронный ресурс]. URL: clck.ru/3ATMFY (дата обращения 30.04.2024).
5. Официальный сайт Евростата. [Электронный ресурс]. URL: clck.ru/3AYTcA – (дата обращения 30.04.2024).
6. Туризм для всех: опыт Португалии. [Электронный ресурс]. URL: clck.ru/3ATMUK (дата обращения 30.04.2024).

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЁРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Шило

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, andrey.shilo2017@gmail.com
Научный руководитель — М. Н. Брилевский, кандидат географических наук,
профессор*

Исследованы проблемы обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Минской области. Данная проблема представлена посредством графических и картографических материалов, которые показывают их образование на душу населения в Минской области в 2019-2022 гг. и в 2022 г. по районам, а также долю использования ТКО по районам Минской области. Были предложены мероприятия по оптимизации действующей системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы (ТКО); вторичные коммунальные ресурсы (ВМР); нормативы образования твёрдых коммунальных отходов.

В Республике Беларусь обращение с отходами на правовой основе на национальном уровне регулируется тремя документами: Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами»; Национальная стратегия по обращению с твёрдыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года; постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства «Об утверждении Правил определения нормативов образования коммунальных отходов» [1;2;3].

На основе постановления, которое вышло в 2003 году, местные районные исполнительные документы создают нормативы образования твёрдых коммунальных отходов. Данные документы создаются после проведения натурных замеров, которые проводятся каждый сезон. Большая часть подобных документов учитывает прежде всего две категории жилых зданий, которые упомянуты в постановлении: это благоустроенные и неблагоустроенные жилые здания. В Приложении 2 постановления установлено, что в благоустроенных жилых зданиях ежегодно образуется 190-285 кг на душу населения, в неблагоустроенных жилых зданиях – от 450 до 700 кг на душу населения [3].

Данные нормативы отвечают условиям на 2003 год, когда объёмов образования отходов было меньше. Однако, в 2003-2022 гг. наблюдалось устойчивое снижение численности населения Беларуси, что при устойчи-

вом увеличении общих объёмов образования приводит к увеличению образования ТКО на душу населения. Так, в период с 2019 по 2022 гг. объёмы образования твёрдых коммунальных отходов на душу населения увеличились с 305 по 537 кг на душу населения (Рис. 1). В аналогичный период общий объём образования ТКО увеличился с 461 до 790 тонн (Рис. 2).

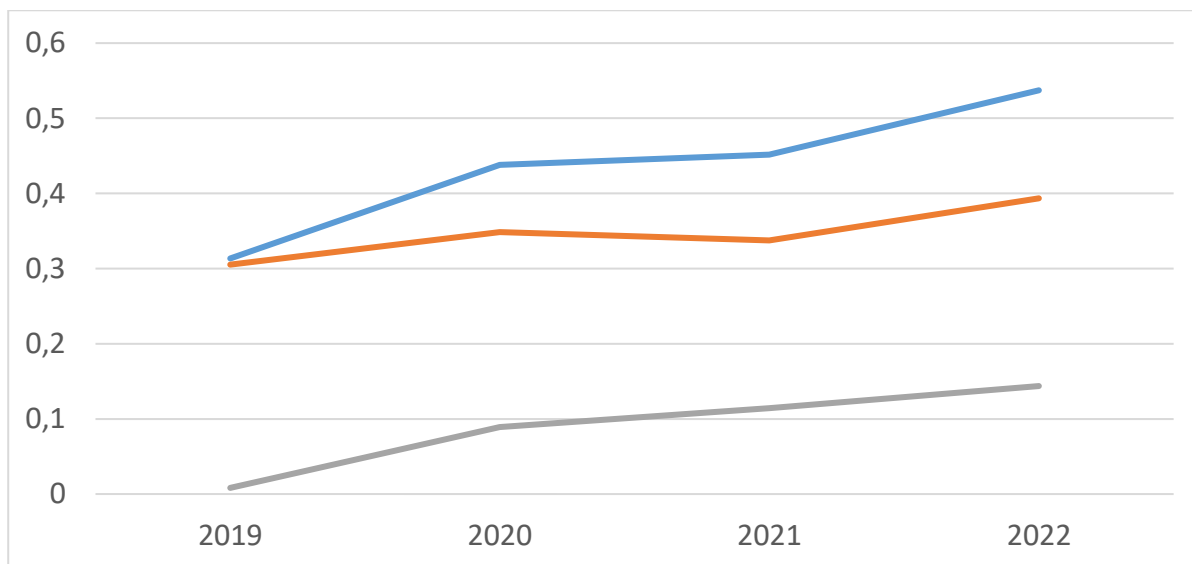


Рис. 1. Образование твёрдых коммунальных отходов на душу населения в Минской области

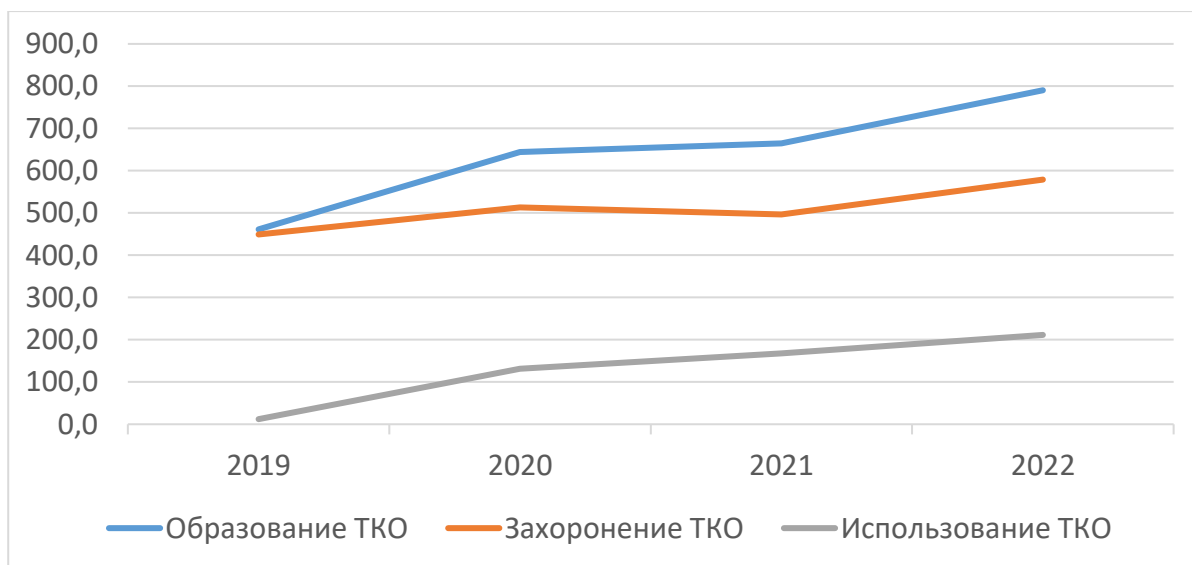


Рис. 2. Динамика образования твёрдых коммунальных отходов в Минской области [4]

Образование коммунальных отходов на душу населения по районам сильно дифференцировано - от 240 до 942 кг/чел (Рис. 3). Самые высокие объёмы зафиксированы в Виленском районе - 942 кг/чел, что превышает

принятые в 2023 году местные нормативы в 3-4 раза: они составляют от 204 кг/чел в многоквартирных жилых домах г. Вилейки до 292 кг/чел в жилых домах Вилейского района [5]. Столь большое превышение нормативов может быть объяснимо не совсем корректным пониманием понятия «твёрдые коммунальные отходы». Несмотря на то, что Министерством ЖКХ установлен перечень отходов, относящиеся к коммунальным существует группа отходов производства, которые относятся к коммунальным, что создаёт нечёткость границ между твёрдыми коммунальными отходами и промышленными отходами [6].

Наименьшие объёмы образования ТКО на душу населения фиксируются в Копыльском районе – 275 кг на душу населения. Это превышает принятые в 2022 году нормативы образования в жилых домах г. Копыль, но данные объёмы меньше нормативов образования в жилых домах Копыльского района [7]. Стоит отметить, что данные по нормативам образования ТКО в зданиях, занимаемых юридическими лицами отсутствуют. С учётом данного факта можно сделать вывод о соответствии полученных результатов с нормативами.

В доле ВМР в ТКО наименьшая доля наблюдается в Узденском и Пуховичском районах – всего 14 и 15% соответственно (Рис. 3).

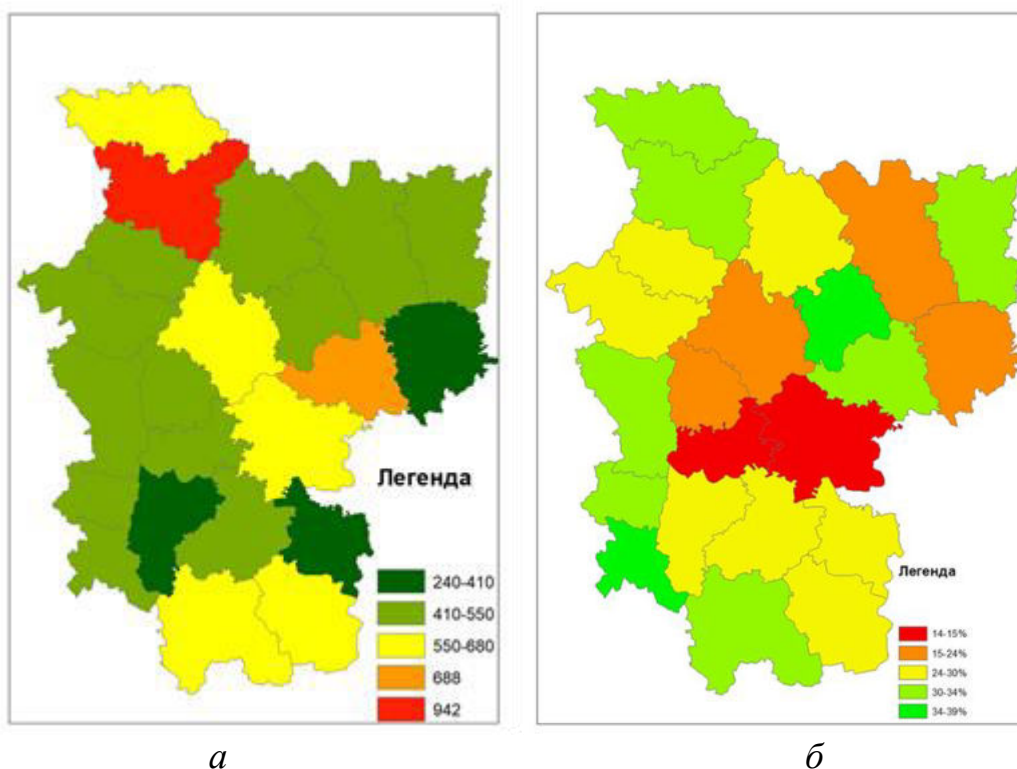


Рис. 3. Образование ТКО на душу населения (а);
доля использования ТКО (б)

Данная доля выглядит очень малой, особенно на фоне Клецкого и Смолевичского района, где доля почти в 3 раза выше и может быть объяснена наличием малого количества контейнеров ВМР в сельских населённых пунктах, как, к примеру, в Узденском районе [8].

Данные проблемы предлагается решать обновлением нормативов, так как очевидно их устаревание в отдельных районах. Некоторые нормативы были приняты в 2016-2019 годах, то есть до рассматриваемого периода, а отдельно принятые нормативы хоть и были приняты в 2022-2023 годах, не учитывают условия образования ТКО в населённых пунктах районов. Кроме того, требуется довести до ЖКХ разграничение твёрдых коммунальных отходов и промышленных отходов. Увеличение доли ВМР следует обеспечить за счёт установки в первую очередь «отстающих» районах большего числа контейнеров ВМР.

Библиографические ссылки

1. Об обращении с отходами. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. №271-3 [электронный ресурс]. URL: https://kodeksy-by.com/zakon_rb_obrawenii_s_othodani.htm (дата обращения: 12.06.2024).
2. Национальная стратегия по обращению с твёрдыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларуси на период до 2035. Утверждено Постановление Совета Министров Республики Беларусь 28.07.2017 № 567 [электронный ресурс]. URL: <http://www.mjkk.gov.by/uploaded/2018/BMP2035.pdf> (дата обращения: 12.06.2024).
3. Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27 июня 2003 г. № 18/27 «Об утверждении Правил определения нормативов образования коммунальных отходов» [электронный ресурс]. С. 46, 48-49. URL: [https://pravo.by/pdf/2003-80/2003-80\(044-080\).pdf](https://pravo.by/pdf/2003-80/2003-80(044-080).pdf) (дата обращения: 12.06.2024).
4. Фондовые материалы РУП «Бел НИЦ «Экология».
5. Решение Вилейского районного исполнительного комитета от 10 января 2023 г. № 41 «Об установлении нормативов образования твердых коммунальных отходов» [электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=R923n0120955> (дата обращения: 12.06.2024).
6. Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 26 декабря 2019 г. № 31 «Об установлении перечня отходов, относящихся к коммунальным отходам» [электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035009> (дата обращения: 12.06.2024).
7. Решение Копыльского районного исполнительного комитета от 5 июля 2022 г. № 1173 «Об установлении нормативов образования твердых коммунальных отходов» [электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=R922n0116899> (дата обращения: 12.06.2024).
8. *Шило А. С.* Геоэкологическая оценка схемы обращения с твёрдыми коммунальными отходами Узденского района [Электронный ресурс]. URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/299318> (Дата обращения: 12.06.2024).

АНАЛИЗ ЗАТОПЛЯЕМОСТИ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

А. В. Шкабара¹⁾, В. Л. Сочивко²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, anyarti.11@mail.ru

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, veronika12344321_2020@mail.ru

В работе отражено физико-географическая характеристика реки Западная Двина, а также влияние открытия гидроэлектростанций на гидрологический режим реки Западная Двина.

Ключевые слова: Гидрологический режим; геоинформационные технологии; ГИС – анализ; русловые процессы.

Настоящая работа посвящена изучению региональных климатических и гидрологических условий восточной части бассейна Балтийского моря реки Западная Двина в пределах территории Беларуси, сформировавшихся в течение последних десятилетий под руководством старшего преподавателя кафедры геодезии и космоаэрокартографии Кафтанчиковой А.Б.

Река Западная Двина – одна из наиболее значительных рек Беларуси, которая по водности уступает лишь Днепру. Вытекает из озера Корякино, в 14 километрах юго-западнее городского поселка Пено Тверской области (Россия), впадает в Рижский залив Балтийского моря у города Рига (Латвия).

Анализ затопляемости прибрежных территорий реки Западная Двина на территории Республики Беларусь является актуальной проблемой в современных условиях. Учитывая климатические изменения, а также строительство на берегах реки, проведение такого анализа имеет большое значение для предотвращения чрезмерных затоплений и защиты прибрежных зон.

На всех гидрологических постах производятся наблюдения за уровнем и термическим режимами, состоянием водного объекта (наличие ледовых явлений, растительности), в том числе на двух гидрологических постах производятся наблюдения за стоком воды. Дополнительно на гидрологических постах в районе населенных пунктов Сураж и Улла производятся метеорологические наблюдения (за температурой воздуха, осадками и снежным покровом).

Средняя дата начала половодья – вторая-третья декада марта. Наиболее ранние даты начала половодья – конец января (2002 г.). Наиболее поздние – первая-вторая декада апреля (1929 г., 1956 г.). Средняя продолжительность половодья на р. Западная Двина составляет около 72 дней. В отдельные годы продолжительность половодья увеличивалась до 128 дней (2002 г.) или не превышала 35 дней (1995 г.).

Для сбора и анализа затопляемости прибрежных территорий на участок реки Западная Двина использовались данные с Белорусского космического аппарата. БКА оснащен панхроматической съемочной системой, позволяющей получать черно-белые снимки с разрешением 2,1 м, и мультиспектральной съемочной системой для получения снимков с разрешением 10,5 м в четырех спектральных диапазонах.

Для того, чтобы проанализировать затопляемость пойменных территорий реки Западная Двина, была создана матрица высот в ГИС Панорама (рис.1).

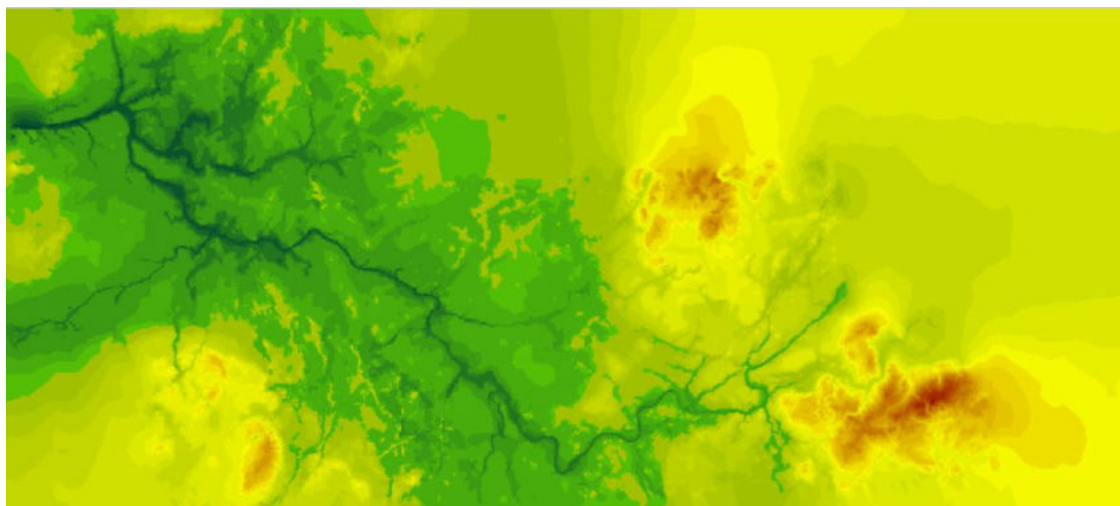


Рис.1. Матрица высот на участок реки Западная Двина и прибрежной территории

ГИС Панорама позволяет создавать матрицы с затопляемой территорией (рис. 2). Для построения картограммы затопляемости были использованы данные ежемесячного уровня воды на 2023 год в период половодья, а именно в апреле, когда уровень воды достиг максимума на пяти гидропостах: Сураж, Витебск, Улла, Полоцк, Верхнедвинск.

Следующим этапом производилась векторизация берегов и островов реки Западная Двина. В качестве исходных данных были взяты панхрома-

тические и мультиспектральные снимки территории бассейна реки Западная Двина, за 2014 и 2023 год разных периодов года. Мультиспектральные снимки использовались только для определения территорий островов.

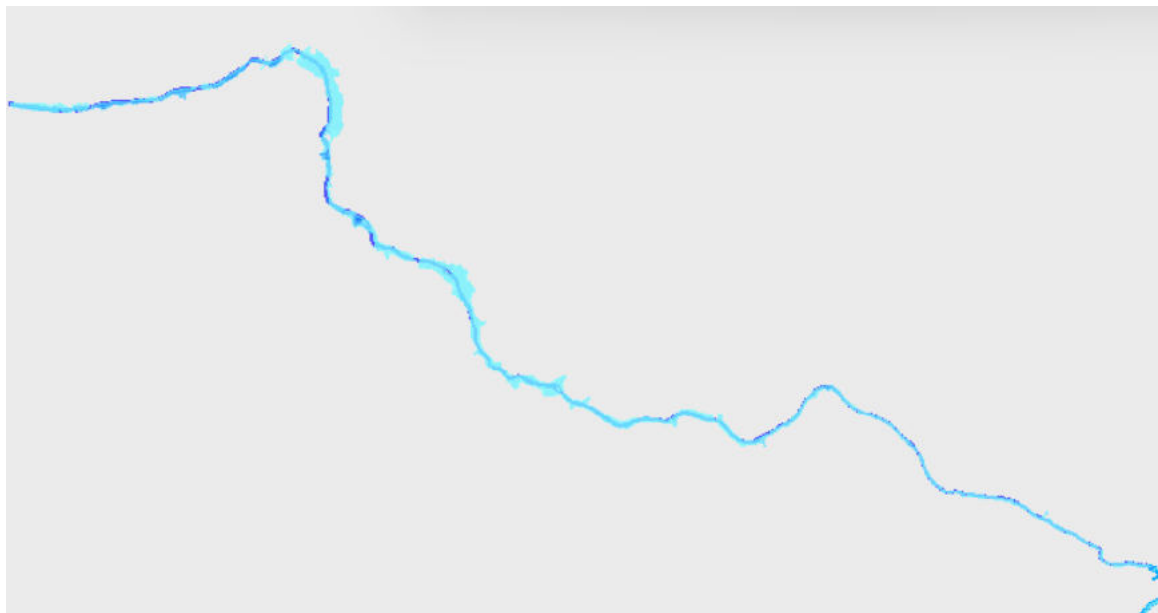


Рис. 2. Картограмма затопляемости пойменных территорий реки Западная Двина на участке от реки Сосница до Латвийско-Белорусской границы

Для начала исследования в ГИС Панорама создавалась пользовательская векторная карта масштаба 1:100000, как основа. Далее были добавлены космические снимки. Следующим этапом проводилась векторизация береговой линии по двум сторонам реки Западная Двина (рис. 3).



Рис. 3. Процесс векторизации береговой линии

Для визуализации более масштабных изменений в русле реки была взята также топографическая карта 1990 года. Чтобы оценить изменения,

связанные с эксплуатацией ГЭС, на рисунках 4 (а и б) представлены участки русла реки около Витебской и Полоцкой гидроэлектростанций, соответственно.

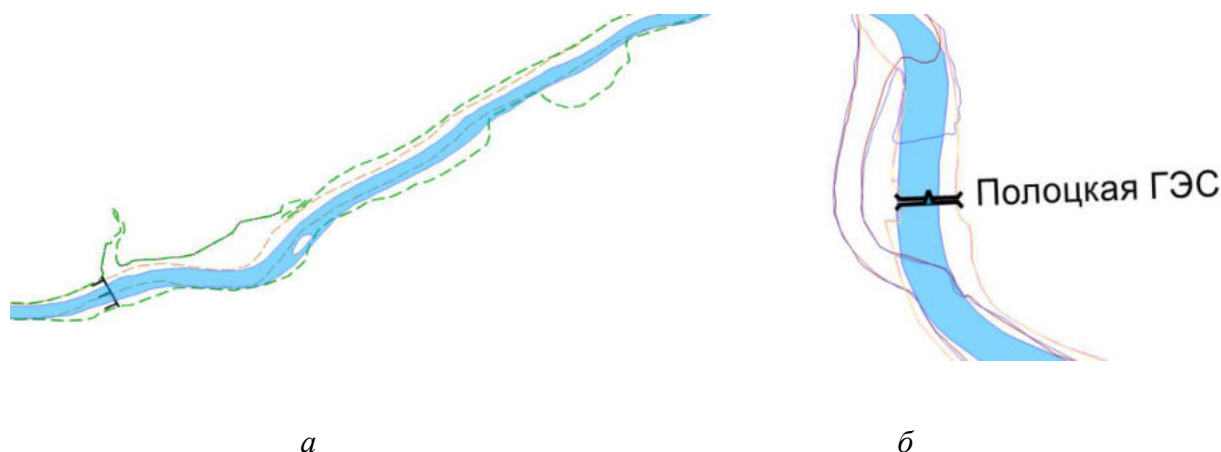


Рис. 4. а -Динамика изменения русла реки Западная Двина около Витебской ГЭС, 1990 года (голубой площадной условный знак), 2014 года (жёлтый пунктир) по 2023 год (зеленый пунктир); б – Динамика изменения русла реки Западная Двина около Полоцкой ГЭС, 1990-ого года (голубой площадной условный знак), 2014 года (красная и фиолетовая линия) по 2023 год (розовая и желтая линия)

Для более подробного анализа динамики изменений в русле реки Западная Двина были рассмотрены снимки в разных сезонах, на основе которых векторизовалось русло (рис. 5).

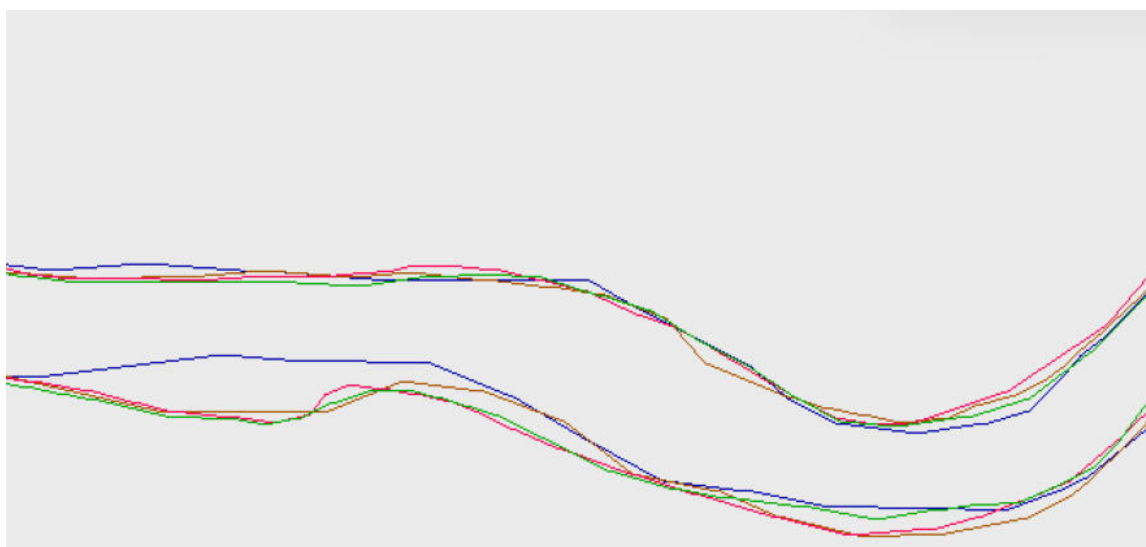


Рис. 5. Фрагмент результата векторизации береговой линии в разных сезонах:

коричневым цветом обозначена береговая линия на период весеннего половодья 2014 г., синий – летне-весенний сезон 2014 г., красный – летне-весенний сезон 2023 г., зеленый – период весеннего половодья 2023 г.

Помимо изменений береговых линий русла реки были выявлены изменения в конфигурации и расположении островов, в частности произошло прирастание к берегам разрушенных старых, изменение новых островов или преобразование конфигурации некоторых из оставшихся (рис. 6).

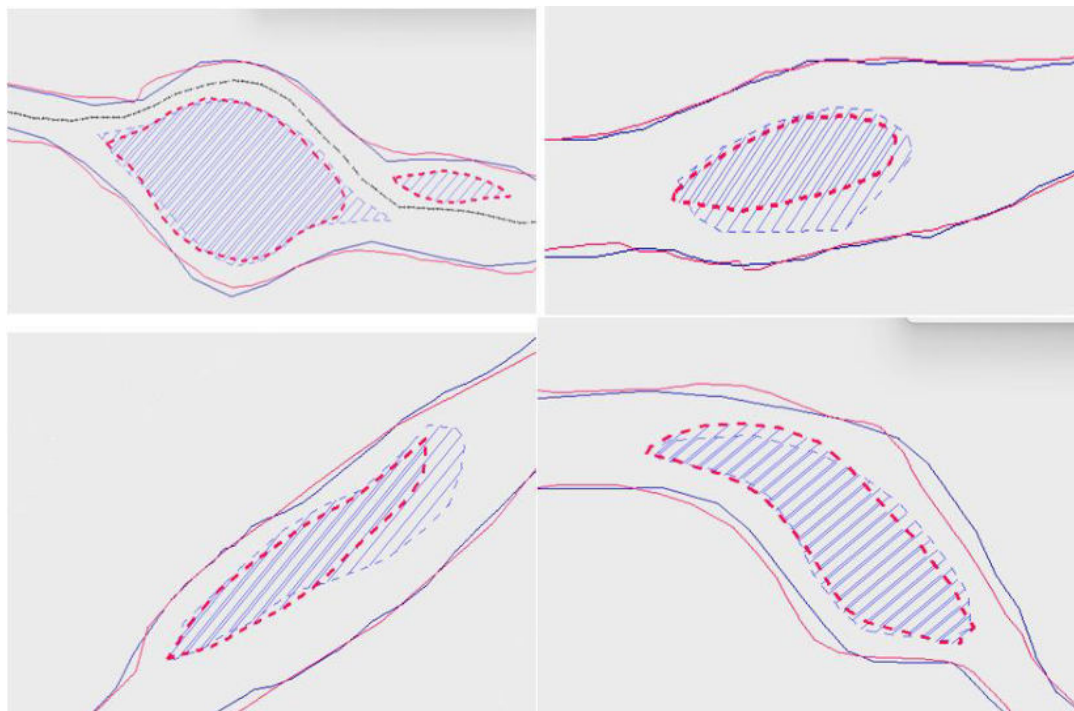


Рис. 6. Изменение площади островов на реке Западная Двина (красным контуром выделены острова 2023 года, синим – 2014 г.) (штриховка) по 2023 года (синяя конфигурация)

Основываясь на результатах данной работы, можно сделать следующий вывод: гидрологический режим Западной Двины претерпел сильные изменения, связанные со строительством Полоцкой и Витебской ГЭС; выявлена тенденция к значительному увеличению ширины русла реки выше гидроэлектростанций, например, наиболее значительным показателем было увеличение на 400 метров. Изменение ширины русла ниже электростанций составило в среднем 50-60 метров; острова также с течением времени могут отражать состояние русла реки. Для русла выше гидроэлектростанций выявлено исчезновение островов, а выше появление. Также выявлены естественные изменения связанные с меандрированием русла.

Библиографические ссылки

1. Витебскэнерго [Электронный ресурс]. 2024. URL:<https://www.vitebsk.energo.by> (дата обращения: 09.03.2024).
2. Все реки [Электронный ресурс]. 2024. URL:<https://vsereki.ru> (дата обращения: 05.03.2024).
3. Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. 2024. URL:<https://pogoda.by> (дата обращения 05.03.2024).
4. КБ Панорама [Электронный ресурс]. 2024. URL:www.gisinfo.ru (дата обращения 15.03.2024).
5. Квач, Е. Г. Особенности гидрологического режима трансграничных водных объектов Республики Беларусь и Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление / Е. Г. Квач – Минск: Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 2023. 12 с.
6. Национальный атлас Беларуси. – Мн.: Белкартография, 2002. 292 с.
7. Новополоцкий городской исполнительный комитет [Электронный ресурс]. 2024. URL:<https://www.novopolotsk.by/ru> (дата обращения 03.03.2024).

ПРИРОДНЫЙ И ЭТНОКУЛЬТУРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРУЖАНСКОГО РАЙОНА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ УСТОЙЧИВОГО ТУРИЗМА

Ю. Г. Эйвазов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, yusif135662@gmail.com
Научный руководитель – А. Е. Яротов, кандидат географических наук,
доцент*

В статье приводится оценка природного и этнокультурного потенциала как фактора развития устойчивого туризма в Пружанском районе. Проводится анализ всех природных и историко-культурных объектов, а также объектов инфраструктуры. На основе этого разрабатывается новый туристический маршрут. При помощи программного обеспечения ArcGIS, создаются картосхемы объектов-показа, инфраструктуры и самого маршрута.

Ключевые слова: устойчивый туризм; Пружанский район; природное наследие; историко-культурное наследие; туристические маршруты.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивый туризм – это подход к развитию туризма, который стремится минимизировать негативное воздействие на природу, культуру и общество, а также позволяет максимизировать пользу для местного населения и сохранение ресурсов на долгосрочной основе.

Природный и этнокультурный потенциал играет существенную роль в формировании устойчивого туризма Пружанского района, так как он определяет привлекательность туристического направления, позволять акцентировать внимание общественности на сохранении природных ресурсов и культурного наследия, а также позволяет вовлекать местное население в туристическую деятельность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для написания данной статьи послужили данные Пружанского райисполкома [1, 2] и местной библиотеки, а также собственные исследования, проведённые во время выездов на территорию района.

Проведен контент-анализ преимущественно интернет-ресурсов, на наличие в районе объектов-показа: природных, историко-культурных (материальных и нематериальных) и инфраструктуры. Для визуализации полученных данных, был использован интернет-конструктор пользовательских карт Yandex maps и программное обеспечение ArcGis (ArcMap и ArcCatalog). В качестве подложки для проекта в ArcGIS использовалась базовая карта OpenStreetMap (OSM). В последствии на нее были нанесены объекты из базы данных, созданной в ArcCatalog.

По результатам нанесения объектов был построен линейный маршрут с учетом его рационального использования в туристических целях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Картосхема инфраструктуры района (рис. 1) позволяет оценить текущее состояние ее и определить области, требующие дальнейшего развития.

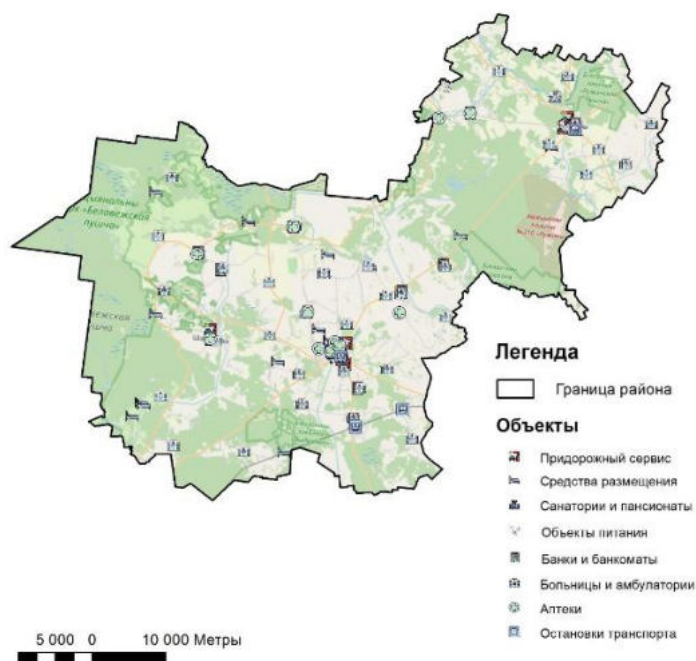


Рис. 1. Картосхема инфраструктуры Пружанского района

Анализируя картосхему, можно заметить, что объекты расположены точечно по всему району, однако выделяются две точки концентрации: г. Пружаны и г.п. Ружаны. Объекты инфраструктуры в большей своей части не соответствуют современным потребительским требованиям и требуют модернизации и доработки. Однако, на данный момент их достаточно для продвижения туристских услуг.

На картосхеме объектов-показа (рис. 2) отображено 192 объекта (природные и историко-культурные памятники). Она позволяет произвести визуальный анализ расположения объектов и их концентрации.

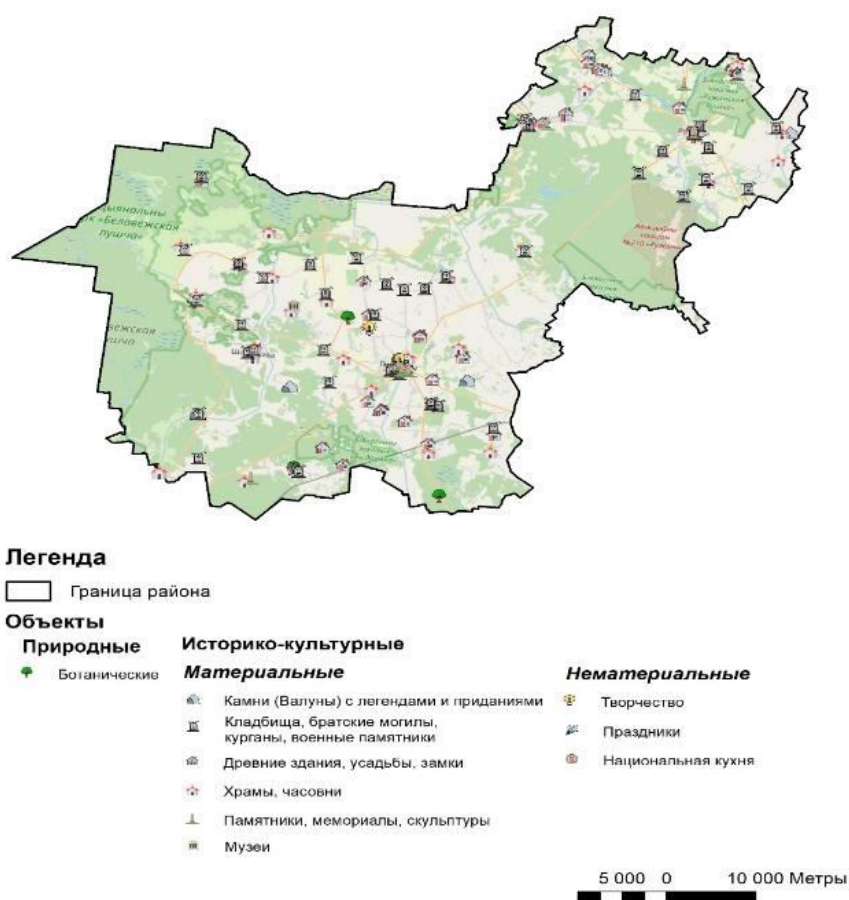


Рис. 2. Картосхема объектов-показа Пружанского района

Анализируя картосхему, можно заметить, что объекты достаточно равномерно расположены по всей территории, однако, выделяется 4 точки концентрации: г. Пружаны, г.п. Шерешево, аг. Лысково и г.п. Ружаны. Данные населенные пункты являются историческими и культурными центрами района.

Основные пункты притяжения туристов – Беловежская пуща, дворцовый-комплекс Сапег, Пружанский палацк, санаторий Ружанский и деревянный люд Тарасюка.

На основании всего выше изложенного был составлен туристический маршрут «Пружанскія мары» и «Усадзебны загарад» (рис. 3). Данный маршрут был создан с целью продвижения и устойчивого развития туризма Пружанского района.

Основной маршрут состоит из 23 объектов, имеет кольцевую форму протяженностью около 163 км и проходит по территории всего района. Он проходит через все точки концентрации объектов и раскрывает общую картину истории района.

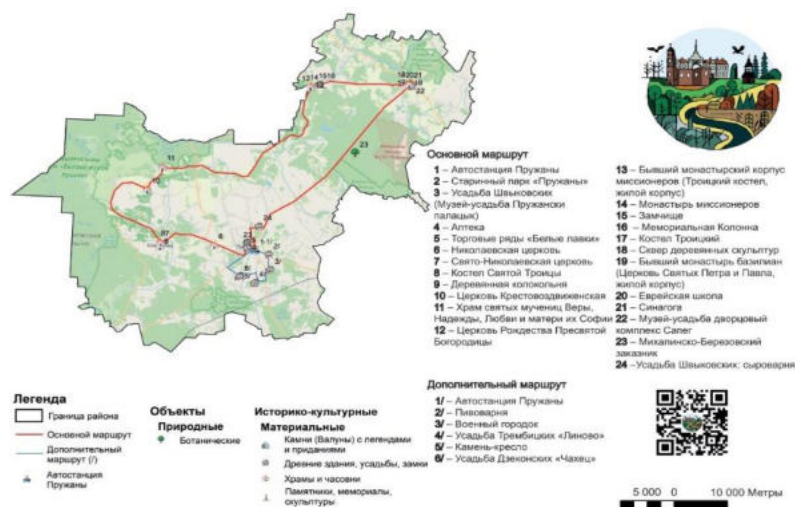


Рис. 3. Картограмма туристических маршрутов Пружанского района

Дополнительный маршрут гораздо меньше основного. Он включает в себя 5 объектов. Протяженность составляет 21,4 км. Маршрут начинается с города Пружаны и охватывает его южные окрестности. В него включены заброшенные усадьбы, остатки мануфактур и заброшенный военный городок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывают, что Пружанский район обладает значительным потенциалом для развития устойчивого туризма, основанного на природных и этнокультурных ресурсах.

Природные ресурсы Пружанского района, такие как уникальные природные ландшафты, лесные массивы, озера и реки, предлагают возможности для разнообразных видов отдыха и активного времяпрепровождения, таких как экологические прогулки, пешие и велосипедные маршруты, охота, рыбалка и другие виды активного туризма.

Культурное наследие Пружанского района, включая его этнокультурные традиции, народные ремесла, фольклор и исторические достопримечательности, такие как деревенские церкви, усадьбы и архитектурные памятники, также представляют значимый потенциал для развития туризма, связанного с культурным наследием и этнокультурным туризмом.

Однако, исследование также выявило некоторые ограничения, такие как необходимость более эффективного управления природными ресурсами, сохранение и охрана культурного наследия, дальнейшее

развитие инфраструктуры и продвижение туристического продукта. Решение этих вызовов потребует совместных усилий со стороны государственных, муниципальных и общественных организаций, а также активного вовлечения местного населения и туристического сообщества.

Библиографические ссылки

1. Пружанский районный исполнительный комитет [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pruz hany.brest-region.gov.by/ru>. (дата доступа 05.03.2024).
2. Отдел культуры Пружанского райисполкома [Электронный ресурс]. URL: <http://kultura.pruz hany.by> (дата доступа 14. 03. 2024).

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

Н. А. Азаров

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, nikita2000.azarov1@gmail.com
Научный руководитель — Л. Л. Голубева, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Искусственный интеллект (ИИ) становится одним из ключевых направлений развития современного общества. Его влияние распространяется на многие аспекты жизни, включая образование. Использование передовых технологий, основанных на ИИ, в учебном процессе способствует значительному повышению качества и эффективности образования. В статье рассмотрены возможности и проблемы, связанные с внедрением ИИ в сферу образования. Рассмотрены популярные сервисы для обучения.

Ключевые слова: искусственный интеллект; образование; образовательный процесс; обучающие системы; инновации в образовании, информационные технологии.

Искусственный интеллект (ИИ) уже давно не фантастика, а реальность, которая все активнее проникает в нашу жизнь, в том числе и в образовательный процесс. Его многофункциональность и потенциал для персонализации обучения открывают новые горизонты для образовательной системы. ИИ в образовании начался еще в 1970-х годах, когда исследователи загорелись идеей о том, как компьютеры могут стать инструментом для индивидуального обучения. Доступ к качественному индивидуальному образованию был роскошью, доступной не для всех, а ИИ должен был изменить эту ситуацию. Первые шаги были робкими: программируемые учебники, автоматизированные системы тестирования, простые системы адаптивного обучения. Однако, с развитием технологий ИИ стал более продвинутым, предлагая новые возможности:

- **Персонализация обучения:** ИИ-платформы могут анализировать стиль обучения ученика, его сильные и слабые стороны, подбирая индивидуальные образовательные траектории, материалы, задания и темп обучения.

- **Автоматизация рутинных задач:** ИИ освобождает учителей от рутинных задач, таких как проверка тестов, оценка работ, подготовка учебных материалов. Это позволяет им сосредоточиться на более важных задачах, связанных с обучением и взаимодействием с учениками.

- **Интерактивное обучение:** ИИ может превратить процесс обучения в занимательную и интерактивную игру. Виртуальные ассистенты могут предоставлять ученикам информацию, отвечать на вопросы, давать обратную связь в реальном времени.

- **Анализ данных:** ИИ может анализировать данные об учениках, отслеживая их прогресс, выявляя трудности и предлагая решения. Эта информация помогает учителям эффективнее и качественнее планировать учебный процесс.

- **Развитие навыков:** ИИ может помочь в развитии навыков творческого мышления, критического анализа, решения проблем, работы в команде, которые необходимы в современном мире.

- **Повышение качества образования:** ИИ позволит учителям сосредоточиться на более важных задачах, связанных с обучением и развитием учеников.

- **Улучшение доступа к образованию:** ИИ может сделать качественное образование доступным для всех, независимо от географического расположения или социального статуса.

Несмотря на огромный потенциал, существуют и некоторые проблемы:

- **Доступность:** Не все образовательные учреждения имеют возможность приобрести необходимое оборудование и программное обеспечение для внедрения ИИ.

- **Безопасность данных:** Важный вопрос, требующий внимательного подхода, чтобы гарантировать конфиденциальность и безопасность информации об учениках.

- **Этические аспекты:** Важно убедиться, что ИИ используется этично и не ущемляет права учеников и учителей.

Сейчас перспективными направлениями в области использования ИИ в образовательном процессе являются: обучение и оценка успеваемости, предоставление образовательных услуг, управление процессом обучения, расширение возможностей преподавателя.

Рассмотрим некоторые сервисы, основанные на использовании искусственного интеллекта.

«01Математика» — онлайн-система, реализуемая при помощи искусственного интеллекта и адаптивных технологий для персонализированного обучения школьников математике. Сейчас система становится одной из базовых обучающих систем по математике для школ Москвы.

В программном обеспечении «Программа по глубокому адаптивному обучению для системы «01Математика»» искусственный интеллект используется следующим образом.

Алгоритмы ИИ разбиты на несколько блоков:

1. Алгоритмы для взаимодействия пользователя с системой:

- распознавание рукописного ввода с использованием нейросети,
- считывание символьных ответов (математических) любой сложности и в произвольном порядке на основе системы компьютерной алгебры и собственных модулей распознавания ответов,
- работа с интерактивными графиками на основе модуля JSXgraph,
- цепочки задач,
- модуль домашних заданий с предсказанием времени выполнения заданий на основе больших данных [1].

2. Внутренняя учебная аналитика созданных материалов в режиме реального времени и за фиксированный временной период; Платформа собирает статистику ответов на каждую задачу (далее используется для персонализации подсказки пользователю), делает оценку математического ожидания каждой задачи, связки, уровня сложности. В каждом уровне сложности происходит оценка среднеквадратичного отклонения для улучшения работы типовых заданий на одном уровне сложности, приближенно вычисляются условные вероятности для стандартизации весов графа связей, создан модуль выдачи задач для анализа администраторами с указанным диапазоном успешности [1].

3. Создание графа учебных связей материалов [1].

На первом этапе используются алгоритмы NLP (обработка текстов на естественном языке) типа Word2Vec. На платформе “01Математика” преимущественно используется дообученная нейросеть SBERT. На втором этапе используются статистические данные для установления более точной зависимости в классе полученных предварительных связей для исключения ложноположительных и недостающих связей. На третьем этапе используется экспертная оценка для улучшения качества полученных зависимостей [1].

Создание индивидуальной траектории ученика на основе персонализированной статистики работы и графа связей учебных материалов (четыре уровня адаптивного обучения в онлайн режиме), анализ поведения для выдачи подсказок и/или условия следующей задачи в зависимости от ответа на текущую [1].

При успешном прохождении учебного блока учеником блок получает максимальный уровень знаний, который далее уменьшается по кривой забывания. Учебные блоки косвенным образом также получают баллы знаний в зависимости от вложения в общий уровень знаний блока (определяется через оценку частотами условной вероятности) и длины ветви, на который расположен этот блок. Во всех блоках учитывается процесс забывания и повторения материала прямым и косвенным образом [1].

На графе знаний введена метрика отличия пользователей [1].

При определении персональных приоритетов в обучении пользователя платформа учитывает текущий уровень знаний пользователя и все успешные траектории других пользователей, близких к данному пользователю по метрике графа [1].

Проверка на 3000 пользователей (5–6 класс) показала, что эффективность такого метода высока: 90,28 % учащихся заканчивают курс. Поскольку уровень развития информационных технологий позволяет не только создать качественную обучающую модель по математике, но и сделать ее применение массовым, проект продолжает развиваться [2].

Khan Academy — некоммерческая организация, миссия которой — предоставить бесплатное образование мирового уровня всем и везде. Организация предлагает тысячи уроков по математике, естественным и гуманитарным наукам для учащихся всех возрастов. Сегодня Khan Academy объявляет, что будет использовать GPT-4 для питания Khanmigo, помощник на базе искусственного интеллекта, который действует как виртуальный наставник для учеников и помощник в классе для учителей.

По данным Фермана, Финамора и Лимы (2019), которые провели крупномасштабное исследование в 157 начальных школах Бразилии, еженедельное использование Академии Хана привело к положительному влиянию на оценки по математике и отношение к математике при условии адекватной поддержки [3].

По данным Бухеля, Якоба, Кунхансса, Сеффена и Брунетти (2019), которые провели исследование с участием примерно 3500 учеников третьих-шестых классов в Сальвадоре, дополнительное использование Khan Academy привело к лучшим результатам по математике, чем вмешательство только со стороны учителя [4].

По данным Снайпса, Хуанга, Жаке и Финкельштейна, которые провели рандомизированное контрольное исследование с 496 учениками седьмого класса в Силиконовой долине, учащиеся, которые использовали Академию Хана во время 19-дневной летней программы, имели лучшие показатели готовности к алгебре [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Искусственный интеллект превращается в неотъемлемую часть современного образовательного процесса. Он открывает новые возможности для персонализации обучения, повышения эффективности учебного процесса и улучшения доступа к качественному образованию. Важно помнить, что ИИ - это инструмент, который должен служить целям образования, а не заменять учителя. Совместными усилиями учителей и технологий мы можем создать будущее образования, в котором каждый ученик сможет достичь своего полного потенциала.

Библиографические ссылки

1. Справка о работе ИИ [Электронный ресурс]. // 01Math: сайт. URL: https://01math.com/ai_info (дата обращения: 25.04.2024).
2. Курганов Ю., Юрченков В. AI в обучении: на что способны технологии уже сейчас? [Электронный ресурс] URL: https://sberuniversity.ru/upload/iblock/09f/85v0n3to7fvy3awqz3p1lboeq0sk464r/EduTech_49_web.pdf (дата обращения: 15.06.2024).
3. Ferman B., Finamor L., Lima L. Are Public Schools Ready to Integrate Math Classes with Khan Academy? 2019.
4. Expanding School Time and the Value of Computer-Assisted Learning: Evidence from a Randomized Controlled Trial in El Salvador / K. Buchel [et al.]. 2019.
5. The effects of the Elevate Math summer program on math achievement and algebra readiness / J. Snipes [et al.]. 2015.

ЧТЕНИЕ ПО ГУБАМ РУССКОЙ РЕЧИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

Г. С. Афанасенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mtf.afanasevGS@bsu.by*
Научный руководитель — А. Э. Малевич, кандидат физико-математических наук,
доцент

В данной статье описываются этапы создания системы для чтения по губам русской речи, а также уделяется внимание различным техническим особенностям. Подробно описан процесс проектирования и создания автоматизированной системы для сбора и разметки обучающих данных, а также процесс обучения модели.

Ключевые слова: чтение по губам; компьютерное зрение; обучающий набор; разметка данных; нейронные сети; 3D-свёрточные слои.

ВВЕДЕНИЕ

Задача чтения по губам является достаточно сложной как для людей, так и для решения с помощью технологий компьютерного зрения. Данная задача имеет множество применений, например, в медицине для людей, имеющих проблемы с голосом; для улучшения точности распознавания голоса голосовыми ассистентами с помощью добавления визуальной информации.

Предыдущие исследования по данной теме по большей части касались только английского языка, поэтому в данной статье рассматривается применение этих исследований на русскую речь. Кроме того, в открытом доступе нет достаточно больших и разнообразных датасетов с видео русскоговорящих людей, поэтому в рамках этой работы такой датасет требуется собрать.

СБОР ДАННЫХ

Поскольку поставленная задача является сочетанием задачи компьютерного зрения, а также задачи обработки естественного языка, то требуется большой объём данных для обучения, так как даже обычная языковая модель требует большого количества данных для того, чтобы выучить все нюансы языка. Предыдущий обучающий набор данных LRWR для данной задачи был собран и упомянут в [1]. Однако в данном датасете обучающие примеры представляли собой отдельные слова, а одной из целей данной работы является создание датасета с обучающими примерами, состоящими из целых предложений.

Для начала требуется определить требования к обучающим примерам, которых нужно добиться. В условиях данной задачи были определены следующие требования:

- Ровное положение головы относительно границ кадра.
- В каждом кадре должно быть только лицо без лишних областей.
- Частота кадров должна быть выше 25, а также высокое разрешение – 720p и выше.

Как уже упоминалось, данных должно быть много, следовательно собирать их нужно не вручную, а автоматизировать весь процесс. Аналогично [1] будем брать неподготовленные данные с интернета, а уже затем подготавливать их для обучения. В качестве основного источника взят видеохостинг youtube.com. На нём достаточно много видео в требуемом или похожем формате: подкасты, влоги, блоги и прочее. Неподготовленные данные представляют собой длинные видео одного из описанных выше типов. Далее используем это видео для генерации небольших обучающих видео. Опишем процесс обработки данных схематично (рис. 1).

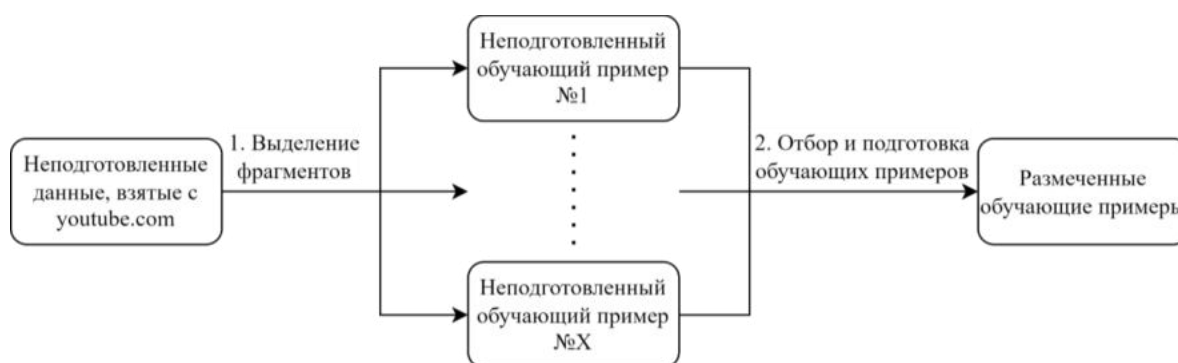


Рис. 1. Схема работы системы для разметки данных

Цель первого этапа заключается в том, чтобы разделить длинное видео на небольшие фрагменты одинаковой длины [2]. Изначально фрагменты были по 10 секунд, однако в результате дальнейшего анализа и экспериментов стало ясно, что такая длина слишком велика, и фрагменты получаются перенасыщенными речью спикеров. Поэтому далее длина фрагментов была сокращена до 5 секунд.

На втором этапе каждый полученный фрагмент нужно проверить на годность к дальнейшей разметке и далее разметить. Качество размеченных данных зависит от качества начальных данных, а также качества работы размечающей системы. Поскольку начальные данные выбираются вручную, то требуется сделать так, чтобы их качество меньше всего влияло на размеченные данные. Следовательно, требуется сделать систему отбора и разметки данных достаточно гибкой.

В процессе отбора требуется проверить, что фрагмент содержит лицо спикера на протяжении всех кадров, а также, что это лицо не повёрнуто сильно вбок. Если эти условия выполнены, то следующими шагами являются: поворот кадра таким образом, чтобы лицо находилось ровно, и последующее кадрирование кадра по границам лица спикера. В завершении нужно транскрибировать аудио из видео и записать текст в отдельный файл.

Все скрипты были реализованы, используя Python 3. Для работы с видео и аудио использовался инструмент FFmpeg и библиотека OpenCV, а для транскрибирования библиотека SpeechRecognition. Для более быстрой обработки важно использовать ускорение FFmpeg с помощью видеокарты.

ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Выбор нейронных сетей в качестве предсказательной модели очевиден. Прочие варианты, такие как скрытые марковские цепи, уже устарели. Архитектурой модели будет LipNet [3]. Данная архитектура состоит из двух блоков: блок слоёв 3D-свёртки и пара рекуррентных Bi-GRU слоёв. Одна из особенностей данной архитектуры – это использование CTC Loss в качестве функции потерь. Основная идея данной функции потерь состоит в том, чтобы учитывать следующие факторы при распознавании речи: некоторые звуки могут растягиваться спикером, иногда спикер может допускать неравномерные и неодинаковые паузы при произношении.

Поскольку текущий собранный датасет достаточно крупный, то для тестирования реализации LipNet использовался датасет LRWR [1], который был предоставлен в исследовательских целях. Для быстрого обучения на мощных видеокартах использовался облачный сервис Google Colaboratory Pro. Однако даже в такой связке обучения модели заняло много времени, из-за чего модель до сих пор находится в состоянии обучения. На данный момент можно посмотреть, каким образом обучились различные каналы первого свёрточного слоя модели (рис. 2).

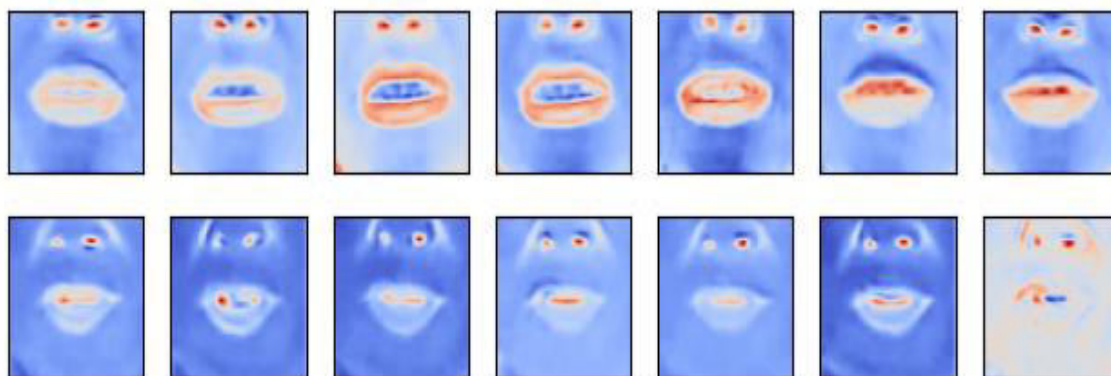


Рис. 2. Возбуждение свёрточного слоя на входные данные. Красным цветом помечены области, которые больше всего возбудили модель.

Реализовывалась и обучалась модель с использованием библиотеки PyTorch 2.3 и ряда других вспомогательных библиотек из Torch-семейства. Стоит отметить, что оригинальная модель из [3] была реализована с использованием TensorFlow, то есть в рамках данной работы архитектура LipNet была полностью переведена на PyTorch 2.3 с учётом всех тонкостей этой библиотеки. Для более качественного обучения начальная инициализация весов нейросети проводилась вручную с применением различных методов для каждого отдельного слоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы удалось создать достаточно гибкую систему и минимизировать зависимость качества размеченных данных от качества начальных данных. Тем самым это позволяет с лёгкостью масштабировать обучающую выборку. Также стоит отметить, что реализованная система может быть полезна и в некоторых других задачах аудиовизуального распознавания, что делает эту систему ещё более полезной. Также реализована архитектура LipNet с использованием библиотеки PyTorch 2.3.

Библиографические ссылки

1. LRWR: Large-Scale Benchmark for Lip Reading in Russian language [Electronic resource] / E. Egorov [et al.] // arXiv, 2023. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.06692> (date of access: 17.06.2024).
2. Command Line Video Splitter [Electronic resource] // GitHub, 2022. URL: <https://github.com/c0decracker/video-splitter> (date of access: 17.06.2024).
3. LipNet: End-to-End Sentence-level Lipreading [Electronic resource] / Y. M. Assael [et al.] // arXiv, 2023. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.01599> (date of access: 17.06.2024).

О ФОРМИРОВАНИИ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Б. А. Бадак

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, badak.bazhena@bk.ru
Научный руководитель — Н. В. Бровка, доктор педагогических наук, профессор*

В статье рассмотрены особенности построения методической системы в процессе практико-ориентированного обучения математическим дисциплинам студентов технического университета с использованием компьютерно-педагогического сопровождения, сформулировано определение понятия «компьютерно-педагогическое сопровождение»; приведены примеры практико-ориентированных задач, предлагаемых студентам специальности «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета.

Ключевые слова: инженерное образование; практико-ориентированное обучение математике; компьютерно-педагогическое сопровождение.

Практико-ориентированная математическая подготовка имеет важное значение для студентов технических университетов, позволяющая обеспечить их математическими знаниями и навыками, необходимыми для их будущей профессиональной деятельности. С учётом *принципов актуализации универсальных компетенций, первичности практико-ориентированной учебной деятельности, практико-ориентированного целеполагания и определения содержания обучения, междисциплинарной интеграции, активного включения* обучения математике студентов, обучающихся по специальностям «Информационные системы и технологии», «Инженерная экономика», авторами построена методическая система, описывающая учебный процесс в условиях компьютеризации и цифровизации высшей технической школы [1].

На современное инженерное образование в эпоху, определяемой быстро развивающимися технологиями, а также тенденцией **NBIC-конвергенции** (от англ. N – нано, B – био, I – инфо, C – когно), выражающейся в нарастании взаимосвязей когнитивных наук, био-, нано- и информационно-коммуникационных технологий, значительно повлияла цифровая трансформация [4]. Цифровизация стала движущей силой в формировании образовательного ландшафта для инженеров. С появлением цифровых инструментов и ресурсов будущие инженеры в настоящее время имеют доступ к множеству информации, симуляций и приложений для проектирования различных систем. Используя алгоритмы

ИИ, инженеры могут оптимизировать проекты, автоматизировать процессы и повысить эффективность инженерных систем.

Так, например, студенты специальности «Информационные системы и технологии» при выполнении инновационно-рационального проекта «Виртуальные туры: практическое руководство» для предприятия «БЕЛАЗ» в командной работе использовали доску Jira – инструмент управления проектом, который способствовал оптимизировать работу команды (рис.1). К основному программному обеспечению для реализации проекта на этапе съёмки относили: Adobe Photoshop – для обработки изображений, Kolor Panatour V2.5.1 – для создания 3D-тура (рис. 2).

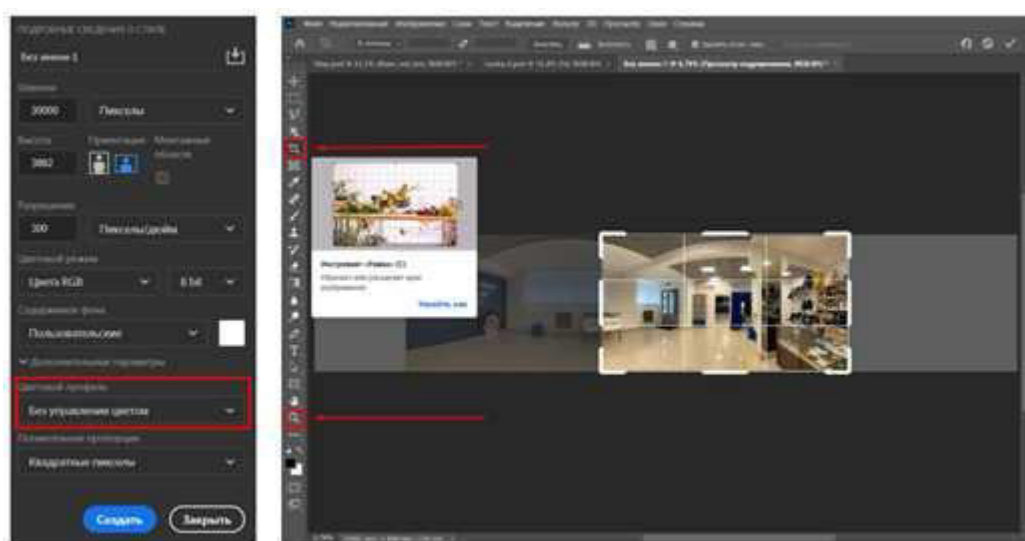


Рис. 1. Демонстрация работы на доске Jira

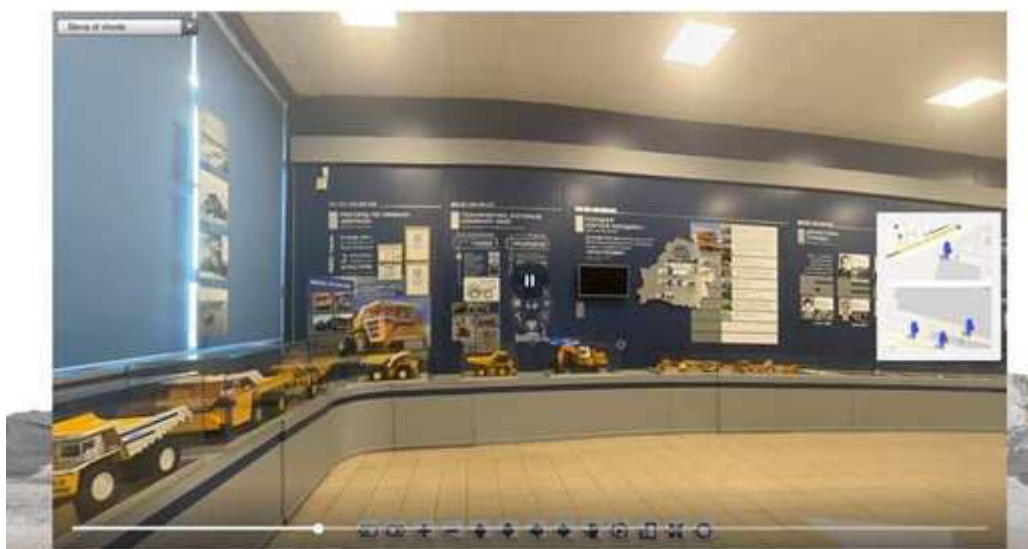


Рис. 2. Интерфейс рабочей области Kolor Panatour V2.5

Характерными особенностями математического образования в техническом университете являются непрерывность изучения и применения математики, фундаментальность математической подготовки, ориентированность курса математики на практику. Математическая подготовка студентов, обучающихся по специальности «Информационные системы и технологии» состоит в изучении математики и её применении в других дисциплинах таких как «Алгоритмы и модели машинного обучения», «Системы и методы управления базами данных», «Компьютерное конечно-элементное моделирование», «Методы и алгоритмы компьютерной графики» и др., по специальности «Инженерная экономика» – с дисциплинами «Бизнес-аналитика», «Микроэкономика», «Макроэкономика» и др.

При построении методической системы мы ориентировались на традиционную структуру методической системы, включающей цели, содержание, формы, методы, средства, дополненную субъект-субъектным взаимодействием в отношении преподавателя и обучающегося [5], а также учитывали современные исследования в этом направлении, связанные с овладением будущими инженерами базовыми профессиональными компетенциями в области моделирования, в том числе и компьютерными, способствующими формированию математической цифровой компетентности. Под **математической цифровой компетентностью** будем понимать компетентность, которая характеризуется знанием математических понятий, методов, отношений и владением цифровыми инструментами для использования их в инженерной деятельности, определяющего готовность и способность решать проблемы инженерии средствами математического и компьютерного моделирования [2]. Применительно к нашему исследованию, **компьютерно-педагогическое сопровождение** рассматривается как системное, дидактически целесообразное использование электронных ресурсов (компьютерных и цифровых технологий) в процессе субъект-активного взаимодействия преподавателя и студентов с целью повышения эффективности формирования универсальных и базовых профессиональных компетенций при обучении студентов инженерно-технических специальностей математике [3].

Библиографические ссылки

1. Бадак Б. А., Бровка Н. В. О принципах практико-ориентированного обучения математике студентов технического университета [Электронный ресурс] // THEORIA: журнал исследований в образовании. 2023. № 4 (2). С. 11-21. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1054475> (дата обращения: 10.06.2024).
2. Бадак, Б. А. Методологические предпосылки реализации практико-ориентированного обучения математическим дисциплинам в техническом университете // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна. 2023. № 2 (62). С. 37-44.

3. *Бадак, Б. А.* Об особенностях компьютерно-педагогического сопровождения в практико-ориентированной математической подготовке студентов технического университета // Дидактика математики: проблемы и исследования. 2023. № 4 (60). С. 37–47. DOI:10.24412/2079-9152-2023-60-37-47.

4. *Бадак, Б. А.* Дидактические особенности организации компьютерных средств обучения студентов математических специальностей // Информатика и образование. 2020. № 1. С. 34-41.

5. *Бровка Н. В.* Интеграция теории и практики обучения математике как средство повышения качества подготовки студентов Минск: БГУ, 2009. – С. 243.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В СОЗДАНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТУРОВ: ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

Р. А. Борсук¹⁾, А. А. Дмитриев²⁾

¹⁾ *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 4,
220013, Беларусь, BorsukRA@gmail.com*

²⁾ *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 4,
220013, Беларусь, artur.dm.2005@yandex.ru*

Научный руководитель — Б. А. Бадак, старший преподаватель

В статье рассматривается математическая модель виртуального тура. Решены следующие задачи: произведена оценка смещения камеры во время создания панорамы; составлен кратчайший путь обхода точек интереса; составлена математическая модель поведения камеры.

Ключевые слова: виртуальный тур; БЕЛАЗ; математическая модель.

Посещая экскурсию на территории предприятия БЕЛАЗ, мы обратили внимание, что данная экскурсия предельно подходит для реализации в виртуальной среде, чтобы желающие посетить место вживую, могли предварительно взглянуть на ту или иную часть экскурсии и решиться на поездку. Также, приняв во внимание тот факт, что мы являемся студентами технического ВУЗа, наша команда не могла обделить вниманием заявление, что все в мире может быть описано с помощью математических моделей. В нашем же случае изучение и формирование математической модели виртуальных туров может существенно упростить их создание, а также повысить их качество. Поэтому, помимо создания практического руководства, еще одной целью данной работы стало создание математической модели виртуального тура. При таких условиях, закономерным образом после достижения поставленных задач выявилось, что наша работа есть наглядная демонстрация использования математических моделей даже в таких областях, как создание виртуальных туров. А распространение нашей работы как таковой является неоспоримым аргументом в пользу обозревания участия математики в нашей жизни, что существенно повышает интерес к изучению аспектов высшей математики.

Целью данной работы является создание виртуального тура. Предметом исследования был выбран виртуальный тур по предприятию БЕЛАЗ, расположенному в г. Жодино.

Для достижения цели исследования нами были поставлены следующие задачи:

1. Оценить смещение камеры во время создания панорамы.
2. Составить кратчайший путь обхода всех точек интереса.
3. Составить математическую модель поведения камеры.

ОЦЕНКА СМЕЩЕНИЯ КАМЕРЫ

При съемке панорамы с использованием штатива возможно смещение головки штатива в горизонтальной плоскости. Это может привести к небольшому съезду при стыке панорамных кадров. Смещение камеры выглядит следующим образом (рис.1):

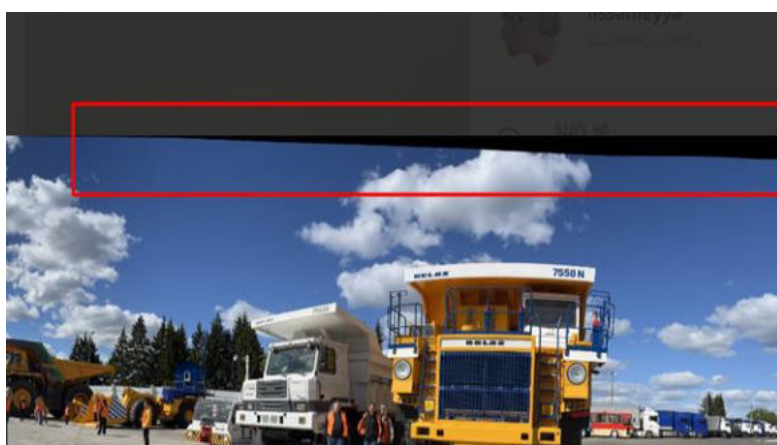


Рис. 1. Смещение камеры

Для расчета смещения камеры применяется следующая формула:

$$x = \frac{dL}{f},$$

где d – расстояние от головки штатива до стыка панорамных кадров; f – фокусное расстояние объектива; L – длина панорамы.

В нашем случае смещение составило 192.3 мм, что является удовлетворительным результатом.

КРАТЧАЙШИЙ ПУТЬ ОБХОДА

В качестве алгоритма обхода был выбран Гамильтонов цикл (рис.2). В нашей работе построение Гамильтонова пути состояло из 2 этапов:

- 1) С помощью Яндекс Карт был построен граф, узлами которого являются точки интереса предприятия, и проведена оценка его ребер.
- 2) Применив Гамильтонов цикл, получили кратчайший путь обхода.

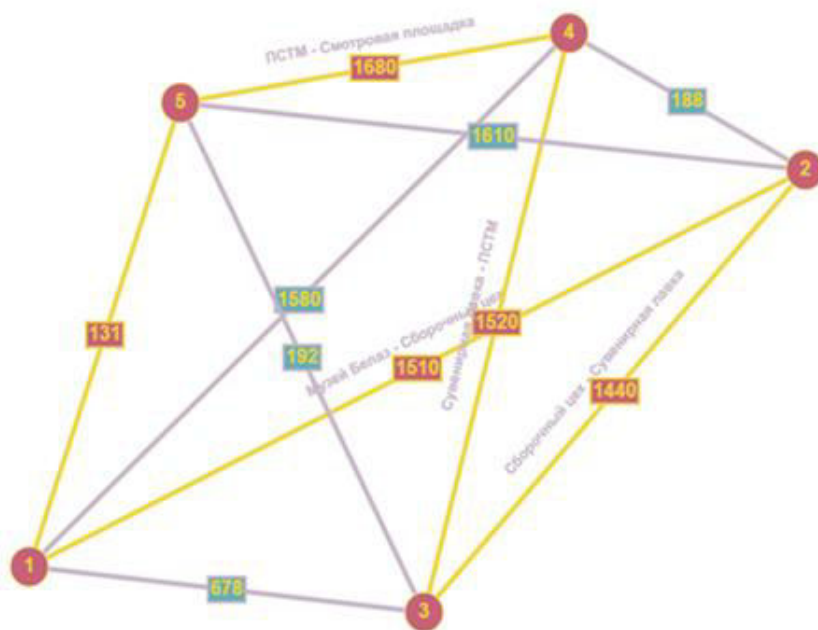


Рис. 2. Демонстрация кратчайшего пути обхода

На рисунке 2 введены следующие обозначения:

- 1 – Музей БЕЛАЗ;
- 2 – Сборочный цех;
- 3 – Сувенирная лавка;
- 4 – ПСТМ;
- 5 – Смотровая площадка.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАМЕРЫ

Данная математическая модель будет также справедлива для вращения камеры в играх, CSS-преобразований и вообще везде, где есть какое-либо вращение камеры или перемещение объектов в пространстве [1].

Достаточно очевидно то, что операции над камерой обратны операциям над изображением (вращение изображения по часовой стрелке эквивалентно вращению камеры против часовой стрелки и т.д.). Далее мы будем рассматривать манипуляции над изображениями.

В компьютерной графике точки в пространстве задаются векторами. Следовательно, проводя операции над этими векторами, мы проведём операции над всем изображением и, соответственно, над камерой.

К операциям над изображениями относят:

- 1) Сдвиг.
- 2) Вращение.

Операция сдвига. Сдвиг – это процесс добавления одного вектора к другому для получения нового вектора с другой позицией [1]. Для операции сдвига следует применять матрицу сдвига. Если мы представим вектор сдвига как (T_x, T_y, T_z) , то мы можем определить матрицу сдвига следующим образом:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Операция вращения. Любой поворот в трёх измерениях эквивалентен последовательности поворотов вокруг каждой из координатных осей. Для вращения вектора вокруг конкретной оси достаточно умножить матрицу вращения на данный вектор. Матрицы вращения вдоль каждой из осей (Ox , Oy и Oz) имеют вид:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В ходе работы была составлена математическая модель виртуального тура. Данная модель даёт общее представление о математике виртуальных туров и может быть использована для создания качественных туров.

Библиографические ссылки

1. Как вращается матрица в 3D-играх и что такое матрица поворота [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/234203/> (дата обращения: 10.06.2024).

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ LSTM И HOLT-WINTERS ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН АКЦИЙ APPLE

Д. И. Бураков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, tmf.burakov@bsu.by
Научный руководитель — Г.С. Ромащенко, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В данной работе проводится сравнительный анализ двух моделей — LSTM и Holt-Winters, используемых для прогнозирования цен акций. Цель исследования — определить, какая из моделей обеспечивает более точное предсказание цен на акции компании Apple. В работе рассматриваются основные концепции временных рядов и методы их анализа. На основании проведенного анализа и сравнения прогнозов делаются выводы о преимуществах и недостатках каждой из моделей.

Ключевые слова: LSTM; Holt-Winters; цены акций; Apple; Python; тренд; сезонность; экспоненциальное сглаживание;

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматриваются две математические модели для прогнозирования цен акций: LSTM (Long Short-Term Memory) и модель Holt-Winters.

Модель LSTM является одним из видов рекуррентных нейронных сетей, способных учитывать долгосрочные зависимости в данных временных рядов. Модель Holt-Winters, в свою очередь, представляет собой расширение модели экспоненциального сглаживания, учитывающее сезонные колебания и тренды.

Целью данного исследования является сравнение точности прогнозов моделей LSTM и Holt-Winters на примере акций компании Apple. В ходе исследования будут проведены анализ временных рядов, реализация моделей на языке программирования Python и оценка точности прогнозов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа и прогнозирования использовались исторические данные о ценах акций компании Apple (AAPL), которые были получены из открытых источников. Данные включали дневные котировки акций за период с 2010 по 2020 год. Основные параметры данных включали открытие, закрытие, максимальную и минимальную цены, а также объем торгов. Прогнозировались данные на период с января 2021 года по март 2021 года.

Перед применением моделей данные были предварительно обработаны. Это включало следующие шаги:

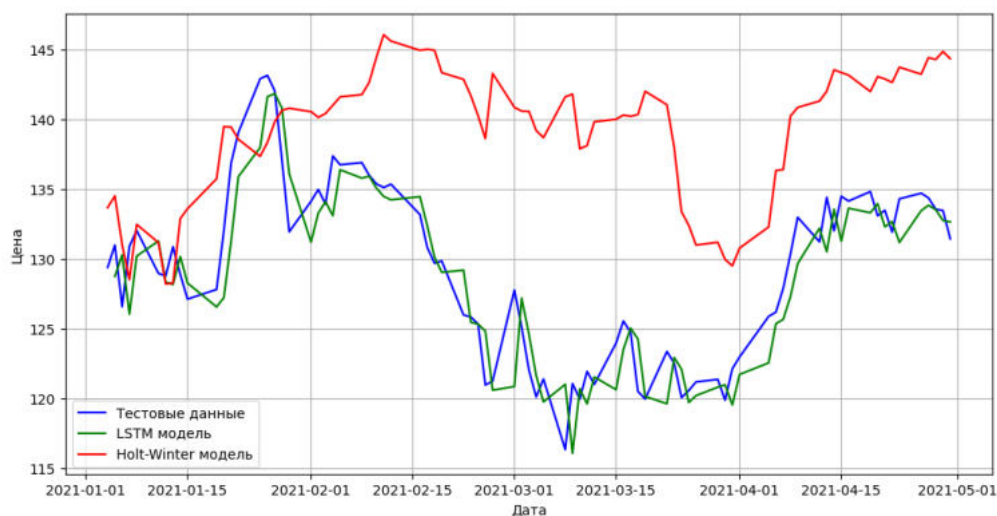
1. Удаление пропущенных значений.
2. Приведение данных к формату временного ряда.
3. Масштабирование данных для нормализации значений.

Модель LSTM (Long Short-Term Memory) представляет собой разновидность рекуррентной нейронной сети (RNN), которая эффективно работает с последовательностями данных и способна учитывать долгосрочные зависимости. В данной работе использовалась библиотека Keras для реализации модели LSTM.

Модель Holt-Winters представляет собой метод экспоненциального сглаживания, который учитывает тренды и сезонные колебания в данных временного ряда. В данной работе использовалась библиотека statsmodels для реализации модели Holt-Winters.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлен график сравнения моделей с действительными ценами (рисунок)



Сравнение моделей LSTM и Holt-Winters с действительными ценами

Модель Holt-Winters хорошо учитывает сезонные колебания и тренды в начале периода (январь-февраль), но имеет тенденцию к завышению цен в марте и апреле. Эта модель в основном предназначена для временных рядов с сезонностью, поэтому она может хорошо справляться с колебаниями на коротких интервалах, но может не всегда корректно предсказывать дол-

госрочные тренды, особенно если данные нестабильны. В некоторых случаях (например, в начале февраля и середине марта) модель Holt-Winters не успевает адаптироваться к резким изменениям в данных, что приводит к значительным отклонениям от тестовых данных. В феврале-апреле модель часто предсказывает более высокие значения по сравнению с фактическими данными, что говорит о недостатке точности в условиях значительных колебаний.

LSTM модель более гибкая и лучше следует за фактическими данными. Эта модель, обученная на больших наборах данных, способна улавливать сложные паттерны и долгосрочные зависимости в данных, что делает ее более точной в долгосрочных прогнозах. У этой модели лучше способность к адаптации, корректно отражая большинство резких изменений в тестовых данных, особенно в периодах с конца марта до начала мая. Демонстрирует высокую точность на протяжении всего периода, особенно в условиях нестабильности (март-апрель), когда зеленая линия идет ближе к синей линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выбор модели зависит от характера данных и требований к точности прогнозов. Для данных с выраженной сезонностью и трендами модель Holt-Winters может быть полезна, в то время как для более сложных и нестабильных данных LSTM модель может предложить лучшие результаты.

Сравнение ошибок моделей явно демонстрирует преимущество модели LSTM в плане точности прогнозов. Низкая процентная ошибка (не более 4%) указывает на то, что LSTM модель значительно лучше справляется с задачей предсказания временных рядов по сравнению с моделью Holt-Winters, чья ошибка может достигать 20%. Таким образом, для более точных и надежных прогнозов, особенно в условиях сложных и изменчивых данных, предпочтительно использовать модель LSTM.

Библиографические ссылки

1. Открытое образование [Электронный ресурс]. URL: <https://openedu.ru> (дата обращения: 29.02.2024).
2. Елисеева И. И. Эконометрика. – Москва : Юрайт, 2024.
3. Мельников А. В., Попова Н. В., Скорнякова В. С. Математические методы финансового анализа. – Москва : АНКЛ, 2006.
4. История цен на акции Apple [Электронный ресурс]. URL: <https://finance.yahoo.com/quote/AAPL/history/> (дата обращения: 23.04.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «КОДЕКСЫ РБ»: АНАЛИЗ И ВОЗМОЖНОСТИ

А. Ю. Гриц

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, antongric558@gmail.com*

Научный руководитель — А. А. Дерюшев, кандидат технических наук, доцент

Мобильное приложение «Кодексы РБ» для iOS представляет собой удобный инструмент для доступа к нормативно-правовым актам Республики Беларусь. Приложение разработано мною для операционной системы iOS и предоставляет пользователю доступ к широкому спектру кодексов Беларуси. Пользователи могут быстро и удобно находить и изучать необходимые нормативные документы, осуществлять поиск по ключевым словам, а также сохранять интересующие тексты для офлайн-чтения.

Ключевые слова: мобильное приложение; iOS; кодексы РБ; нормативно-правовые акты; доступ к законодательству.

ВВЕДЕНИЕ

В любой профессиональной деятельности человек должен придерживаться законодательства, а поэтому должен иметь доступ к законодательной базе. Знание кодексов помогает человеку понимать, на что он имеет право.

Мобильные приложения становятся все более популярными среди пользователей, предоставляя им удобный способ получения информации и решения различных задач прямо с мобильных устройств. В сфере права и нормативной деятельности также появляются приложения, упрощающие доступ к законодательству и нормативно-правовым актам. Мобильное приложение «Кодексы РБ» является одним из таких приложений, предоставляя пользователям возможность быстрого и удобного доступа к кодексам Республики Беларусь.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основной целью данного исследования является разработка мобильного приложения «Кодексы РБ», которое предоставит пользователям более удобный и эффективный доступ к нормативно-правовым актам Республики Беларусь, чем его аналог «ЭТАЛОН-ONLINE».

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ ДОСТУПА К ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВУ И НОРМАТИВНЫМ АКТАМ

Для эффективного проектирования и разработки мобильного приложения «Кодексы РБ» был проведен анализ требований и потребностей

пользователей в области доступа к законодательству и нормативным актам. Основные выявленные потребности включают:

1. Удобный доступ к актуальным нормативным документам:

Пользователи хотят быстро и легко получать доступ к актуальным законодательным актам и кодексам;

2. Возможность работы в офлайн-режиме:

В условиях отсутствия интернета пользователи хотят иметь возможность работать с сохраненными текстами нормативных документов;

3. Простой и понятный интерфейс:

Пользователи ценят простоту и интуитивную понятность интерфейса приложения для быстрого поиска и чтения документов;

4. Актуальность информации:

Важно, чтобы приложение обеспечивало доступ к актуальным и свежим версиям нормативных актов.

ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ПРИЛОЖЕНИЯ

Мобильное приложение «Кодексы РБ» обладает широким спектром функций, делающих его незаменимым инструментом для юристов, студентов и всех, кто работает с нормативно-правовыми актами. Некоторые из функций приложения:

1. Поиск по ключевым словам:

Пользователи могут быстро найти необходимые нормативные документы, введя ключевые слова или фразы;

2. Изучение текстов:

Пользователи могут просматривать полные тексты кодексов и законов, а также осуществлять постраничное чтение;

3. Сохранение для офлайн-чтения:

Пользователи могут сохранять интересующие тексты для последующего офлайн-чтения, что особенно удобно в условиях отсутствия интернет-соединения;

4. Удобный интерфейс:

Приложение имеет интуитивно понятный интерфейс, позволяющий легко и быстро находить нужные документы и осуществлять навигацию по ним;

5. Оглавление:

Предоставление подробного оглавления для каждого кодекса, что позволяет пользователям быстро переходить к нужной статье или разделу;

6. Добавление закладок:

Возможность добавления закладок на интересующие статьи в кодексе для удобного последующего доступа.

СРАВНЕНИЕ С АНАЛОГОМ «ЭТАЛОН-ONLINE»

В сравнении с приложением «ЭТАЛОН-ONLINE», мобильное приложение «Кодексы РБ» обладает следующими преимуществами (таблица) [1]:

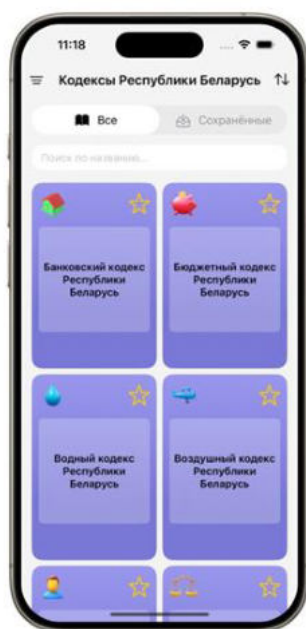
Сравнительная характеристика мобильных приложений

Особенность	«Кодексы РБ»	«ЭТАЛОН-ONLINE»
Удобный интерфейс	Да	Нет
Офлайн-доступ	Да	Да
Возможность сохранения текстов	Да	Да
Актуальность кодексов	Да	Нет

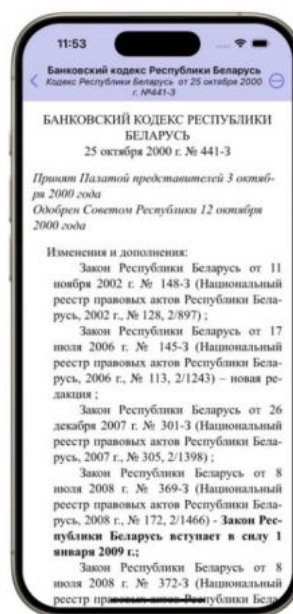
Как видно из таблицы, мобильное приложение «Кодексы РБ» обладает более современным и удобным интерфейсом, что делает его предпочтительным выбором для пользователей. Однако, приложение «ЭТАЛОН-ONLINE» имеет больший выбор документов и более обширную функциональность.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ РАБОТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ

Этот раздел предоставляет визуальное представление о работе приложения «Кодексы РБ». Первый скриншот (см. рис. 1а) демонстрирует главный экран приложения, где пользователю доступен список всех кодексов. Второй скриншот (см. рис. 1б) показывает конкретный документ.



а



б

Иллюстрация работы приложения:

а – главный экран; б – открытый документ в приложении «Кодексы РБ»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мобильное приложение «Кодексы РБ» представляет собой инновационный инструмент для обеспечения удобного и эффективного доступа к нормативно-правовым актам Республики Беларусь. Разработка и реализация данного приложения были осуществлены с учетом основных проблем и недостатков существующих аналогов, что позволяет сделать его предпочтительным выбором для пользователей. Перспективы развития приложения открывают широкие возможности для улучшения его функциональности и расширения аудитории пользователей.

Библиографические ссылки

1. Информационно-поисковая система (ИПС) «ЭТАЛОН-ONLINE» [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2024. URL: <https://etalonline.by/spravka/mobilnoe-prilozhenie/> (дата обращения: 29.04.2024).

ФОРМУЛЫ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ КОРНЕЙ НЕКОТОРЫХ МНОГОЧЛЕНОВ НАД КОЛЬЦАМИ С ДЕЛЕНИЕМ

А. Г. Гутор

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, goutor@bsu.by
Научный руководитель — С. В. Тихонов, кандидат физико-математических наук,
доцент

В работе приводится доказательство формул, позволяющих найти корни специальных многочленов с коэффициентами в кольце с делением. Данные формулы получены как обобщение известных формул для корней многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов.

Ключевые слова: кольцо с делением; корни многочленов; алгебра кватернионов; минимальный многочлен.

Под *кольцом с делением* A над F будем понимать ассоциативное кольцо A , для каждого ненулевого элемента которого существует обратный по умножению элемент, и которое также является векторным пространством над полем F . В качестве F чаще всего рассматривают центр A , т.е. множество элементов из A , которые перестановочны с любым элементом из A . Рассмотрим многочлены вида

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0, a_k \in A.$$

Вопрос нахождения корней многочленов над кольцами с делением изучается в теории колец и прикладной математике. Наиболее изученным является случай многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов.

Для элементов из A введём понятие *класса сопряжённости*. Элемент q' называется элементом из того же класса сопряжённости, что и q ($q : q'$), если существует $h \neq 0$, что $q' = hqh^{-1}$. A разбивается на множество непересекающихся классов сопряжённости элементов. Класс сопряжённости элемента q будем обозначать $[q] = \{q' \in A : q : q'\}$.

Заметим, что многочлен степени n с коэффициентами из поля имеет не более n корней в этом поле. Однако для многочлена степени n с коэффициентами из кольца с делением это уже не так. Но известно, что корни такого многочлена лежат не более чем в n классах сопряжённости [2, Th. 16.4].

Вначале в качестве A будем рассматривать алгебру гамильтоновых кватернионов $\mathbb{H}$. Напомним, что $\mathbb{H}$ является кольцом с делением над $\mathbb{R}$ размерности 4, т. е. состоит из элементов вида $q = q_0 + iq_1 + jq_2 + kq_3$, где $q_i \in \mathbb{R}$, $i^2 = j^2 = k^2 = -1$, $ij = -ji = k$ [1, с. 27]. Для элементов из $\mathbb{H}$ можно ввести понятия: *сопряжённый элемент* к q , $\bar{q} := q_0 - iq_1 - jq_2 - kq_3$; *норма* q , $|q| = \sqrt{q\bar{q}} = \sqrt{\bar{q}q} = \sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}$, *обратный* к любому ненулевому элементу $q^{-1} = \frac{\bar{q}}{|q|^2}$.

Многочлен, сопряжённый введённому многочлену $P(x)$, если $A = \mathbb{H}$:

$$\bar{P}(x) := \bar{a}_n x^n + \bar{a}_{n-1} x^{n-1} + \dots + \bar{a}_1 x + \bar{a}_0.$$

Любой унитарный ($a_n = 1$) многочлен $P(x)$ из $\mathbb{H}[x]$ разлагается на линейные множители, т. е. существуют $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{H}$ такие, что

$$P(x) = (x - x_n)(x - x_{n-1}) \dots (x - x_1),$$

где упорядоченную последовательность $(x_1, \dots, x_n)$ будем называть цепочкой многочлена $P(x)$ [2]. Из данного разложения следует, что x_1 является корнем многочлена $P(x)$ [2, с. 262]. Напомним, что корни многочлена $P(x)$ лежат не более чем в n классах сопряжённости, а также то, что любой корень лежит в одном классе сопряжённости с некоторым элементом x_i [2, с. 263]. Либо единственный элемент из данного класса сопряжённости является корнем многочлена, тогда корень называется *изолированным*, либо все элементы класса являются корнями, корень в этом случае называется *сферическим* [3, с. 96].

Известна следующая формула для корней многочлена $P(x) = (x - x_n)(x - x_{n-1}) \dots (x - x_1)$, если элементы цепочки x_k из различных классов сопряжённости [3 с. 97]:

$$\zeta_k = \bar{P}_k(x_k) x_k (\bar{P}_k(x_k))^{-1}; \quad k = 1, \dots, n,$$

$$\text{где } P_k(x) := \begin{cases} 1, & k = 1 \\ (x - x_{k-1}) \dots (x - x_1), & \text{иначе.} \end{cases}$$

В работе [4] нами получено обобщение данной формулы для случая произвольного кольца с делением.

Теорема. Пусть A является кольцом с делением над центром F . Пусть также

$$P(x) = (x - x_n) \dots (x - x_1),$$

где $x_1, \dots, x_n \in A$. Пусть также $x_1, \dots, x_{n-1}$ алгебраические над F . Обозначим $f_i(x)$ минимальные многочлены элементов x_i , $i = 1, \dots, n-1$. Если классы сопряжённости $[x_k]$ различны, тогда многочлен $P(x)$ имеет ровно n корней ζ_k , которые связаны с x_k следующим образом:

$$\zeta_k = P_k(x_k) x_k (P_k(x_k))^{-1}; \quad k = 1, \dots, n,$$

$$P_k(x) := \begin{cases} 1, & \text{if } k = 1, \\ S_1(x) \dots S_{k-1}(x), & \text{иначе,} \end{cases}$$

где $S_i(x) \in A[x]$ такие что $f_i(x) = S_i(x)(x - x_i)$, $i = 1, \dots, n-1$.

Доказательство. Заметим, что $S_i(x) \in F(x_i)[x]$ (следует из того, что $f_i(x)$ делятся на $(x - x_i)$ для соответствующего x_i в кольце $F(x_i)[x]$), значит

$$f_i(x) = S_i(x)(x - x_i) = (x - x_i)S_i(x) \text{ для } i = 1, \dots, n-1.$$

Заметим, что x_1 является корнем $P(x)$, что удовлетворяет формулам при $k = 1$. Далее умножим выражение $P(x) = (x - x_n) \dots (x - x_1)$ на $S_1(x)$ справа:

$$\begin{aligned} P(x)S_1(x) &= (x - x_n) \dots (x - x_1)S_1(x) = (x - x_n) \dots (x - x_2)f_1(x) = \\ &= f_1(x)(x - x_n) \dots (x - x_2). \end{aligned}$$

Из этого следует, что x_2 – корень последнего выражения, а значит, и $P(x)S_1(x)$. Но x_2 не является корнем $S_1(x)$, т.к. все корни $S_1(x)$ лежат в классе $[x_1]$. Далее для доказательства понадобится следующее утверждение.

Утверждение 1. ([2, Pr. 16.3]). Пусть A является кольцом с делением и пусть $P(x) = L(x)R(x) \in A[x]$. Пусть $d \in A$ такое что $h := R(d) \neq 0$. Тогда

$$P(d) = L(hdh^{-1})R(d).$$

В частности, если d – корень $P(x)$, но не корень $R(x)$, тогда hdh^{-1} – корень $L(x)$.

Согласно утверждению выше $\zeta_2 = S_1(x_2)x_2(S_1(x_2))^{-1}$ – корень $P(x)$. Далее равенство $P(x)S_1(x) = f_1(x)(x - x_n) \dots (x - x_2)$ умножаем справа на $S_2(x)$

$$P(x)P_3(x)=P(x)S_1(x) S_2(x)=f_1(x) (x-x_n) \dots (x-x_2) S_2(x) = \\ =f_1(x) (x-x_n) \dots (x-x_3) f_2(x) =f_1(x) f_2(x) (x-x_n) \dots (x-x_3).$$

Для дальнейшего доказательства понадобится утверждение.

Утверждение 2 [4]. Если a является корнем произведения $S_1(x) \dots S_n(x)$, то a сопряжено корню $S_i(x)$ для некоторого $i = 1, \dots, n$.

Доказательство утверждения 2. Докажем по индукции. Для $n = 2$ утверждение 2 верно (утв. 1). Предположим, что верно для $n - 1$. Докажем для n . Пусть a является корнем $S_1(x) \dots S_n(x)$, тогда либо a – корень $S_n(x)$, либо a сопряжено корню $S_1(x) \dots S_{n-1}(x)$ (утв. 1). Но предполагали, что корень произведения сопряжён корню $S_i(x)$ для некоторого $i = 1, \dots, n - 1$. Следовательно, a сопряжено корню $S_i(x)$ для некоторого $i = 1, \dots, n$. $\square$

Вернёмся к доказательству теоремы. Из равенства

$$P(x) S_1(x) S_2(x) = f_1(x) f_2(x) (x - x_n) \dots (x - x_3)$$

следует, что x_3 – корень правой части, а значит, и левой. По утверждению 2, если бы x_3 был корнем $S_1(x) S_2(x)$, то был бы сопряжён корню $S_1(x)$ либо корню $S_2(x)$, но это не так. Значит, по утверждению 1, $\zeta_3 = P_3(x_3)x_3(P_3(x_3))^{-1}$ – корень $P(x)$. Продолжая процесс, получим оставшиеся корни $P(x)$. $\square$

Заметим, что иногда нахождение корней с коэффициентами в некоммутативной алгебре может быть сведено к коммутативному случаю [5], что упрощает вычисления.

Библиографические ссылки

1. Пирс Р. Ассоциативные алгебры. – М.: Мир, 1986.
2. Lam T. Y. A first course in noncommutative rings. Graduate Texts in Mathematics. – New York: Springer-Verlag, 1991.
3. Falcao M. I. [et al.] Mathematica Tools for Quaternionic Polynomials. // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10405. P. 394-408.
4. Goutor A., Tikhonov S. Roots of polynomials over division rings, Preprint. <https://arxiv.org/abs/2403.10999>
5. Гутор А., Тихонов С. О корнях многочленов с коэффициентами в алгебре гамильтоновых кватернионов // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов XI Международной научной конференции, посвященной памяти В.А. Романькова (Омск, 15 марта, 2024 г.) [отв. за вып. И.П. Бесценный]. Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2024. С. 20-23.

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИИ НА ИСТОРИЧЕСКУЮ ТЕМУ И ПО ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОМУ ИСКУССТВУ

В. В. Карпович

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, busymailfor@gmail.com
Научный руководитель — А. Е. Люлькин, кандидат технических наук, доцент*

В данной работе описывается процесс проектирования и имплементации веб-приложения, целью создания которого является повышение достоверности информации, выдаваемой поисковыми движками при формулировании запросов, связанных с вопросами истории и изобразительного искусства. Авторами приведены примеры проблем, с которыми они столкнулись в процессе разработки, а также путей их решения.

Ключевые слова: веб-разработка; распознавание текста; оптимизация поисковых запросов.

Проблема поиска релевантной и достоверной информации становится все более актуальной в связи с цифровизацией всех аспектов общества, его информационной трансформацией. Поисковые механизмы, обеспечивающие таргетинг, контекстную рекламу при этом засоряют поисковую выдачу, и с развитием данных механизмов адаптироваться к скорости изменений, вносимых в поисковые движки, становится все более трудно. Также сомнительную ценность представляют вики-проекты, редактировать которые может каждый зарегистрированный пользователь, при условии того, что не каждая статья проходит соответствующую модерацию. Поиск достоверной информации нелегко сделать доступным, поэтому в рамках описываемой работы был проведен анализ источников и методов обеспечения доступа к релевантным сведениям по двум областям, представляющим особую сложность: изобразительное искусство и история.

Разработка приложения, предлагающего пользователю удобный интерфейс для взаимодействия с базами данных, началась с определения дизайна: чтобы сам внешний вид проекта соответствовал одной из его основных целей – обеспечению удобной навигации – было решено упростить его до основных кнопок контекстного меню браузера. Несмотря на то, что данный подход делает приложение схожим с обычным плагином, его главная задача, очевидно, выходит далеко за пределы надстройки для браузера.

Определиться с тем, какую информацию считать достоверной, и как при этом формировать положительный пользовательский опыт, не перегружая ищущего информацию человека энциклопедической и архивной

терминологией, достаточно непросто. Было решено, во-первых, сузить выборку данных до информации, описанной в книгах, исследовательских и научных трудах, которые признаются научным сообществом. Приоритет отдается источникам с цитированием, в частности, тем из них, что поисковые движки могут обнаружить в библиографических и реферативных базах данных (таких как Web of Science, Scopus и т.д.) – при этом стоит оговориться и заметить, что гарантировать полной правдивости информации, изложенной в отобранных таким образом источниках, нельзя, так как не исключается человеческий фактор или ошибка поисковой системы.

Во-вторых, реферативная и энциклопедическая информация, которой можно доверять, чаще всего подается в виде, достаточно сложном для восприятия человека, не являющегося ученым или специалистом в данной теме. Таким образом, возникает проблема сбора и обработки информации, решением которой является создание фрагмента текста, описывающего ту или иную концепцию или факт в максимально удобной форме. Для достижения результатов в проекте были реализованы поисковая машина, состоящая из индексатора, лемматизатора, генератора словаря; парсер, собирающий информацию; препроцессинг, служащий для очистки текста от издержек форматирования и вторичной его обработки; сервис-прослойка между поисковым движком и интерфейсом, позволяющий обеспечить дополнительную безопасность и изменение поисковых алгоритмов без необходимости изменения самого расширения.

Сложность структура разработанной поисковой машины обусловлена тем, что сбор информации из печатных изданий, электронные версии которых размещены в библиографических базах, может быть затруднен качеством монтажа страниц документов (например, если говорить о ксерокопиях, составляющих PDF-файлы). Ключевую проблему здесь составляют поиск более качественных версий документа, желательно, с распознаваемым текстом, а также метаданные о шрифтах и иллюстрациях. Важно заметить, что задача получения информации из таких файлов, вообще говоря, на данный момент решается с помощью нейронных сетей и машинного зрения, поэтому распознавание текста осуществляется с помощью обученной на большом количестве шрифтов модели. Использование моделей ИИ и результатов работы нейронных сетей также не является чем-то новым в веб-направлении: например, браузер Орега также имеет основанный на ИИ инструментарий.

После того, как информация получена и обработана, парсер выдает наиболее релевантные запросу пользователя сведения как фрагменты. Стоит заметить, что определение объема фрагмента – это отдельная задача, так как для приложения, нацеленного на повышение истинности сведений

при поиске, недопустимо вырывать фразы из контекста. При формировании фрагментов возможны ситуации, когда часть текста необходимо опустить по причинам дополнительных пояснений автора – в таком случае необходимо предоставить пользователю намек на это, указав вместо пропущенного текста угловые скобки и многоточие. Говоря же о сохранении контекста при выделении начала и конца фрагмента, нужно иметь в виду, что данная проблема уже давно решена применением движков Apache Lucene, Sphinx Engine и Manticore Search – так, даже без разработанного приложения всякий пользователь может найти благодаря их интеграции в сайты соответствующие именно его запросу сведения.

Несмотря на это, ценность приложения сохраняется: на данный момент, если подобные приложения-«верификаторы» и существуют, они еще не пользуются популярностью. По этой причине актуальность и востребованность разработанного программного решения остаются высокими.

Библиографические ссылки

1. MongoDB: официальная документация [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.mongodb.com/> (дата обращения: 13.04.2024).
2. ManticoreSearch: официальная документация [Электронный ресурс]. URL: <https://manual.manticoresearch.com/> (дата обращения: 09.03.2024).
3. Puppeteer: официальная документация [Электронный ресурс]. URL: <https://pptr.dev/> (дата обращения: 09.03.2024).

АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В. С. Ковалевская

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, varvajonok@gmail.by
Научный руководитель — Л. Л. Голубева, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В эпоху цифровых технологий социальные сети превратились в одну из основных платформ для общения, развлечения, поиска информации и маркетинговых коммуникаций. Они предоставляют уникальную возможность для изучения поведения пользователей, анализа их предпочтений и исследования социальных взаимодействий. Анализ социальных сетей выделяется как важная область исследований, обеспечивающая глубокое понимание структуры, динамики и влияния связей между людьми и организациями в онлайн-пространстве. Целью данной работы является изучение и анализ социальных сетей с использованием современных методов и инструментов анализа данных, а также исследование взаимосвязи между различными характеристиками контента и уровнем вовлеченности пользователей.

Ключевые слова: анализ социальных сетей; HAR (HTTP Archive) скрэпинг; анонимизация данных; граф социальной сети; анализ данных.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ социальных сетей – это научный подход к изучению социальных связей, применяющий принципы теории сетей для понимания структуры и динамики социальных отношений. Основными элементами этого анализа являются понятия узлов и ребер. Узлы символизируют отдельных объектов, участников социальной сети, а ребра (или связи) отражают различные виды отношений между ними, такие как дружба, родственные или профессиональные связи и другие формы взаимодействия.

На 2024 год топ пять самых популярных социальных сетей в мире являются Facebook, YouTube, Instagram, WhatsApp и TikTok [4]. В данной работе проводился анализ социальной сети Instagram.

СБОР И ПОДГОТОВКА ДАННЫХ

Использование открытых источников данных ставит перед пользователями как юридические, так и этические вопросы [1]. Даже с такими данными могут возникать определенные сложности, а их использование подчиняется определенным принципам и правилам, которые важно изучить и соблюдать. Одним из ключевых юридических аспектов является вопрос о правах на интеллектуальную собственность. Поэтому даже для использования открытых данных, может потребоваться получение согласия от владельцев. Необходимо учитывать ряд ключевых законов о защите данных. Эти

законы варьируются в зависимости от географического региона, но один из наиболее важных является общий регламент по защите данных. В Беларуси использование персональных данных регулируется Законом Республики Беларусь «О защите персональных данных» № 99-З от 07.05.2021 [3].

Одним из ключевых способов в обеспечении защиты личной информации при проведении исследований является анонимизация данных. Учитывая текущие ограничения, связанные с политикой конфиденциальности, существует несколько методов получения информации из Instagram: использование Instagram Graph API, Web Scraping, использование сторонних сервисов и инструментов, ручной сбор данных.

Важно отметить, что перед сбором данных было получено разрешение у пользователей, анализ чьих данных проводился.

В данной работе использовался метод HAR (HTTP Archive) скрэпинга [2] для сбора общей информации некоторых пользователей, а также информации об их подписках. Из всех записей HAR файла выбирались только те, которые соответствуют URL запросам к API Instagram для получения списка подписчиков. Для каждого пользователя были извлечены общие данные и добавлены в список вершин. Связи были добавлены в список ребер, который содержит идентификатор текущего пользователя и идентификатор подписки. Также данные собирались с помощью библиотеки Instaloader. Для использования библиотеки необходима аутентификация.

ГРАФ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Для построения графа социальной сети была использована библиотека NetworkX (рис. 1) [5]. Визуализация служит для анализа структуры социальной сети, выявления ключевых узлов и понимания взаимосвязей между пользователями.

Размер узлов пропорционален степени узла – количеству соединений с другими узлами. Размер узлов позволяет быстро идентифицировать пользователей с наибольшим количеством связей, что может указывать на ключевых участников сети или более популярных пользователей. Цвета узлов графа определяются в зависимости от значения поля `is_private`. Если значение `is_private` равно `True`, то узел окрашивается в красный цвет, иначе – в синий. Это позволяет визуально различать приватные и публичные аккаунты пользователей.

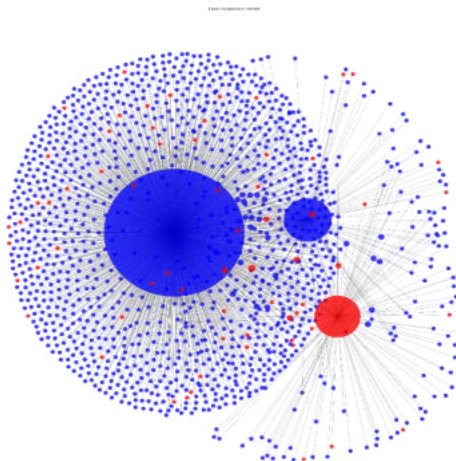


Рис. 1. Граф социальной сети Instagram

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Набор данных, полученный с помощью библиотеки Instaloader, был сгруппирован по дню недели и был произведен расчет суммарного количества комментариев и отметок «нравится», а затем построена столбчатые диаграммы. Из временного тренда отметок «нравится» (рис. 2а) видно, что наибольшее их количество приходится на четверг и пятницу. В субботу в собранном наборе данных вообще отсутствуют лайки. Из временного тренда комментариев видно, что больше всего люди комментируют посты в понедельник (рис. 2б).

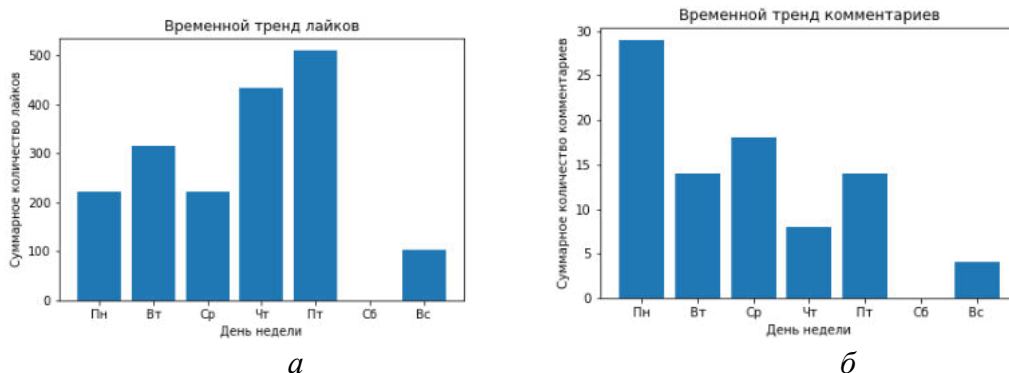


Рис. 2. Временной тренд
а – отметок «нравится»; б – комментариев

Диаграмма рассеивания (рис. 3) представлена в виде набора точек и демонстрирует взаимосвязь между количеством медиаэлементов (количество медиа элементов в посте) и двумя показателями взаимодействия аудитории: количеством лайков и количеством комментариев. Отметки «нравится» обозначены синим цветом, комментарии – красным.

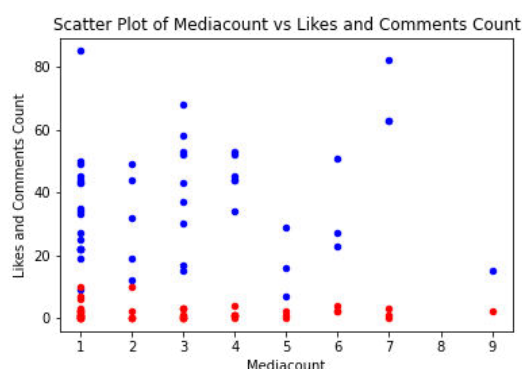


Рис. 3. Диаграмма рассеивания

Наблюдается общая тенденция к увеличению количества лайков по мере роста числа медиаэлементов в посте. Это указывает на потенциальную корреляцию между включением медиаконтента в публикации и повышением их вовлеченности.

Также из графика видно, что рост в количестве лайков более выражен, чем в количестве комментариев. Это может указывать на то, что пользователи более склонны реагировать на контент с помощью лайка, чем оставляя комментарий.

Несмотря на общую тенденцию, график демонстрирует значительный разброс точек, что свидетельствует о вариативности данных. Это может означать, что фактор количества медиаэлементов не является единственным определяющим вовлеченность аудитории.

Библиографические ссылки

1. И. А. Щеглова. Этические и правовые аспекты использования данных из социальных медиа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/eticheskie-i-pravovye-aspekty-ispolzovaniya-dannyh-iz-sotsialnyh-media/viewer>
2. Collect, Process, Visualize - Programming Social Graphs (Instagram, Python, Gephi). [Электронный ресурс]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=CgHDt_aKyCc
3. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2022/november/72150/>
4. Most popular social networks worldwide as of April 2024, ranked by number of monthly active users. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users/>
5. Python 3.12.4 documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.python.org/3/>

НЕПРЕРЫВНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АЛГЕБР РАЗРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

И. Л. Люксембург

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, josef2016kolbasidze@mail.ru
Научный руководитель — А.Б. Антоневиц, доктор физико-математических
наук, профессор*

Объектом исследования является алгебра $R[0; 1]$ всех комплекснозначных функций, которые определены на сегменте $[0; 1]$, непрерывны слева в каждой точке, непрерывны в 0 и имеют разве лишь конечные разрывы, операции сложения, произведения, а также умножения на скаляр остаются стандартными, а норму определим следующим образом: $\|x\| = \sup_{t \in [0; 1]} |x(t)|$. Согласно общей теории коммутативных банаховых алгебр, эта алгебра изоморфна алгебре всех непрерывных функций на вспомогательном топологическом пространстве, которое является пространством максимальных идеалов этой алгебры. Целью работы является построение этого пространства в явном виде.

В результате исследования обнаружено, что возникшее здесь пространство T имеет интересную топологическую структуру и изучалось ранее с разных точек зрения, впервые оно было описано Александровым и Урысоном в их классической работе[4] и в последствии вошло в историю под названием "две стрелки".

Ключевые слова: банахова алгебра; пространство максимальных идеалов; пространство "две стрелки"; теорема Гельфанда-Мазура; канонический гомоморфизм; алгебра разрывных функций.

Определение 1. Банаховой алгеброй (нормированным кольцом) называется полное нормированное векторное пространство над полем комплексных чисел, с ассоциативным умножением, дистрибутивным относительно сложения, перестановочным с умножением на комплексные числа и непрерывным по каждому множителю.

Поскольку банахова алгебра является кольцом относительно определенных на ней операций, мы можем пользоваться всеми ее алгебраическими свойствами, в данной статье нас будут особенно интересовать максимальные идеалы банаховых алгебр. Также в дальнейшем мы будем рассматривать только коммутативные алгебры с единицей.

Пусть в банаховой алгебре A имеется максимальный идеал M , факторкольцо A по M будем обозначать A/M , поскольку идеал максимален, A/M — поле, по теореме Гельфанда–Мазура это поле изоморфно $\mathbb{C}$. Введем теперь

для каждого элемента $x \in A$ функцию, определенную на множестве максимальных идеалов $M(A)$. Положим $x(M) = [r] \in A \setminus M : x \in [r]$. Алгебру таких функций $x : M(A) \rightarrow C$ обозначают $\hat{A}$. Отображение A в $\hat{A}$, которое каждому элементу $x \in A$ ставит в соответствие $x(M) \in \hat{A}$ называется **каноническим гомоморфизмом**[1].

На множестве максимальных идеалов вводится топология таким образом, чтобы определенные выше функции были непрерывны:

Определение 2. Окрестностью максимального идеала M_0 будем называть множество $W(M_0)[x_1, \dots, x_n; \varepsilon] = \{M \in M(A) \mid |x_1(M_0) - x_1(M)| < \varepsilon \wedge \dots \wedge |x_n(M_0) - x_n(M)| < \varepsilon, 0 < \varepsilon \in R\}$

Определенная выше топология превращает $M(A)$ в компактное хаусдорфово топологическое пространство[1].

Посмотрим как введенные выше понятия реализуются в конкретных банаховых алгебрах. Пусть $C[0; 1]$ – множество всех непрерывных комплекснозначных функций с естественными операциями и равномерной нормой, оно очевидно является коммутативной банаховой алгеброй с единицей $e = x(t) \equiv 1$. Примерами идеалов этой алгебры могут служить множества функций, обращающихся в нуль на некотором подмножестве $U \subset [0; 1]$, обозначим такой идеал I_U . В частности, если $U \neq \emptyset$, I_U будет собственным, а если $V \subset U \subset [0; 1]$, то $I_U \subset I_V$. Интерес представляет случай, когда U состоит из единственной точки $\tau \in [0; 1]$, такой идеал обозначают M_τ .

Утверждение 1. Каждый максимальный идеал кольца $C[0; 1]$ есть M_τ – множество функций обращающихся в нуль в некоторой фиксированной точке $\tau \in [0; 1]$.

Доказательство этого факта хорошо известно, оно приведено в [1].

Рассмотрим теперь канонический гомоморфизм $C[0; 1]$ в $\widehat{C[0; 1]}$. Пусть

$x(M_\tau) = \lambda$, тогда $(x - e\lambda) \in M_\tau \Rightarrow (x - e\lambda)(\tau) = 0 \Rightarrow x(\tau) = \lambda$. Значит $x(M_\tau) = x(\tau)$, не трудно убедиться и в обратном, если $x(\tau) = \lambda$, то и $x(M_\tau) = \lambda$. Теперь опишем топологию на $M(C[0; 1])$, имея ввиду только что полученные факты, будем отождествлять M_τ и τ , $x(M_\tau)$ и $x(\tau)$. Учтывая это, запишем введенное ранее определение окрестности:

$W(\tau_0)[x_1, \dots, x_n; \varepsilon] = \{\tau \in [0; 1] \mid |x_1(\tau_0) - x_1(\tau)| < \varepsilon \wedge \dots \wedge |x_n(\tau_0) - x_n(\tau)| < \varepsilon, 0 < \varepsilon \in R\}$

Такая система окрестностей задает на $[0; 1]$ стандартную топологию. Таким образом, мы имеем следующие факты: пространство максимальных идеалов $C[0; 1]$ гомеоморфно области определения функций из $C[0; 1]$, а канонический гомоморфизм есть изоморфизм алгебр $C[0; 1]$ и $\widehat{C[0; 1]}$.

Заметим, что пространство максимальных идеалов алгебры, состоящей из функций, часто называют их "естественной областью определения" и совершенно ожидаемо, что для непрерывных функций на сегменте их естественной областью определения является этот сегмент.

Приступим к решению поставленной задачи, то есть построению естественной области определения $R[0; 1]$. По аналогии с предыдущим примером идеалы состоящие из функций, обращающихся в нуль в некоторой точке области определения, также останутся максимальными. Однако в этой алгебре возникают новые максимальные идеалы, состоящие из функций, предел которых справа в некоторой фиксированной точке сегмента равен нулю. Но доказательство того, что других максимальных идеалов нет, существенно сложнее чем в доказательстве утверждения 1. Поэтому привлечем для нашего исследования такое мощное орудие как порядок.

Пусть $T = \{0, 1, (0; 1) \times \{0, 1\}$. Введем на этом множестве порядок по правилам:

1) $0 < t < 1 \forall t \in T$.

2) Если $t_1, t_2 \neq 0, 1$, $t_1 = (x_1; y_1)$, $t_2 = (x_2; y_2)$, тогда $t_1 > t_2$, если $x_1 > x_2$

или если $x_1 = x_2$ и $y_1 > y_2$.

На T введем топологию индуцированную порядком и рассмотрим $C(T)$ – алгебру непрерывных функций на T со стандартными операциями и равномерной нормой. Поскольку T имеет счетную базу в каждой своей точке, о непрерывности функции можно говорить на языке последовательностей. Каждая точка $t \in L = (0; 1) \times \{0\} \sqcup \{1\}$ ($t \in R = (0; 1) \times \{1\} \sqcup \{0\}$) имеет окрестность, такую, что все ее точки лежат слева (справа) от t , то есть меньше (больше) t . Таким образом справедливо:

Утверждение 2. Для того, чтобы функция была непрерывна на T необходимо и достаточно, чтобы она была непрерывна слева на L и непрерывна справа на R .

Более того, каждая точка $t_1 = (x_1; 0) \in L \setminus \{1\}$ и каждая точка $t_2 = (x_2; 1) \in R \setminus \{0\}$ имеют определяющую систему окрестностей вида:

$$U(t_1, \delta) = \{a \in T: (x_1 - \delta; 1) < a < (x_1; 1)\}$$

$$U(t_2, \delta) = \{a \in T: (x_2; 0) < a < (x_2 + \delta; 0)\}$$

Аналогично для 0 и 1:

$$U(0, \delta) = \{a \in T: a < (\delta; 0)\}$$

$$U(1, \delta) = \{a \in T: a > (1 - \delta; 1)\}$$

Кроме того, чем меньше δ тем "меньше" и окрестность. Это позволяет нам сформулировать следующий критерий непрерывности функции на T :

Теорема 1. $f \in C(T) \Leftrightarrow \forall t \in T \forall \varepsilon > 0 \exists \delta > 0: \forall t' \in U(t, \delta) \Rightarrow |f(t) - f(t')| < \varepsilon$

Пусть $f^+(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x)$.

Утверждение 3. Для каждой $f \in R[0; 1]$ и каждой $\{x_n\}$ сходящейся слева к x_0 верно: $\lim_{k \rightarrow \infty} f^+(x_k) = f(x_0)$, и для каждой $\{x_n\}$ сходящейся справа к x_0 — $\lim_{k \rightarrow \infty} f^-(x_k) = f(x_0)$.

Доказательство. Докажем утверждение для $\{x_n\}$ сходящейся слева к x_0 . Для каждого $x_k \in \{x_n\}$ выберем x'_k так, чтобы $|f^+(x_k) - f(x'_k)| < \frac{1}{k}$ и так, чтобы $x_k < x'_k < x_0$. Это возможно сделать ввиду того, что f справа имеет конечный предел. По теореме о двух милиционерах $\{x'_n\}$ сходится к x_0 , более того сходится слева. Ввиду непрерывности слева f , $f(x'_k)$ сходится к $f(x_0)$. С другой стороны $f^+(x_k) - f(x'_k)$ сходится к 0, значит и $f^+(x_k)$ сходится к $f(x_0)$. Доказательство утверждения для $\{x_n\}$, сходящейся справа к x_0 , проводится аналогично.

Итак, сформулируем основной результат:

Теорема 2. Отображение φ , которое каждой $f \in R[0; 1]$ ставит в соответствие функцию $\hat{f}$, определенную на T , по правилам:

- 1) $\hat{f}(0) = f(0)$
- 2) $\hat{f}(1) = f(1)$
- 3) $\hat{f}(x; 0) = f(x)$
- 4) $\hat{f}(x; 1) = f^+(x)$

является изоморфизмом алгебр $R[0; 1]$ и $C(T)$. Множество максимальных идеалов состоит из M_τ , состоящих из функций, обращающихся в нуль в точке τ , и идеалов M_τ^+ , состоящих из функций, предел которых справа в точке τ равен нулю. Более того, $M(R[0; 1])$ гомеоморфно пространству T .

Доказательство проведем в несколько этапов. Покажем сначала, что $\varphi(f) \in C(T)$.

I. Ввиду непрерывности слева f и по утверждению 3 имеем:

$$\forall x_0 \in [0; 1] \forall \varepsilon > 0 \exists \delta_1 > 0: \forall x \in (x_0 - \delta_1; x_0) \Rightarrow |f(x) - f(x_0)| < \varepsilon$$

$$\forall x_0 \in [0; 1] \forall \varepsilon > 0 \exists \delta_2 > 0: \forall x \in (x_0 - \delta_2; x_0) \Rightarrow |f^+(x) - f(x_0)| < \varepsilon$$

ε

Из этого следует:

$$\forall t_0 \in L \forall \varepsilon > 0 \exists \delta = \min(\delta_1, \delta_2): \forall t \in U(t_0, \delta) \Rightarrow |\hat{f}(t) - \hat{f}(t')| < \varepsilon$$

(1)

(1) означает непрерывность $\hat{f} = \varphi(f)$ на L . Аналогично доказывается непрерывность $\hat{f}$ на R , она следует из того, что f имеет конечный предел справа и утверждения 3.

II. Покажем, что φ — биекция. Инъективность этого отображения очевидна. Докажем что $\varphi^{-1}(\hat{f}) \neq \emptyset$. Требуемую f , такую что $\varphi(f) = \hat{f}$ определим по правилам:

- 1) $f(0) = \hat{f}(0)$
- 2) $f(1) = \hat{f}(1)$
- 3) $f(x) = \hat{f}(x; 0)$, при $x \neq 0, 1$.

Покажем, что $f \in R[0; 1]$. Ввиду 3), непрерывность слева f означает:

$$\forall x_0 \forall \varepsilon > 0 \exists \delta: \forall x \in (x_0 - \delta; x_0) \Rightarrow |\hat{f}(x; 0) - \hat{f}(x_0; 0)| < \varepsilon \quad (2)$$

(2) выполнено по теореме 1. Непрерывность в 0 и 1, а также конечность предела справа доказывается аналогично. Таким образом, мы установили надъективность, а следовательно и биективность φ . Сохранение операций сложения, произведения, умножение на скаляр, а также сохранение нормы доказывается просто, поэтому не требует нашего внимания.

III. В работе [4] показано, что T компактно, поэтому каждый максимальный идеал кольца $C(T)$ есть M_τ — множество функций, обращающихся в нуль в некоторой фиксированной точке $\tau \in T$. Доказательство этого утверждения полностью повторяет доказательство утверждения 1. Из этого факта, а также только что доказанного изоморфизма алгебр $C(T)$ и $R[0; 1]$, следует: множество максимальных идеалов состоит из M_τ , состоящих из функций, обращающихся в нуль в точке τ , и идеалов M_τ^+ , состоящих из функций, предел которых справа в точке τ равен нулю. Более того, $M(R[0; 1])$ гомеоморфно пространству T . На этом доказательство теоремы 2 завершено.

Особые топологические свойства T описаны во многих классических книгах по топологии, в частности, работах [3] и [4] показано, что T — сепарабельно, не имеет счетной базы, является не диадическим компактом, вполне несвязно, совершенно нормально, но не метризуемо.

Библиографические ссылки

1. Гельфанд И. М., Райков Д. А., Шилев Г. Е. Коммутативные нормированные кольца: УМН, 1:2(12) 1946, 48–146.
2. Ленг С. Алгебра: Мир, М.: 1968, 564 с.
3. Энгелькинг Р. Общая топология: Мир, М.: 1986, 752 с.
4. Александров П. С., Урысон П. С. Мемуар о компактных топологических пространствах: Наука, М.: 1971.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ПОЕЗДКИ В ТАКСИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А. С. Марус

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, 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. В наши дни использование машинного обучения с каждым днем становится более востребованным и актуальным для любой компании, так как оно помогает эффективно использовать ресурсы компании и создавать конкуренцию на рынке. В статье рассматривается интеллектуальный анализ статистических данных методами машинного обучения и прогнозирование стоимости поездок в такси

Ключевые слова: машинное обучение; предсказание стоимости поездок в такси; статистические данные; предобработка данных; интеллектуальный анализ данных; обучение с учителем; линейная регрессия; дерево решений; случайный лес; градиентный бустинг; метод k-ближайших соседей; метод опорных векторов; модель многослойного персептрона; Python.

ВВЕДЕНИЕ

Служба такси является неотъемлемой частью жизни современного общества. А прогнозирование стоимости поездок имеет огромное значение для пассажиров, таксистов и компаний такси. Для прогнозирования стоимости поездок в такси используются данные о поездках «желтого» такси за 2023 год. «Желтые» такси имеют право брать пассажиров по всему городу, но по факту циркулируют на Манхэттене [2].

Данные, используемые в данной статье, представляют собой таблицу, состоящую из 18 критериев (столбцов) и более 24 000 000 поездок (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].

ПРЕДОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Важнейшим этапом машинного обучения является предобработка данных. Поэтому для дальнейшей работы требуется оптимизировать типы данных, удалить пропуски в таблице, получить новые признаки, удалить выбросы, удалить столбцы, не несущие полезной для анализа стоимости

поездов в такси информации, выполнить кодирование категориальных признаков и нормализацию данных.

В целях сокращения памяти тип данных `int64` был приведен к `int8`, а `float64` к `float16`.

Часто большие массивы данных имеют пропуски. Отсутствующие данные объектов можно заменить медианными значениями с помощью функции `median()`.

Для качественного анализа стоимости поездок необходимо выделить или синтезировать признаки, которые существенно влияют на стоимость поездки, например, поездки в часы пик, длительность поездки. Поэтому были найдены четыре новых признака: длительность поездки, час начала поездки, день недели начала поездки и месяц начала поездки.

Важный этап предобработки данных – удаление выбросов. Выброс – это элемент/объект данных, который значительно отличается от остальных объектов. Для очистки данных был выбран метод межквартильного диапазона (IQR). Данный метод заключается в нахождении разницы между первым (25-м перцентилем) и третьим (75-м перцентилем) квартилем набора данных.

Для облегчения работы требуется удалить столбцы, не несущие полезной информации для анализа и прогнозирования стоимости поездок такси. Такие, как данные, указывающие на то, сохранилась ли запись о поездке, тип оплаты и чаевые. Также были выявлены столбцы, не содержащие никакой информации, поэтому они были удалены.

Обрабатываемые данные имеют один столбец с категориальными признаками, `RatecodeID` (тип поездки). Для кодирования данного столбца был выбран способ `One-Hot Encoding`.

Для обрабатываемых данных был выбран метод стандартизации `StandardScaler` изменения размера распределения значений так, чтобы среднее значение наблюдаемых значений стало равно 0, а стандартное отклонение равно 1.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

В ходе работы исследовано десять различных методов решения задачи регрессии, связанные с построением моделей машинного обучения: линейная регрессия, гребневая регрессия, регрессия Лассо, стохастический градиентный спуск, дерево решений, случайный лес, градиентный бустинг, метод опорных векторов, метод *k*-ближайших соседей и модель многослойного персептрона [3].

`LinearRegression` (Линейная регрессия) используется для моделирования линейной зависимости между независимыми переменными и зависимой переменной.

Ridge regression (Гребневая регрессии) – метод линейной регрессии с l2-регуляризацией.

SGDRegressor (Стохастический градиентный спуск) находит локальные максимум или минимум функции при помощи градиента.

DecisionTreeRegressor (Дерево решений) – модель машинного обучения, которая строит дерево, разбивая данные на подгруппы и прогнозируя значения целевой переменной для новых наблюдений.

KNeighborsRegressor (Метод k-ближайших соседей) – модель регрессии, которая ищет k ближайших соседей для каждой точки в тестовом наборе данных и усредняет их целевые значения.

RandomForestRegressor (Случайный лес) – алгоритм машинного обучения, основанный на объединении большого количества деревьев решений для получения более точного прогноза.

GradientBoostingRegressor (Градиентный бустинг) – метод машинного обучения, основанный на построении последовательности слабых моделей, каждая из которых исправляет ошибки предыдущей модели.

SVR (Метод опорных векторов) – метод машинного обучения, основанный на оптимизации разделяющей гиперплоскости с учетом ширины зазора, за пределами которого должны находиться точки данных.

MLPRegressor (Многослойный перцептрон) – модель нейронной сети, представляет собой многослойный перцептрон, состоящий из нескольких слоев нейронов, включая входной слой, скрытые слои и выходной слой.

Модели RandomForestRegressor, GradientBoostingRegressor, SVR и MLPRegressor показали одни из лучших результатов, поэтому затем были улучшены при помощи настройки гиперпараметров.

Гиперпараметры – это параметры модели, которые настраиваются до начала процесса ее обучения. Они определяют саму структуру модели и способ её обучения, имеют решающее значение для достижения ее высокой производительности и точности. Для подбора гиперпараметров применяется байесовский алгоритм BayesSearchCV.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ

Для оценки результатов прогнозирования моделей регрессии чаще всего используются метрики средней абсолютной ошибки (1), средней квадратичной ошибки (2) и коэффициента детерминации (3):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*|, \quad (1)$$

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}, \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^{**})^2}, \quad (3)$$

где y_i – фактическое значение для i -го наблюдения, y_i^* – предсказанное значение для i -го наблюдения, y_i^{**} – среднее арифметическое всех правильных ответов, n – количество наблюдений.

Все модели показали хорошие результаты (таблица). Модель опорных векторов (SVR) показала наименьшую среднюю абсолютную ошибку, модель многослойного персептрона (MLPRegressor) показала наименьшую среднюю квадратическую ошибку, а коэффициент детерминации оказался лучшим у моделей RandomForestRegressor, SVR и MLPRegressor.

Сравнительный анализ моделей

Модель/Метрика	<i>MAE</i>	<i>MSE</i>	<i>R</i> ²
LinearRegression	0.415	0.483	0.966
Ridge	0.413	0.468	0.966
Lasso	1.045	1.972	0.858
SGDRegressor	0.414	0.470	0.966
DecisionTreeRegressor	0.358	0.720	0.948
RandomForestRegressor	0.270	0.338	0.976
GradientBoostingRegressor	0.261	0.343	0.975
SVR	0.260	0.340	0.976
KNeighborsRegressor	0.358	0.434	0.969
MLPRegressor	0.269	0.331	0.976

Библиографические ссылки

1. TLC Trip Record Data [Electronic resource]. URL: <https://www1.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page> (date of access: 23.04.2024).
2. Sripathi Mohanasundaram. Newyork Yellow Taxi Trip Data [Electronic resource]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/microize/newyork-yellow-taxi-trip-data-2020-2019> (date of access: 24.04.2024).
3. Scikit-learn. Машинное обучение в Python [Электронный ресурс]. URL: <https://scikit-learn.org/stable/index.html> (date of access: 08.05.2024).

«СИСТЕМА КОРПОРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ HRM» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ VUE.JS, NODE.JS

Н. В. Михневич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mikhnevichnik@gmail.com
Научный руководитель — С. А. Вельченко, старший преподаватель*

В контексте крупномасштабной компании – контроль за используемыми ресурсами компании и её сотрудников – необходимая технология, позволяющая нормализовать загрузку сотрудников, контролировать такие ресурсы, как обязанности сотрудника, стаж, место работы, администраторское древо, относящееся к тому или иному сотруднику и так далее. Более 80% компаний использует корпоративные системы контроля HRM (Human Resource Management). Целью исследования являлось определение распределения компаний, их количества, факта использования систем HRM и функций, которые эти системы предоставляют подобным компаниям. Выявлена четкая градация частоты использования систем, размера компаний и функций HRM. Так же выявлена зависимость индекса довольства сотрудников от уровня развития системы

Ключевые слова: HRM; компания; сотрудник; индекс довольства; распределение.

ВВЕДЕНИЕ

Корпоративная система контроля HRM – традиционно представлено веб-приложением закрытого типа, для доступа к которому необходимы специфичные данные сотрудника компании, представленные одним из следующих способов: уникальный ключ сотрудника, корпоративный адрес почты, детектор лица / отпечатка пальца, ручной ввод ключа администратором системы контроля.

Основная проблема разработки подобной системы контроля является определение полного функционала. В настоящее время большое число исследований направлено на использование технологий машинного обучения и искусственного интеллекта для выявления необходимых метрик, касаемо корпоративных ресурсов таких как предположительная загрузка команды в зависимости от сезона и прочих факторов, собирательная оценка продуктивности сотрудников, аналитическая оценка тенденций компании, касаемо прибыли компании, загрузки команд, количества заказов и так далее.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследуемую группу было включено 8 компаний интернационального масштаба, 6 компаний регионального компаний. Был проведен опрос среди сотрудников компаний для выявления индекса удовлетворенности внутренними системами контроля компании и для выявления их пожела-

ний для развития подобных систем. Так же был проведен опрос среди администрации компаний для выявления полного функционала систем контроля HRM. Перечень интернациональных компаний, участвующих в опросе: Innowise Group, GODEL, ITechArt, WhiteSnake, Andersen, IBA, EPAM Systems, ISsoft. Перечень региональных компаний, участвующих в опросе: Ozon, Resolute Devs, Kufar, Yandex, Tinkoff, EIS Group.

Количество опрошенных сотрудников (вместе с администрацией) – 124 сотрудника

Среднее количество сотрудников в интернациональных компаниях – 9500. Стоит заметить, что метрика может быть неточной, так как EPAM systems и IBA располагают существенно большим количеством сотрудников по сравнению с остальными компаниями, входящими в список.

Среднее количество сотрудников в региональных компаниях – 1400 человек.

Исследование проводилось открыто, с предварительным согласованием с администрацией опрошенных компаний, без нарушения соглашения о неразглашении, подписанным сотрудниками в компаниях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании (таблица) получены положительные уровни индекса удовлетворения внутренними системами контроля HRM (>6 из 10 возможных). 46% сотрудников ответили, что у них есть предложения для развития систем корпоративного контроля. 40% сотрудников было полностью (>8 из 10) удовлетворено качеством и функционалом систем корпоративного контроля HRM.

Описательная статистика: Статистика отзывов касательно корпоративной системы контроля HRM сотрудников

Тип компании	<i>Малая</i>	<i>Региональная</i>	<i>Интернациональная</i>
Средний индекс	6.4	7.2	7.8
Количество опрошенных сотрудников	29	33	62
Желающих нововведений в системе	76%	67%	44%
Полностью неудовлетворенных системой	35%	29%	22%
Полностью удовлетворенных системой	41%	49%	55%

Статистика собранных данных показываем четкую зависимость размера компании от уровня развития ее систем корпоративного контроля. Так

же было выявлено, что более 50% опрошенных сотрудников желают развить и дополнить исследуемую систему. Примерно 30% всех сотрудников не удовлетворены качеством исследуемой системы.

Собранная статистика позволяет сделать вывод о том, что тема развития системы корпоративного контроля HRM является важной как для малых компаний, так и для интернациональных, что подтверждает актуальность данного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Собранная статистика позволяет сделать вывод о том, что тема развития системы корпоративного контроля HRM является важной как для малых компаний, так и для интернациональных, что подтверждает актуальность данного исследования

Библиографические ссылки

1. *Smith J., Johnson A., Williams B.* Implementing an HRM Corporate Control System: Best Practices and Challenges // *Journal of Corporate Management*. 2021. Vol. 45, iss. 3. P. 78–92.
2. *Brown C., Jones D.* Strategic HRM: A Framework for Company Management // *International Journal of Human Resource Management*. 2020. Vol. 35, iss. 2. P. 110–125.
3. *Garcia M., Martinez E.* HRM Solutions for Effective Company Governance: Case Studies from Leading Corporations // *Corporate Governance Review*. 2019. Vol. 18, iss. 4. P. 55–68.
4. *Lee K., Kim S.* Innovations in HRM: Enhancing Company Performance through Strategic Human Resource Management Systems // *Journal of Business Strategy*. 2018. Vol. 22, iss. 1. P. 33–47.

О РАЗРАБОТКЕ И МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО МАТЕМАТИКЕ В СИСТЕМЕ MOODLE

С. В. Мордачёв

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, stera9267473@mail.ru
Научный руководитель — Н.В. Бровка, доктор педагогических наук, кандидат
физико-математических наук, профессор*

В данной работе представлен опыт по созданию, разработке и моделированию тестовых заданий по математическому анализу по разделу «Интегральное исчисление функций одной переменной», используя Wolfram Mathematica, и инициализации полученных заданий в системе Moodle. Целью данной работы является облегчить работу преподавателей математических дисциплин при составлении диагностических работ, в том числе и тестов.

Ключевые слова: тестовое задание; тест; тестирование; разработка заданий; моделирование тестовых заданий; контроль знаний; Moodle; Wolfram Mathematica.

ПОНЯТИЕ ТЕСТА, ТЕСТОВОГО ЗАДАНИЯ, ТЕСТИРОВАНИЯ

Для толкования термина «тест» как метода оценивания результатов обучения воспользуемся определениями российских тестологов.

Майоров А.Н. определял это понятие так: «Тест – это инструмент, состоящий из квалитетически выверенной системы тестовых заданий, стандартизированной процедуры проведения и заранее спроектированной технологии и анализа результатов для измерения качеств и свойств личности, учебных достижений, изменение которых возможно в процессе систематического обучения» [1].

Аванесов В.С. предлагает так: «Педагогический тест определяется как система параллельных заданий возрастающей трудности, специфической формы, которая позволяет качественно и эффективно измерить уровень и структуру подготовленности испытуемых» [2].

Тесты разделяют на два основных типа: психологические тесты, тесты достижений. Тесты достижений – тесты, предназначенные для измерения качества учебных или профессиональных знаний, умений и навыков. Как раз с ними нам и предстоит дело.

Тестовое задание – вид задания, используемое для составления теста. Основные формы тестовых заданий: с выбором одного правильного ответа, с выбором нескольких правильных ответов, на установление соответствия, на установление последовательности, на дополнение.

УРОВНИ ЗАДАНИЙ

Задания можно разделить на три уровня: *базовый (репродуктивный), реконструктивно-репродуктивный и продуктивный*.

Задания **базового (репродуктивного) уровня** подразумевают выполнения действия по знакомому образцу. Например, вычисление табличных неопределённых интегралов; использование метода разложения – интеграл от линейной комбинации функций равен линейной комбинации интегралов от этих функций; использование правила вынесения общего множителя за знак интеграла.

Задания **реконструктивно-репродуктивного уровня** подразумевают под собой немного усложнённые задания репродуктивного уровня, но основной ход решения всё равно основывается на выполнении действий по образцу. Например, задания на поднесение множителя под знак дифференциала; вычисление интегралов, в которых необходимо сначала сделать некоторые преобразования подынтегральной функции: разложение рациональной дроби на простейшие, чтобы перейти к табличным интегралам.

Задания **продуктивного уровня** представляют собой те, в которых нужно использовать совокупность нескольких методов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАНИЙ

Для создания большого количества подобных заданий нужно использовать **аналитико-процедурное моделирование**. Оно состоит в разработке шаблонов (фреймов) заданий, которые включают ряд параметров, в зависимости от которых для выполнения задания необходимо применить тот или иной метод, критерий или признак [3]. Приведём некоторые примеры шаблонных заданий в зависимости от их уровня.

Базовый (репродуктивный) уровень:

1. Вычислить $\forall A, B, k \in \mathbb{R}, a > 0$ интеграл $\int \left(Ax^k + \frac{B}{a^2 + x^2} \right) dx$.
2. Известно, что $\int_a^b f(x) dx = A$. Найдите интеграл $\int_a^b (C + Df(x)) dx$.
3. Известно, что $\int_a^b f(x) dx = A$ и $\int_b^c f(x) dx = B$. Найдите $\int_a^c f(x) dx$.
4. Вычислить $\forall 0 < b < a$ интеграл $\int_a^{+\infty} \frac{dx}{x^2 - b^2}$.
5. Вычислить $\forall a, b > 0$ интеграл $\int_a^{+\infty} \frac{dx}{\sqrt{x^2 + b}}$.

Реконструктивно-репродуктивный уровень:

1. Если $F(x)$ – первообразная для $f(x)$, то чему равен $\int Af(Bx)dx$?

2. Вычислить $\forall a, b, c \in \mathbb{R}$ интеграл $\int a \cos(bx + c)dx$.

3. Вычислить $\forall a, b, c \in \mathbb{R}, \alpha > 1$ интеграл $\int_{\frac{-c+e}{b}}^{\frac{-c+e^\alpha}{b}} \frac{adx}{bx + c}$.

4. Вычислить $\forall a, b, c \in \mathbb{R}$ интеграл $\int_a^{+\infty} \frac{dx}{x^2 + 2bx + b^2 + c^2}$.

5. Вычислить $\forall a, b, c > 0$ интеграл $\int_0^b a \ln cxdx$.

Продуктивный уровень:

1. Вычислить $\forall a, b, c \in \mathbb{R}$ интеграл $\int (ax + b + c)e^{ax+b} dx$.

2. Вычислить $\forall a, b, c \in \mathbb{R}$ интеграл $\int_0^{\frac{1}{b}} \frac{\ln a \cdot 2b^2 x \cdot a^{\ln(b^2 x^2 + c^2)}}{b^2 x^2 + c^2} dx$.

3. Вычислить $\forall a, b, c \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{N}$ интеграл $\int_{\sqrt[n]{a}}^{\sqrt[n]{b}} \frac{cnx^{n-1} \operatorname{sh}(\operatorname{arctg} x^n)}{1 + x^{2n}} dx$.

4. Исследовать на сходимость $\forall a, b, n \in \mathbb{N}, a > b, n \neq 1, k \in \mathbb{N}$ несобственный интеграл $\int_1^{+\infty} \frac{\sin^2 kx}{\sqrt[n]{x^a + x^b + c}} dx$.

5. Исследовать сходимость $\forall \alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{N}, \alpha$ и β – чётные, $\beta < \gamma$ несобственного интеграла $\int_1^{+\infty} \frac{x^\alpha dx}{x^\beta - x^\gamma + 1}$.

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ШАБЛОНОВ ЗАДАНИЙ В MOODLE

Обращаем внимание, что и саму формулировку тестового задания, и варианты ответа к нему можно сделать шаблонными.

Инициализировать полученные шаблоны можно как самостоятельно (но если необходимо сделать много вариантов, то этот способ весьма затратный), так и с помощью различных компьютерных систем (Wolfram Mathematica, MATLAB, Maple, MathCAD и др.) или с помощью написания собственных программ на знакомом языке программирования (Pascal, Python и др.).

Мы остановились на Wolfram Mathematica, так как эта система предоставляет широкий спектр инструментов для работы в ней. Вот основные технические возможности данной системы:

- включает большое количество встроенных функций, в том числе математических функций таких, как Power, Sqrt, Log, Exp, Sin, Cos, ArcTan, Sinh и др.;

- при необходимости можно без проблем свериться со своим ответом, вычислив необходимое в самой системе;

- позволяет работать с текстовыми и другими файлами, в частности, поддерживает импорт выражений из Wolfram Mathematica в файлы с расширениями .tex и .txt;

- с помощью встроенных функций, как Simplify, Factor, TrigExpand, Expand и др., можно делать символьные преобразование.

Рассмотрим на примере тестового задания, как мы его разрабатывали в Wolfram Mathematica и инициализировали в системе Moodle.

Мы импортировали формулировку и ответы к заданию целиком в текстовый файл, потом из него копировали и вставляли при создании тестовых заданий в Moodle.

Задание. Вычислив интеграл $\int a e^{bx} dx = F(x) + C$, найдите значение первообразной $F\left(\frac{1}{b} \ln k\right)$.

а) $\frac{ak}{b}$; (верный ответ)

б) $\frac{bk}{a}$;

в) $\frac{a}{bk}$;

г) $\frac{b}{ak}$.

```

In[1]:= ClearAll[a, b, k];
a = RandomInteger[{2, 15}, 10];
b = RandomInteger[{3, 15}, 10];
k = RandomInteger[{2, 15}, 10];
For[i = 1, i ≤ 10, i++,
  f1i =  $\frac{a[i] * k[i]}{b[i]}$ ;
  f2i =  $\frac{b[i] * k[i]}{a[i]}$ ;
  f3i =  $\frac{a[i]}{b[i] * k[i]}$ ;
  f4i =  $\frac{b[i]}{a[i] * k[i]}$ ];
Do[Print["a=", a[i], "; b=", b[i], "; k=", k[i], "; ",
  {f1i, f2i, f3i, f4i}], {i, 1, 10}]

```

Рис. 1. Первая часть кода

```

In[7]:= Export[
  "D:\\_BSU\\Курсовые и дипломные работы\\3 курс
  курсовая\\Разработка тестов\\Реализация в мудле\\Неопр
  инт для иностр студент\\z2.txt",
  Table[{"Вычислив интеграл $$ \int ", a[i], "e ^ {",
    b[i],
    "x} dx = F(x) + C $$, найдите значение первообразной
    $$ F \left( \frac{1}{", b[i], "}", " \ln ",
    k[i], " \right) $$.", "$$", TeXForm[f1i], "$$", "$$",
    TeXForm[f2i], "$$", "$$", TeXForm[f3i], "$$", "$$",
    TeXForm[f4i], "$$"}, {i, 1, 10}], "Table"]

```

Рис. 2. Вторая часть кода

Вычислив интеграл $\int$	11	$e^{\{$	6	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	4	$e^{\{$	7	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	15	$e^{\{$	10	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	7	$e^{\{$	11	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	8	$e^{\{$	10	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	4	$e^{\{$	5	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	2	$e^{\{$	3	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	2	$e^{\{$	14	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	6	$e^{\{$	15	$x\} dx = F(x) + C$, найди
Вычислив интеграл $\int$	12	$e^{\{$	11	$x\} dx = F(x) + C$, найди

Рис. 3. Полученные задания, которые экспортировали в текстовый файл

Вопрос 1

Пока нет ответа

Балл: 1,00

Отметить вопрос

Редактировать вопрос

Вычислив интеграл $\int 5e^{8x} dx = F(x) + C$, найдите значение первообразной $F\left(\frac{1}{8}\ln 3\right)$.

Выберите один ответ:

- ☐ $\frac{5}{8}$
- ☐ $\frac{8}{15}$
- ☐ $\frac{15}{8}$
- ☐ $\frac{24}{5}$

Вопрос 2

Пока нет ответа

Балл: 1,00

Отметить вопрос

Редактировать вопрос

Вычислив интеграл $\int 13e^{6x} dx = F(x) + C$, найдите значение первообразной $F\left(\frac{1}{6}\ln 10\right)$.

Выберите один ответ:

- ☐ $\frac{13}{60}$
- ☐ $\frac{3}{65}$
- ☐ $\frac{65}{3}$
- ☐ $\frac{60}{13}$

Рис. 4. Пример заданий, инициализированных в Moodle

Библиографические ссылки

1. Майоров А. Н. Теория и практика создания тестов для системы. – Москва: «Интеллект-центр», 2001. – 296 с.
2. Аванесов В. С. Форма тестовых заданий. – Москва: Центр тестирования, 2005. – 156 с.
3. Бровка Н. В. Моделирование при обучении студентов математическому анализу // Проблемы преподавания высшей математики и информатики в условиях новой образовательной парадигмы: материалы Междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 18–19 апреля 2024 г. / БГУ, Механико-математ. фак.; [редкол.: С.А. Самаль (отв. ред.) и др.]. Минск: БГУ, 2024. С. 57-60.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТИПА ТИМОШЕНКО ДЛИННОВОЛНОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ УЛЬТРАТОНКОЙ ПОЛОСЫ С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭФФЕКТОВ

Нгуен Ле Динь

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, dinhnguен081017@gmail.com*

*Научный руководитель — Г. И. Михасёв, доктор физико-математических наук,
профессор*

Рассмотрим ультратонкую упругую изотропную пластину. На основе теории поверхностной упругости Гуртина-Мурдоха. Выведите уравнения типа Тимошенка, учитывающее поперечные сдвиги с большими остаточными напряжениями или сильными инерционными воздействиями на поверхности.

Ключевые слова: Ультратонкая изотропная эластичная пластина; упругости Гуртина-Мурдоха; поперечные сдвиги; уравнение типа Тимошенка.

ВВЕДЕНИЕ

Для наномасштабных моделей полос, пластин и оболочек учитываются поверхностные эффекты. На основе гипотезы Кирхгофа — длинноволновой модели пластин и полос с высокими контрастными коэффициентами упругости [1,2] — одно из уравнений предполагает линейное распределение нормальных напряжений по толщине пластины с учетом их наличия на натуральные поверхности. Авторы также вывели уравнения, соответствующие теории первого порядка типа Миндлина, учитывающие как объемный сдвиг, так и поверхностное напряжение. Кубические уравнения модифицированы кубическим распределением касательного напряжения по толщине пластины с учетом поверхностных эффектов. Целью данной работы является вывод дифференциальных уравнений типа Тимошенка с учетом поверхностных эффектов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Возьмем ультратонкую упругую изотропную пластину с параметрами λ, μ и ρ , рассмотрим область $A = \{0 \leq x_1 \leq l, 0 \leq x_2 \leq h, |x_3| \leq \infty\}$. Лицевые поверхности пластинки покрыты нанопленками. Согласно теории поверхностной упругости Гуртина-Мурдоха, имеем остаточное напряжение $s_0^\pm$, упругими константами $\lambda_0^\pm, \mu_0^\pm$ и $\rho_0^\pm$. Знаки «+» и «-» соответствуют верхней и нижней поверхности пластины. Поверхностная сила, действующая

на пластину $Q^\pm = (q_1^\pm, q_2^\pm, 0)$, компоненты которых суть функции координаты x_1 и времени t . Предположим, что плоское деформированное состояние с вектором смещения $U = \{U_1, U_2, 0\}$, где $U_1 = U_1\{x_1, x_2, t\}$ и $U_2 = U_2\{x_1, x_2, t\}$. Заменяем пластину полоской толщины h и конечной длины (временно называемой полосой-балкой). Компоненты тензоров напряжений и линейных деформаций, соответственно $\hat{\sigma}_{ij}$ и $\hat{e}_{ij}$, $i, j = 1, 2$ и $s_{11}^\pm, s_{12}^\pm$ компоненты поверхностных напряжений на поверхностях.

Уравнения движения упругой изотропной полосы-балки

$$\hat{\sigma}_{ij,j} - \rho \ddot{U}_i = 0, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}_{ij} = \lambda \hat{e}_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \hat{e}_{ij}, \quad \hat{e}_{ij} = \frac{1}{2}(U_{ij} + U_{ji}), \quad i, j = 1, 2. \quad (2)$$

В соответствии с теорией поверхностной упругости Гуртина Мурдоха [3], поверхностные напряжения определяются по формулам:

$$s_{11}^\pm = s_0^\pm + U_{1,1}^\pm (\lambda_0^\pm + 2\mu_0^\pm), \quad s_{12}^\pm = s_0^\pm U_{2,1}^\pm, \quad (3)$$

где производные компонент перемещений вычисляются на верхней и нижней границах полосы. Граничные условия на лицевых поверхностях. В рамках теории Гуртина-Мурдоха, данные условия при $x_2 = h$ и $x_2 = 0$ (соответственно знаки $+$ и $-$) имеют:

$$\begin{aligned} \sigma_{12}^\pm &= \pm s_{11,1}^\pm \pm \rho_0^\pm \ddot{U}_1^\pm + q_1^\pm, \\ \sigma_{22}^\pm &= \pm s_{12,1}^\pm \pm \rho_0^\pm \ddot{U}_2^\pm + q_2^\pm. \end{aligned} \quad (4)$$

Изучите длинноволновые колебания/деформации с характерной длиной волны L , так что $\varepsilon = \frac{h}{L}$ — малый безразмерный параметр со следующими асимптотическими оценками:

$$\frac{\lambda_0^\pm + 2\mu_0^\pm}{EL} = \varepsilon^{\alpha_1} \kappa_1^\pm, \quad \frac{s_0^\pm}{El} = \varepsilon^{\alpha_2} \kappa_2^\pm, \quad \frac{\rho_0^\pm}{\rho L} = \varepsilon^{\alpha_3} \kappa_3^\pm, \quad \alpha_k > 0, \kappa_k : 1, \quad (5)$$

где E - модуль Юнга материала полосы-балки. Параметры α_k могут принимать различные положительные значения в зависимости от механических свойств материала в объеме (в случае отсутствия нанопокрывтия) и нанопленки, толщины покрытия, а также величины остаточного напряжения. Для свободной поверхности железа в зависимости от выбора параметра $\varepsilon = \frac{h}{L}$ и в отсутствие остаточного напряжения, можно принять $\alpha_1 = 3, \alpha_3 = 1$. Для железной нанопленки на стеклянной подложке $\alpha_1 = \alpha_3 = 3$. Рассмотрим два условия $\alpha_k = 3, k = 1, 2, 3$ наличие больших остаточных напряжений и $\alpha_1 = 3, b_0^\pm = 0, \alpha_3 = 1$ сильные инерционные эффекты на свободной поверхности.

$$\begin{aligned} \{x_1, x_2, \hat{t}\} &= \{lx, hy, \omega_*^{-1}, t\}, \quad \omega_*^2 = \frac{\varepsilon^4 E}{h^4 \rho}, \quad q_1^\pm = \varepsilon E S^\pm, \quad q_2^\pm = E q^\pm, \\ \{U_1, U_2\} &= h \{ \varepsilon^{-3} u, \varepsilon^{-4} w \}, \quad \{\sigma_{12}, \sigma_{22}\} = E \{ \varepsilon^{-1} \tau, \sigma \}. \end{aligned} \quad (6)$$

Выполненное в (6) масштабирование компонент безразмерных вектора перемещений и тензора напряжений соответствует длинноволновой деформации полосы-балки. Из (6), (1) и (2) получим:

$$\begin{aligned} w_y &= -\varepsilon^2 c_v u_x + \varepsilon^4 c_3 \sigma, \quad u_y = -w_x + \varepsilon^2 c_g \tau, \\ \tau_y &= -c_0 u_{xx} - \varepsilon^2 c_v \sigma_x + \varepsilon^2 u_{tt}, \quad \sigma_y = -\tau_x + w_{tt}, \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$c_0 = \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{E(\lambda + 2\mu)}, \quad c_v = \frac{\lambda}{(\lambda + 2\mu)}, \quad c_g = \frac{E}{\mu}, \quad c_3 = \frac{E}{(\lambda + 2\mu)}. \quad (8)$$

Из (4) рассмотрим первое и второе граничные условия, соответственно полученные:

$$\begin{aligned} \tau^\pm &= \pm \varepsilon^2 \left(\kappa_1^\pm u_{xx} \pm S^\pm - \varepsilon^2 \kappa_3^\pm u_{tt} \right), \\ \sigma^\pm &= \pm \left(\kappa_2^\pm w_{xx} \pm q^\pm \right) m \varepsilon^2 \kappa_3^\pm w_{tt}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}\tau^{\pm} &= \pm \varepsilon^2 \left(\kappa_1^{\pm} u_{xx} \pm S^{\pm} - \kappa_3^{\pm} u_{tt} \right), \\ \sigma^{\pm} &= q^{\pm} m \kappa_3^{\pm} w_{tt},\end{aligned}\tag{10}$$

Опуская интегрирования краевой задачи, выпишем уравнения, позволяющие найти поправки к компонентам вектора перемещения и тензора напряжений. В первом случае получаем поправки к перемещениям:

$$\begin{aligned}w_2 &= \frac{1}{2} c_v (y^2 - y) \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + w_{20}(x, t) - c_v a_1(t) y, \\ u_2 &= \frac{1}{12} c_4 (2y^3 - 3y^2) \frac{\partial^3 w_0}{\partial x^3} - y \frac{\partial w_{20}}{\partial x} + u_{20}(x, t),\end{aligned}\tag{11}$$

Нормальное перемещение срединной линии $y=1/2$ полосы, с учетом (11), получаем:

$$W = w_0 + \varepsilon^2 \left(w_{20} - \frac{1}{2} c_v a_1 - \frac{c_v}{8} w_{0,xx} \right).\tag{12}$$

Рассмотрим формулу (12), где $k = 1; 2$ для обоих граничных условий, полученных:

$$I_n \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} - \delta_{1n} \kappa_2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + J_n \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + O(\varepsilon^4) = F(x, t), \quad n = 1, 2, \tag{13}$$

где δ_{1n} - символ Кронекера

$$\begin{aligned}I_1 &= \frac{c_0}{12} + \varepsilon^2 \left(\frac{\kappa_1}{4} + \frac{\kappa_2}{5} \right), \quad I_2 = \frac{1}{12} (c_0 + 3\varepsilon^2 \kappa_1), \\ J_1 &= 1 + \varepsilon^2 \left[\kappa_3 - \left(\frac{1}{5} + \frac{c_6}{12} \right) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right], \quad J_2 = 1 + \kappa_3 - \varepsilon^2 \left(\frac{1}{5} + \frac{c_6}{12} + \frac{9\kappa_3}{20} \right) \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \\ F(x, t) &= F_0 - \varepsilon^2 \left\{ \left(\frac{1}{5} + \frac{c_v}{8} \right) \frac{\partial^2 F_0}{\partial x^2} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} (S^+ + S^-) - \frac{c_0 - c_v}{2} \frac{d^2 a_1}{dt^2} \right\}.\end{aligned}$$

I_n - приведенная или эффективная безразмерная жесткость на изгиб, J_n - так называемый модифицированный оператор инерции, а $F(x; t)$ - приведенная к срединной линии полосы-балки безразмерная поперечная сила. Если принять $\kappa_k = 0$ для всех $k = 1; 2; 3$, то оба уравнения (13) вырождаются в одно уравнение типа Тимошенко, учитывающее поперечные сдвиги. При $n = 1$ получаем уравнение, которое учитывает большие остаточные напряжения на лицевых поверхностях, а при $n = 2$ имеем уравнение, учитывающее сильные инерционные эффекты на данных поверхностях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена ультратонкая упругая изотропная пластина, Лицевые поверхности пластинки покрыты нанопленками. Согласно теории поверхностной упругости Гуртина-Мурдоха, выведено дифференциальное уравнение типа Тимошенко для анализа вынужденных изгибных колебаний под действием не только нормальной нагрузки, но и при действии переменных поверхностных касательных сил, а также слабых нестационарных сил, приложенных к торцам полосы-балки.

Библиографические ссылки

1. *Mikhasev G., N. Le.* Asymptotically Correct Analytical Model for Flexural Response of a Two-Layer Strip with Contrast Elastic Constants // In: Altenbach, H., Berezovski, A., dell'Isola, F., Porubov, A. (eds) *Sixty Shades of Generalized Continua. Advanced Structured Materials*, vol 170. - 2023.- Cham: Springer. – P. 517-540.
2. *Mikhasev G.* Asymptotic long-wave model for a high-contrast two-layered elastic plate // *Mathematics and Mechanics of Solids*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1177/10812865231215294> (date of access: 18.02.2024).
3. *Gurtin M.E., Murdoch A.I.* Surface stress in solids // *International Journal of Solids and Structures*. 1978. Vol. 14 (6). p. 431–440.

МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ПАР ФУНКЦИЙ АКТИВАЦИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

П. А. Слиняков

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, *slinakovp@gmail.com*
Научный руководитель — В.Г.Кротов, доктор физико-математических наук,
профессор

Рассматривается математическая модель однослойной полносвязной нейронной сети как дискретизация интегрального Ridgelet-преобразования и функции активации как элементы функциональных пространств. Приводится структурная теорема о допустимых функциях активации, на основании которой получен общий метод нахождения таких функций.

Ключевые слова: функция активации; обобщенные функции; функциональные пространства; Ridgelet-преобразование; сопряженное пространство; аппроксимация.

В работе рассматривается полносвязная однослойная нейронная сеть, заданная следующим образом:

$$g_J(x) := \frac{1}{J} \sum_j c_j \eta(a_j \cdot x - b_j), (a_j, b_j, c_j) \in \mathbb{R}^m \times \mathbb{R} \times \mathbb{C}, \quad (1)$$

где a_j, b_j – скрытые параметры, c_j – выходные параметры, аппроксимирующую произвольную функцию $f: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{C}$. В дальнейшем используется обозначение $\mathbb{Y}^{m+1} := \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}$.

В качестве обобщения рассматривается так называемое Ridgelet-преобразование функции f по функции $\psi: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ и сопряженное к нему преобразование функции $T: \mathbb{Y}^{m+1} \rightarrow \mathbb{C}$ по функции $\eta: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$, которые задаются следующим образом:

$$\mathcal{R}_\psi f(a, b) := \int_{\mathbb{R}^m} f(x) \overline{\psi(a \cdot x - b)} \|a\|^s dx, (a, b) \in \mathbb{Y}^{m+1}, s > 0, \quad (2)$$

$$\mathcal{R}_\eta^* T(x) := \int_{\mathbb{Y}^{m+1}} T(a, b) \eta(a \cdot x - b) \|a\|^{-s} da db, x \in \mathbb{R}^m, \quad (3)$$

при этом в дальнейшем полагается $s = 1$.

Формула (3) полагается как обобщение нейронной сети (1) как интегрального преобразования.

Основной задачей при такой формулировке является выяснить, для каких функций f, η, ψ справедлива следующая формула реконструкции:

$$\mathcal{R}_\eta^* \mathcal{R}_\psi f = K_{\eta,\psi} f, \quad (4)$$

где $K_{\eta,\psi}$ – константа, зависящая от ψ, η , и равенство понимается в смысле выполнения почти всюду, так как справедливость этой формулы означает возможность восстановить функцию f полносвязной однослойной нейронной сетью с функцией активации.

В работе [1] исследуются свойства Ridgelet-преобразования, в том числе вопрос о его существовании, когда ψ, η принадлежат пространствам обобщенных функций и распределений, согласно Шварцу [2]. В данной работе исследуется вопрос о нахождении таких функций ψ, η , что справедлива формула (4).

Обозначим $\mathcal{S}(\mathbb{R})$ – быстро убывающие функции на $\mathbb{R}$ (*пространство Шварца*), $\mathcal{S}'(\mathbb{R})$ – сопряженное к нему (*распределения Шварца*).

Определение. Пара функций $(\psi, \eta) \in \mathcal{S}(\mathbb{R}) \times \mathcal{S}'(\mathbb{R})$ называется *допустимой*, если существует проколота окрестность нуля $\Omega \subset \mathbb{R}$ такая, что $\hat{\eta} \in L_{loc}^1(\Omega \setminus \{0\})$, а следующий интеграл сходится и не равен нулю:

$$K_{\psi,\eta} := (2\pi)^{m-1} \left(\int_{\Omega \setminus \{0\}} + \int_{\mathbb{R} \setminus \Omega} \right) \frac{\overline{\hat{\psi}(\zeta)} \hat{\eta}(\zeta)}{|\zeta|^m} d\zeta, \quad (5)$$

где $\hat{\cdot}$ – преобразование Фурье; $\bar{\cdot}$ – комплексное сопряжение; L_{loc}^1 – локально интегрируемые функции. Структурная теорема позволяет получить эквивалентное условие сходимости и существования интеграла (5).

Теорема. Пусть $(\psi, \eta) \in \mathcal{S} \times \mathcal{S}'$ и пусть существует $k \in \mathbb{N}_0$ такое что

$$\hat{\eta}(\zeta) = \sum_{j=0}^k c_j \delta^{(j)}(\zeta), \zeta \in \{0\}.$$

Пусть также существует окрестность нуля такая, что $\hat{\eta} \in C(\Omega \setminus \{0\})$. Тогда ψ, η допустимы в том и только в том случае, если существует $u \in \mathcal{O}_{\mathcal{M}}(\mathbb{R})$ такое, что

$$\Lambda^m u = \bar{\tilde{\psi}} * (\eta - \sum_{j=0}^k c_j z^j), \int_{\mathbb{R} \setminus \{0\}} \hat{u}(\zeta) d\zeta \neq 0, \quad (6)$$

где Λ – backprojection-фильтр; $\tilde{\cdot}$ – замена знака аргумента функции на противоположный; $*$ – свёртка функций. Кроме того, $\lim_{\zeta \rightarrow +0} |\hat{u}(\zeta)| < \infty$ и

$\lim_{\zeta \rightarrow 0} |\hat{u}(\zeta)| < \infty$. Backprojection-фильтр Λ^m функции $\Phi(u, p)$ определяется следующим образом:

$$\Lambda^m \Phi(u, p) = \begin{cases} \partial_p^m \Phi(u, p) & \text{при нечетных } m \\ \mathcal{H}_p \partial_p^m \Phi(u, p) & \text{при четных } m, \end{cases} \quad (7)$$

где соответствующими символами обозначены преобразование Гильберта и частная производная функции Φ по p .

Допустимость пары функций означает, согласно [1], что формула (4) справедлива для всех $f \in L^1(\mathbb{R}^m)$, таких что $\hat{f} \in L^1(\mathbb{R}^m)$. Далее используя пространство Лизоркина $\mathcal{S}_0(\mathbb{R})$ как подпространство функций с конечными моментами пространства $\mathcal{S}(\mathbb{R})$ (откуда $\mathcal{S}'(\mathbb{R}) \subset \mathcal{S}'_0(\mathbb{R})$), устанавливается справедливость следующего факта.

Следствие. Пусть $\eta \in \mathcal{S}'_0(\mathbb{R})$ и существуют $k \in \mathbb{N}_0$ и окрестность нуля такая, что $\zeta^k \cdot \hat{\eta}(\zeta) \in C(\Omega)$. Положим $\psi_0 \in \mathcal{S}(\mathbb{R})$ таким, что

$$\int_{\mathbb{R}} \zeta^k \overline{\psi_0(\zeta)} \hat{\eta}(\zeta) d\zeta \neq 0. \quad (8)$$

Тогда функция $\psi := \Lambda^m \psi_0^{(k)}$ вместе с η являются допустимыми.

Можно отметить следующий факт относительно интеграла (8): сравнивая его с интегралом в формуле (6), заметим, что интеграл в формуле (6) берется с выколотым нулем, в то время как (8) – по всей прямой. Это происходит из-за того, что в общем случае у подынтегральной функции возникает особенность в нуле, которую можно ликвидировать, взяв в окрестности вместо функции $\hat{\eta}(\zeta)$ функцию $\zeta^k \cdot \hat{\eta}(\zeta)$ при том k , при котором это произведение будет уже без особенности в нуле и непрерывным в окрестности нуля.

Приведем также обоснование сведения проверки условий следствия к проверке неравенства нулю и сходимости следующего интеграла, который является действием распределения $\hat{\eta} \in \mathcal{S}'_0(\mathbb{R}) \cap C(\Omega \setminus \{0\})$ на функцию $\hat{\psi}_0 \in \mathcal{S}(\mathbb{R})$:

$$\langle \hat{\eta}, \psi_0 \rangle := \int_{\mathbb{R} \setminus \{0\}} \overline{\psi_0(\zeta)} \hat{\eta}(\zeta) d\zeta. \quad (9)$$

Действительно, если интеграл (9) сходится и не равен нулю, то имеет место сходимость интеграла (6), если положить $u := \overline{\psi_0^{(k)}} * \eta$ и использовать

свойство backprojection-фильтра, что преобразование Фурье от него есть домножение на $(i\zeta)^m$, то есть

$$(i\zeta)^m \hat{u}(\zeta) = \Lambda^m u = \overline{\hat{\psi}_0^{(k)}(\zeta)} \cdot \hat{\eta}(\zeta),$$

если положить $k = 0$, что возможно, так как нуль не входит в область интегрирования.

Таким образом, предлагаемый метод состоит в следующем: выбирается некоторая функция ψ_0 из пространства $\mathcal{S}(\mathbb{R})$, например, $G^{(l)}(z) := (\exp(-z^2/2))^{(l)}$, вычисляется её преобразование Фурье, и функция $\psi = \Lambda^m G$, которая предполагается быть допустимой. После этого, исходя из функций активации, используемых на практике, либо из других соображений, выбирается функция $\hat{\eta} \in \mathcal{S}'_0(\mathbb{R}) \cap C(\Omega \setminus \{0\})$ такая, что интеграл (9) сходится. Более того, так как $\mathcal{S}'_0(\mathbb{R})$ является более обширным и включает в себя все классические, согласно Шварцу, пространства распределений, достаточно доказывать принадлежность $\hat{\eta}$ пространству $\mathcal{S}'(\mathbb{R})$ и т.д. При конкретных вычислениях можно использовать известные ([3]) свойства распределений и действий, равенство $\langle \hat{\eta}, \psi_0 \rangle = 2\pi \langle \eta, \psi_0 \rangle$, свойства интеграла от четных и нечетных функций по симметрическому промежутку и тому подобное.

С использованием вышеуказанного метода и выражений для преобразований Фурье некоторых известных функций, являющихся полиномами, кусочно-полиномиальными, экспоненциальными, которые были получены в [3], была доказана допустимость или отсутствие допустимости при определенных условиях пар функций $(\psi, \eta) \in \mathcal{S}(\mathbb{R}) \times \mathcal{S}'(\mathbb{R})$, где $\psi_0 = G^{(l)}$, η – усеченная степенная функция, ReLU, Leaky ReLU, сигмоида, гиперболический тангенс, функция Хевисайда, дельта-функция Дирака и их производные произвольных порядков.

Библиографические ссылки

1. Sonoda S., Murata N. Neural Network with Unbounded Activation Functions is Universal Approximator //arXiv preprint arXiv:1505.03654v2. 2015.
2. Schwartz L. Theorie des Distributions. Paris: Hermann, 1966.
3. Гельфанд И.М. Обобщенные функции и действия над ними, выпуск 1, 2-е изд.: Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «TASTE TROVE» ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА КУЛИНАРНЫХ РЕЦЕПТОВ

Н. А. Старовойтов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, nikitastarovojtov43@gmail.com
Научный руководитель — А. А. Дерюшев, кандидат технических наук, доцент*

Мобильное приложение «Taste Trove» для Android представляет собой удобный инструмент для поиска рецептов. Приложение предоставляет большое количество рецептов с понятной инструкцией по приготовлению. Пользователи могут быстро найти интересные их рецепты по категориям или названию, сохранить их для доступа в офлайн режиме, и составить список покупок.

Ключевые слова: мобильное приложение; android; рецепты; готовка; руководство.

ВВЕДЕНИЕ

Мобильные приложения в сфере кулинарии становятся все более популярными, предоставляя пользователям удобный способ находить рецепты, получать кулинарные идеи и управлять списками покупок прямо с мобильных устройств. В ответ на растущий спрос на такие приложения, было разработано мобильное приложение «Taste Trove», которое предоставляет пользователям возможность быстрого доступа к разнообразным рецептам, организации списков покупок и сохранению любимых рецептов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основной целью данного приложения является предоставление пользователям удобного и эффективного способа нахождения рецептов, управления списками покупок и организации кулинарных заметок.

ЗАДАЧИ РАБОТЫ

1. Провести анализ функциональности существующих кулинарных приложений для выявления основных возможностей и недостатков.
2. Разработать удобный и интуитивно понятный интерфейс приложения, обеспечивающий простоту использования для всех категорий пользователей
3. Реализовать функционал поиска рецептов по категориям, названию для обеспечения удобства пользователя.
4. Внедрить возможность сохранения любимых рецептов в избранное для быстрого доступа к ним в будущем.

5. Разработать функционал добавления ингредиентов из рецептов в список покупок для удобного планирования покупок и приготовления блюд.

6. Разработать функционал добавления ингредиентов и черные списки, для исключения из поиска

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ И ПОТРЕБНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Изучение требований и потребностей пользователей в области кулинарных приложений показало, что основные потребности включают в себя:

1. Удобный поиск рецептов по различным критериям.
2. Возможность сохранения любимых рецептов для последующего доступа.
3. Организация списков покупок для планирования походов в магазин и приготовления блюд.
4. Интуитивно понятный интерфейс для удобного использования приложения.

Функциональность приложения

Мобильное приложение «Taste Trove» предоставляет следующий функционал для удобства пользователей:

1. Поиск рецептов по ключевым словам и категориям;
2. История поиска рецептов;
3. Случайный рецепт;
4. Добавление рецептов в избранное;
5. Составление списка покупок на основе выбранного рецепта;
6. Добавление ингредиентов в черный список для игнорирования рецептов с ними при поиске.

Таким образом, приложение предоставляет весь необходимый набор инструментов для удобной организации поиска рецептов.

СРАВНЕНИЕ С АНАЛОГОМ «TASTY»

В сравнении с приложением «Tasty», мобильное приложение «Taste Trove» обладает следующими преимуществами (таблица) [1]:

Сравнительная характеристика мобильных приложений

Особенность	«Taste Trove»	«Tasty»
Удобный интерфейс	Да	Да
Офлайн-доступ	Да	Нет
Добавление рецептов в избранное	Да	Да
Составление списка покупок	Да	Нет
Игнорирование определенных продуктов	Да	Нет

Как видно из таблицы, мобильное приложение «Taste Trove» обладает более удобным функционалом, что делает его предпочтительным выбором для пользователей. Однако, приложение «Tasty» предоставляет пользователям возможность добавлять свои рецепты.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ функциональности мобильного приложения «Tasty», выявлены его основные преимущества и недостатки.

2. Разработано и реализовано мобильное приложение «Taste Trove» для операционной системы Android с учетом выявленных требований и проблем.

3. Проведено тестирование приложения для обеспечения его стабильной работы и соответствия заданным требованиям.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Дальнейшее развитие мобильного приложения «Taste Trove» предполагает следующие направления:

1. Расширение функциональности приложения: добавление пользователям возможности составления и добавление своих рецептов, рейтинг лучших рецептов.

2. Оптимизация интерфейса приложения: С учетом отзывов пользователей и современных тенденций в дизайне мобильных приложений, интерфейс будет доработан для повышения удобства использования.

3. Внедрение искусственного интеллекта: Использование технологий искусственного интеллекта для распознавания продуктов по фото и предоставления пользователю рецептов, содержащих эти продукты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мобильное приложение «Taste Trove» представляет собой ответ на растущий спрос пользователей в области кулинарных приложений, предоставляя удобный способ нахождения рецептов, управления списками покупок и организации кулинарных заметок.

Анализ требований и потребностей пользователей позволил определить основные функции, необходимые для удовлетворения потребностей аудитории. В результате был разработан функционал приложения, включающий в себя поиск рецептов, сохранение избранных рецептов, составление списков покупок и возможность организации черного списка ингредиентов.

Интуитивно понятный интерфейс и разнообразный функционал делают приложение «Taste Trove» удобным и эффективным инструментом

для любителей кулинарии. Оно предоставляет пользователям возможность экспериментировать с новыми рецептами, планировать покупки и наслаждаться приготовлением вкусных блюд.

Таким образом, мобильное приложение «Taste Trove» становится незаменимым помощником для всех, кто ценит удобство, функциональность и качество в мире кулинарии.

Библиографические ссылки

1. Tasty. Google Play Store [Электронный ресурс] URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.buzzfeed.tasty> (дата обращения: 25.06.2021).

ПОДХОДЫ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ ГИПОТЕЗЫ КОЛЛАЦА

И. С. Бочкарев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ivanbovhkarev@mail.ru
Научный руководитель — Т. А. Кашкан, старший преподаватель*

На сегодняшний день гипотеза Коллатца является одной из математических проблем, которая до сих пор остается нерешенной. Она названа в честь немецкого математика Лотара Коллатца, который сформулировал похожую проблему. Несмотря на простоту формулировки, за 90 лет никто не смог доказать правильность гипотезы. В статье рассматриваются подходы к доказательству гипотезы Коллатца и алгоритм вычисления градовых чисел.

Ключевые слова: гипотеза Коллатца; длина пути; закон Бенфорда; градовые числа.

THE IDEAS OF PROVING THE COLLATZ CONJECTURE

I. S. Bochkarev

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, ivanbovhkarev@mail.ru
Supervisor — T. A. Kashkan, Senior lecturer*

Today the Collatz conjecture is one of the problems that has remained unresolved. It is named after the German mathematician Lothar Collatz, who formulated a similar problem. Despite the simplicity of the formulation, no one has been able to prove the correctness of the hypothesis for 90 years. The article covers the ideas of the Collatz conjecture and algorithm for calculating hailstone numbers.

Keywords: Collatz conjecture; path length; Benford's law; hailstone numbers.

The Collatz conjecture is, but incredibly difficult to prove. So difficult in fact that many outstanding mathematicians have tried and failed to prove. There are more than 30 tasks that have remained partially or completely unsolved for today.

The Collatz conjecture is named after the German mathematician Lothar Collatz (1910 - 1990). As a professor at the Technical University of Hanover and then at the University of Hamburg, scientist worked in numerical analysis and published many important papers in this area. However, it is the conjecture for which he is best remembered.

In this article we will analyze the Collatz conjecture.

The Collatz hypothesis states that if we take any number n , and perform the following operations: divide the number by 2 if n is even; multiply the number by 3 and increase by 1 if the number is odd; then after a finite number of transformations we get 1.

Similar calculations were performed with a huge set of integers. An employee of the University of Tokyo, Nabuo Yoneda, studied all integers up to 2^{40} , or in other words up to 1.1×10^{12} . The result in all cases was the same: after a finite number of steps, the sequence converged to 1. Of the first 50 integers, the number 27 had the longest return path to 1. Integers that would generate an infinite sequence going up indefinitely were not found. And yet, we cannot claim that all integers behave the same way, since there is no theoretical justification for this yet.

After all that has been said, there seems to be no point in looking for a number that would behave in any other way. But there are some scientific works, which tried to prove the Collatz conjecture and came up with some result [1][2]. Also, the very fact of the existence of hailstone numbers raises many curious questions.

Perhaps the most intriguing properties of such numbers are the pronounced distribution of maximum values and path lengths. If such a small number as 27 is held "in limbo" for 111 steps and reaches a maximum of 9232, then one would expect that the path length and maximum values grow as fast as N . In reality, the path lengths grow extremely slowly; the growth of the maximum values is faster, but also very disordered.

Out of the first 100,000 numbers, the longest path is only 350 steps ($N=77,031$).

Thus, when N is increased by a factor of 1000, the path length only triples. There seems to be a logarithmic relationship here. As for the maximum value, the record value of 9232, reached by the number ($N=27$), was beaten only by the number ($N=255$: its maximum is 13,120. Other recorded maxima were distributed in the most disorderly way. Hailstone 77,671 broke all records, reaching 1,570,824,736.

One of the approaches to shed light on the problem of hailstone number's is to reverse its formulation. Suppose that all positive integers really converge to 1. Then they should form an unbroken chain connecting the entire infinite countable set of integers with a cycle at the base of this chain. Therefore, it is also possible to reverse the transformation over the hailstone numbers: starting from 1, we apply the transformation, as if backing away, to obtain large numbers. If any number cannot be obtained in this way, it cannot reach one.

This method would be perfect for obtaining a general solution to the problem of hailstone number's, if only it could be completed. It turns out that the

procedure is not as straightforward as it seems. The usual hailstone transformation function is unambiguous: any value of N has only one successor at any point in the calculations. If, for example, $N=40$, then the next (generated by it) number can be only 20. When we go through the path in the opposite direction, ambiguity arises. Regarding the number 20, it is clear that it could have turned out to be 40, which, therefore, should now follow it. But after the number 40, you can get either 80 or 13: the stream spreads into two arms, each of which needs to be explored. Branching occurs at all points of the form $6K+4$, where K is any non-negative integer, including zero [3].

In conclusion, we studied the Collatz conjecture, the hailstone numbers, sequences of maximum values, path lengths and value of the Collatz conjecture in mathematics, physics and law. Even if we won't be able to confirm the Collatz conjecture, we still can use the function at proving Benford's law (the probability of the appearance of a certain first significant digit). It proves that 1 appears as first digit ($\sim 30\%$), then 9 ($\sim 5\%$). If we take first 50 integers and their paths to 1, then integers starting with 1 will be 357, starting with 2- 213, with 3 – 102, with 4 – 153, 5 – 105, 6 – 31, 7 – 47, 8 – 77, 9 – 31. If we take more integers, we'll get results closer to Benford's law.

References

1. An analytic approach to the Collatz $3n + 1$ Problem 2011. [Electronic resource]. URL: <https://pdfslide.us/documents/collatz-conjecture-solution-hamburger-beitrage.html> (date of access: 26.05.2024).
2. Mathematics corresponds to a breakthrough in the study of a “dangerous” problem [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/articles/482812/> (date of access: 26.05.2024).
3. The rise and fall of hail numbers [Electronic resource]. URL: <https://ega-math.narod.ru/Nquant/Collatz.htm/> (date of access: 26.05.2024).

РЕШАЮЩАЯ РОЛЬ МАТЕМАТИКИ В ОПЕРАЦИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

В. А. Брызгалов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, v.bryzgalov2004@gmail.com
Научный руководитель — Е. Ю. Столярова, старший преподаватель*

Поскольку кибервойна становится все более распространенной в современных военных операциях, понимание и совершенствование кибербезопасности в контексте радиоэлектронной борьбы (РЭБ) имеет первостепенное значение. В данной статье исследуется пересечение математики и кибербезопасности в рамках РЭБ, подчеркивается роль математических дисциплин, таких как обработка сигналов, оптимизация и статистический анализ, в повышении качества электронных средств защиты. Изучая применение математических принципов для обнаружения, смягчения и противодействия киберугрозам в электромагнитном спектре, эта работа подчеркивает важную роль математики в развитии мер кибербезопасности в военных операциях.

Ключевые слова: кибербезопасность; радиоэлектронная борьба; обработка сигналов, математическое моделирование; статистический анализ.

THE CRUCIAL ROLE OF MATHEMATICS IN ELECTRONIC WARFARE OPERATIONS

V. A. Bryzgalov

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, v.bryzgalov2004@gmail.com
Supervisor — E. U. Stolyarova, Senior Lecturer*

As cyber warfare becomes increasingly prevalent in modern military operations, understanding and improving cybersecurity within the context of Electronic Warfare (EW) is paramount. This paper explores the intersection of mathematics and cybersecurity within EW, emphasizing the role of mathematical disciplines such as signal processing, optimization, and statistical analysis in fortifying electronic defenses. By examining the application of mathematical principles to detect, mitigate, and counteract cyber threats in the electromagnetic spectrum, this research underscores the vital role of mathematics in advancing cybersecurity measures in military operations.

Keywords: cybersecurity; electronic warfare; signal processing; mathematical modeling; statistical analysis.

INTRODUCTION

Electronic Warfare (EW) represents a critical domain in contemporary military strategy, encompassing Electronic Attack (EA), Electronic Protection (EP),

and Electronic Support (ES). With the growing sophistication of cyber threats, EW operations increasingly rely on advanced mathematical techniques to secure electromagnetic communications and operations against adversarial actions. This paper discusses the crucial role of mathematics in enhancing cybersecurity within EW by developing robust defenses and offensive capabilities.

MAIN PART

Mathematics forms the backbone of effective cybersecurity strategies in Electronic Warfare (EW), with the development of algorithms for encryption, signal detection, and anomaly recognition rooted in complex mathematical theories and principles. This includes the use of mathematical algorithms in signal processing to detect and analyze electromagnetic signals that indicate cyber intrusions or vulnerabilities, and mathematical modeling to provide predictive insights and simulations that aid in designing resilient cyber systems to anticipate and counteract threats. Additionally, statistical analysis employing methods like Bayesian inference helps assess and quantify cyber risk, enhancing decision-making under uncertainty. Various case studies demonstrate the successful application of these mathematical strategies in solving cybersecurity problems within EW, highlighting their effectiveness in enhancing signal integrity, securing communication channels, and identifying and mitigating potential cyber threats [1]. Optimization also plays a crucial role in resource allocation and strategic planning in EW operations, with techniques tailored to improve cybersecurity measures, such as optimizing the allocation of cryptographic resources and jamming equipment to maximize operational security and efficiency [3]. However, integrating mathematical methods into cybersecurity strategies presents challenges, including the complexity of real-time data analysis and the need for cross-disciplinary expertise [2]. As we delve deeper into the intersection of mathematics and cybersecurity within Electronic Warfare (EW), the paper explores specific mathematical techniques that could be pivotal in advancing current cybersecurity measures. For instance, graph theory and network analysis stand out as promising tools for understanding complex interconnections within cyber networks, enabling the identification of critical nodes and vulnerable points in network architecture. This approach can drastically improve network resilience by focusing security enhancements on these strategic areas.

Explore the role of machine learning algorithms in automating the detection of unusual patterns and anomalies in network traffic. These algorithms, driven by statistical and computational principles, can learn from vast amounts of data to distinguish between normal operations and potential threats, thereby providing faster and more efficient responses to cyber intrusions.

Another significant area covered is the application of game theory to cybersecurity in EW. By modeling interactions between attackers and defenders as a

series of strategic games, cybersecurity teams can anticipate and mitigate potential attacks more effectively. This theoretical framework helps in devising strategies that improve defensive tactics and resource allocation, making it a vital component of strategic cybersecurity planning.

Advanced dimensional reduction techniques, such as principal component analysis (PCA) and t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE), are highlighted as essential tools for simplifying complex data structures, making it easier to perform real-time analysis and enhance situational awareness in EW environments [4].

In addressing the interdisciplinary challenges, the paper advocates for a more integrated educational and training approach that combines mathematics, computer science, and military strategy. This integration is crucial for developing a workforce capable of managing and advancing cybersecurity technologies in complex EW scenarios.

Role of quantum computing in the future of cybersecurity in EW. Quantum algorithms have the potential to break conventional encryption methods, necessitating the development of quantum-resistant cryptographic systems. Research into quantum key distribution (QKD) and post-quantum cryptography could provide the necessary safeguards against quantum threats, underscoring the need for continued mathematical innovation in cybersecurity.

Through these discussions, the paper emphasizes the indispensable role of mathematics in enhancing cybersecurity in EW, pointing towards a future where mathematical innovations continue to provide the backbone for secure and resilient cyber-physical systems.

As we navigate the evolving landscape of cybersecurity in Electronic Warfare (EW), it is crucial to further develop our tools and methodologies to keep pace with rapid technological advancements. One promising area is the enhancement of artificial intelligence capabilities to predict and neutralize threats more effectively. By integrating predictive analytics into cybersecurity strategies, organizations can anticipate attack vectors and vulnerabilities before they are exploited. This proactive approach uses machine learning algorithms to analyze trends and patterns from historical data, enabling security systems to dynamically adjust their defenses.

Moreover, the integration of blockchain technology could revolutionize how we secure communications and transactions within EW operations. Blockchain's decentralized and tamper-proof structure makes it an ideal technology for securing the integrity of communications and ensuring the authenticity of transmitted data. Implementing blockchain could mitigate some of the risks associated with central points of failure and provide a more resilient infrastructure for critical cybersecurity operations.

Additionally, the role of cyber-physical systems in EW cannot be overstated. As warfare increasingly incorporates elements of both digital and physical domains, the security of these interconnected systems becomes paramount. Developing cybersecurity measures that can protect against both digital intrusions and physical sabotage is essential. This dual approach ensures comprehensive security coverage, safeguarding critical infrastructure and operational capabilities.

CONCLUSION

Through a comprehensive discussion of these topics, this article underscores the indispensable role of mathematical innovation in fortifying cybersecurity within EW. As we continue to confront and mitigate cyber threats, the ongoing advancement of mathematical research remains fundamental to ensuring the security and resilience of our cyber-physical systems.

Ultimately, the future of cybersecurity in EW will likely be defined by the ability to quickly adapt to new technologies and emerging threats. Continued investment in research and development, along with a strong emphasis on innovative educational programs, will be key to advancing our cybersecurity capabilities. As we look forward, the integration of next-generation technologies such as quantum computing into our cybersecurity arsenal will not only challenge existing security paradigms but also open new avenues for protecting and securing our digital and physical assets in the face of evolving threats.

In conclusion, mathematics serves as the cornerstone of electronic warfare operations, enabling the development of advanced techniques and strategies to dominate the electromagnetic spectrum. As technology continues to evolve, the role of mathematics in EW will only become more critical, underscoring the importance of ongoing research and innovation in this field.

References

1. *Anderson R. J.* Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems. Wiley Publishing. 2020. P. 245.
2. *Bishop M.* Introduction to Computer Security. Addison-Wesley Professional. 2018. P. 123.
3. *Vakin S. A., Shustov L. N., Dunwell R. H.* Fundamentals of Electronic Warfare. Artech House Radar Library, 2001. P. 189.
4. *Schneier B.* Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C. John Wiley & Sons. 2015. P. 321.

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

А. Ю. Гриц¹⁾, В. А. Птяжко²⁾

^{1), 2)} *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, antongric558@gmail.com
Научный руководитель — М. С. Буславская, старший преподаватель*

Интернет вещей (IoT) – это концепция, согласно которой физические устройства («вещи»), оснащенные специализированными датчиками, программным обеспечением и другими технологиями, могут собирать и обмениваться данными через Интернет. Эти устройства могут быть как бытовой техникой, так и промышленным оборудованием. Основная цель – сделать устройства «умными», позволяя им взаимодействовать друг с другом и с людьми, а также выполнять автоматизированные функции. Облегчая интеграцию и обмен данными между физическими устройствами и компьютерами, эта новая волна технологий призвана сделать жизнь человека проще и комфортнее за счет правильного баланса эффективности и производительности.

Ключевые слова: датчики; программное обеспечение; машинное обучение; межмашинная связь; искусственный интеллект; автоматизированные функции; облачные платформы.

THE INTERNET OF THINGS IN THE MODERN WORLD

A. Y. Grits¹⁾, V. A. Ptuashko²⁾

^{1), 2)} *Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, antongric558@gmail.com
Supervisor — M. S. Buslavskaya, Senior Lecturer*

The Internet of Things (IoT) is a concept whereby physical devices (“things”), equipped with specialized sensors, software, and other technologies, can collect and exchange data over the internet. These devices can range from household appliances to industrial equipment. The primary goal is to make devices “smart”, enabling them to interact with each other and with humans, as well as perform automated functions. By facilitating integration and data exchange between physical devices and computers, this new wave of technology aims to make human life simpler and more comfortable through the proper balance of efficiency and productivity.

Keywords: sensors; software; machine learning; machine-to-machine communication; artificial intelligence; automated functions; cloud platforms.

INTRODUCTION

This ecosystem of physical devices, ranging from household appliances to industrial equipment, can operate via wired and wireless networks without human intervention or human-computer interaction. The Internet of Things, leveraging advanced technologies such as machine learning, machine-to-machine

communication (M2M), and artificial intelligence (AI), aims to extend connectivity capabilities beyond standard internet-supported physical devices to a wide range of physical devices and everyday objects not connected to the internet. This system enables remote monitoring and control of these devices using a mobile phone or tablet.

A comprehensive system consists of four distinct components: sensor-equipped devices, network infrastructure, cloud platforms, and analytics, which facilitate the collection, transmission, storage, analysis, and utilization of data for various purposes.

The primary goal of the Internet of Things is to make devices “smart”, enabling them to interact with each other and perform automated functions. This system of technologies is essential for ensuring simplicity and comfort in daily life.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

The topic of “Internet of Things” encompasses the following key characteristics:

1. **Sensors and Devices:** The Internet of Things includes various physical devices such as smart sensors, smart home devices, industrial equipment, etc., equipped with sensors for data collection [1];
2. **Communication and Network:** System devices utilize network technologies (e.g., Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Long Range, Cellular) to transmit data to the cloud or other devices;
3. **Data Processing:** Collected data is processed to extract meaningful information, perform analytics, and make decisions [1];
4. **Cloud Platforms:** Data collected by Internet of Things devices is often stored and processed in cloud services, providing flexibility and scalability [2];
5. **Analytics and Intelligent Solutions:** The system enables the application of analytical methods to gain insights from data and automate decision-making;
6. **Applications:** Technologies of this concept are applied in various fields including smart cities, industry, healthcare, agriculture, transportation, etc [3];
7. **Security and Privacy:** Due to the transmission and processing of large volumes of data, security and personal information protection become critically important for the Internet of Things [2].

Despite its numerous advantages, the Internet of Things also faces a number of problems and challenges, including:

1. **Security:** Devices may be vulnerable to cyber attacks due to insufficient protection and vulnerabilities in the software [4];

2. Privacy: The collection and storage of large volumes of personal user data by Internet of Things devices raise concerns about privacy and data protection. Lack of transparency regarding how this data is used and stored may cause user apprehension [5];

3. Data Management: The large volume of data collected by system devices poses challenges in terms of managing, storing, analyzing, and utilizing it. The lack of efficient methods for data processing and analytics can hinder extracting useful information from it [1];

4. Energy Consumption and Durability: Many devices operate on batteries or have limited energy consumption. This creates challenges in terms of device longevity and durability, especially for devices installed in remote locations [4];

These issues require attention and solutions from manufacturers, developers, governmental organizations, and other stakeholders to ensure sustainable and secure development of the Internet of Things.

RESULTS AND THEIR DISCUSSION

The outcomes of the Internet of Things (IoT) system can be significant and encompass various aspects of life and business. Here are some of them:

1. Smart Cities: IoT enables cities to gather data on transportation, energy consumption, public safety, and other aspects of urban infrastructure to optimize resource management and improve the quality of life for residents;

2. Smart Homes and Buildings: The Internet of Things enables the automation of lighting, heating, air conditioning, and security systems in homes and buildings, enhancing the comfort and safety of occupants while reducing energy consumption;

3. Industrial Automation (Industrie 4.0): IoT facilitates the creation of smart factories and production lines, where machines and equipment can exchange data and make autonomous decisions, thus increasing production efficiency and flexibility [4];

4. Improved Healthcare: Implementing the Internet of Things in medicine allows for real-time monitoring of patient health, prevention of disease problems, and improvement of the quality of medical care;

5. Agriculture and Ecology: IoT can be used to monitor soil, plant, and animal conditions on farms, enabling agricultural producers to optimize processes and reduce negative environmental impact.

These results demonstrate the potential of the Internet of Things in improving various aspects of life and work, as well as creating new opportunities for innovation and development (table).

Table of statistics on the utilization of the Internet of Things (IoT) in various aspects of human life in percentage:

Life Area	Percentage of IoT usage
Smart Homes and Buildings	30%
Industrial Automation	25%
Smart Cities	20%
Healthcare	15%
Transportation	10%
Agriculture	5%
Energy	5%
Retail	5%

These percentage values represent an approximate distribution of IoT usage across various realms of life and may vary depending on the region, technological advancements, and other factors.

CONCLUSION

In conclusion, the article on the Internet of Things (IoT) underscores the following key points:

1. Role in the Modern World: The Internet of Things plays an increasingly significant role in people's daily lives and businesses, bringing improvements to various aspects of our lives;

2. Advantages: The application of IoT technologies leads to increased efficiency, improved quality of life, optimization of production processes, and cost reduction;

3. Challenges and Issues: Despite its numerous advantages, the Internet of Things system also faces a number of challenges, such as security, privacy, standardization, and data management issues;

4. Development Prospects: In the long term, further expansion of IoT usage in various industries and areas of life is expected, which will lead to the emergence of new opportunities and challenges;

5. Importance of Innovation and Collaboration: The development of IoT requires constant innovation, standardization, and collaboration among various stakeholders, including manufacturers, developers, government organizations, and consumers.

In conclusion, the significance of the Internet of Things system in the modern world is emphasized, and there is a call for continued research and development in this area to realize its full potential in improving quality of life and advancing business.

References

1. What Is the Internet of Things? [Electronic resource]. URL: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things> (date of access: 02.04.2024).
2. Introduction to the Internet of Things (IoT) [Electronic resource]. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html> (date of access: 02.04.2024).
3. What Is the Internet of Things? [Electronic resource]. URL: <https://www.tech-target.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (date of access: 02.04.2024).
4. IoT For All: Your Source For Everything IoT [Electronic resource]. URL: <https://www.iotforall.com/9-iot-innovations-that-make-smart-warehouses-possible> (date of access: 02.04.2024).
5. The Rise of IoT: Overcoming Challenges and Exploring Opportunities [Electronic resource]. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world> (date of access: 02.04.2024).

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА КИБЕРПРЕСТУПНОСТЬ

М. А. Ляпич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, lyapich.m@protonmail.com
Научный руководитель — О. Б. Куцелай, старший преподаватель*

В этой работе рассматривается, как киберпреступники используют искусственный интеллект (ИИ) для вредоносной деятельности. В ней подчеркивается использование ИИ в продвинутой социальной инженерии и манипуляциях, включая создание убедительных искусственных персон и сообщений для обмана людей. В работе также рассматривается эволюция методов фишинга, когда ИИ позволяет создавать высоко персонализированные и убедительные электронные письма. Кроме того, в отчете рассматривается роль ИИ в разработке новых вредоносных программ и дипфейков, что создает серьезные проблемы для кибербезопасности. В статье подчеркивается растущая обеспокоенность кибератаками с использованием искусственного интеллекта и необходимость того, чтобы специалисты по кибербезопасности понимали и противостояли этим развивающимся угрозам.

Ключевые слова: искусственный интеллект; кибербезопасность; киберпреступность; социальная инженерия; фишинг; вредоносное ПО; дипфейк.

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON CYBERCRIME

M. A. Lyapich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, lyapich.m@protonmail.com
Supervisor — O. B. Kutselay, Senior lecturer*

This report examines how cybercriminals exploit artificial intelligence (AI) for malicious activities. It highlights the use of AI in advanced social engineering and manipulation, including the creation of convincing personas and messages to deceive individuals. The report also explores the evolution of phishing techniques, with AI enabling highly personalized and convincing emails. Furthermore, it examines the role of AI in the development of new malware and deepfakes, posing significant challenges for cybersecurity. The report underscores the growing concern over AI-driven cyberattacks and the need for cybersecurity professionals to understand and counter these evolving threats.

Keywords: artificial intelligence; cybersecurity; cybercrime; social engineering; phishing; malware; deepfakes.

INTRODUCTION

In the digital era, artificial intelligence has emerged as a pivotal force driving innovation and efficiency across various sectors. Its profound influence extends from automating mundane tasks to fostering breakthroughs in machine learning and cognitive technology. However, as AI reshapes the technological landscape, it also ushers in novel and formidable challenges in the sphere of cybersecurity. This report examines the dual role of AI in cybercrime - as both a protector and a perpetrator - and offers a critical analysis of its far-reaching impact.

The number of cyberattacks has been on a concerning upward trend in recent years, with significant increases observed annually. In 2023 alone, the global cybersecurity landscape experienced a substantial surge in cyber incidents. According to reports, cyberattacks increased by 78% in 2023 compared to the 2021, reaching an all-time high [1]. And the development of artificial intelligence played an important role in this.

The global economy faces significant financial losses due to cybercrime, with estimates indicating a substantial impact on economic stability. Reports suggest that the likely annual cost to the global economy from cybercrime exceeds \$8 trillion in 2023, highlighting the immense financial burden imposed by malicious cyber activities. After the eleventh consecutive increasing year, the indicator is estimated to reach \$13.82 trillion and therefore a new peak in 2028 [2]. These statistics underscore the urgent need for robust cybersecurity measures and heightened vigilance to mitigate the economic repercussions of cybercrime on a global scale.

This report delves into the intricate interplay between AI and cybersecurity, emphasizing the ongoing need for advancements in both fields to effectively combat the dual nature of AI in the digital realm. Drawing on research from reputable institutions, it examines the latest trends and insights to provide a comprehensive understanding of how AI is shaping the cybersecurity landscape.

MAIN PART

AI-powered chat-bots and conversational agents are increasingly utilized in social engineering attacks to manipulate users into divulging sensitive information or performing actions that compromise security. These AI-driven bots are designed to engage in realistic conversations, mimic human behavior, and exploit psychological vulnerabilities to deceive individuals and extract confidential data. By leveraging AI to automate social engineering tactics, cybercriminals can scale their operations, target a larger number of individuals, and tailor their manipulative strategies to bypass traditional security controls. The use of AI in social engineering attacks underscores the evolving sophistication of cyber threats and the need for enhanced awareness and education among users to mitigate the risks posed by these deceptive tactics.

In the context of AI's role in enhancing cyber threats, it's important to note that 70% of all cyber-attacks involve phishing attempts [3]. Cybercriminals leverage AI to enhance phishing attacks by creating highly sophisticated and convincing messages tailored to individual recipients. These AI-powered phishing campaigns apply machine learning algorithms to analyze vast amounts of data about potential targets, enabling the generation of personalized emails that mimic legitimate communications from trusted sources. By incorporating personal details, social engineering tactics, and psychological triggers, cybercriminals can significantly increase the success rate of their phishing attempts, making it harder for users to discern between genuine and fraudulent messages.

Regarding the development of malware, advancements in AI and machine learning have enabled cybercriminals to create more adaptive and elusive threats. Cybercriminals harness AI algorithms and machine learning capabilities to develop malware that adapts, evolves, and learns from its environment, making it increasingly challenging for traditional security measures to detect and mitigate. Furthermore, now even a person with a limited knowledge of programming languages could design its own malicious code. For instance, FraudGPT has the capability to produce harmful code, develop viruses or malware that cannot be detected easily, produce phishing pages and hacking tools for infiltrating groups, websites, and markets [4]. It can also create fraudulent web pages or messages, uncover leaks and vulnerabilities, as well as gain access to active cards. This Chatbot is available for a monthly subscription fee ranging from \$200 to \$1,700. The new era of AI-powered malware development enables cybercriminals to automate the creation of malicious software, tailor attacks to specific targets, and evade detection by security tools through dynamic and polymorphic behavior. As AI continues to advance, the potential for more complex and stealthy malware variants poses a significant challenge for cybersecurity professionals, highlighting the critical need for innovative defense strategies and proactive threat intelligence to combat the evolving tactics of cyber adversaries in this new era of AI-driven cyber threats.

Finally, with the rapid evolution of AI technologies, deepfakes have emerged as a great concern. Deepfakes represent a significant advancement in artificial intelligence technology that enables the creation of highly realistic and often deceptive audiovisual content [5]. These intricate manipulations use deep learning algorithms to superimpose or replace faces and voices in videos, making it appear as though individuals are saying or doing things they never actually did. While deepfake technology has promising applications in entertainment and digital content creation, its misuse poses serious threats to various aspects of society, including misinformation, fraud, and privacy breaches. The proliferation of deepfakes has raised concerns about the erosion of trust in media and the potential for malicious actors to exploit these tools for nefarious purposes, such as spreading disinform-

mation, impersonating individuals, or manipulating public opinion. As the capabilities of deepfake technology continue to evolve, it is essential for individuals, organizations, and policymakers to remain vigilant, develop robust detection methods, and promote media literacy to mitigate the risks associated with the proliferation of deepfakes in the digital age.

CONCLUSION

In conclusion, the convergence of AI and cybercrime represents a paradigm shift in the cybersecurity landscape, with profound implications for organizations, individuals, and society as a whole. By understanding the intricacies of AI-powered cybercrime and adopting proactive defense strategies that leverage AI technologies for threat mitigation, we can better equip ourselves to combat the evolving threats posed by malicious actors. As we navigate the complex interplay between AI and cybercrime, it is essential to remain vigilant, informed, and prepared to address the challenges and opportunities that arise in this dynamic and rapidly evolving cybersecurity environment.

References

1. IBM X-Force Threat Intelligence Index 2024 [Electronic resource]. URL: <https://www.ibm.com/reports/threat-intelligence> (date of access: 27.05.2024).
2. Estimated cost of cybercrime worldwide 2017-2028 [Electronic resource]. URL: <https://www.statista.com/forecasts/1280009/cost-cybercrime-worldwide> (date of access: 27.05.2024).
3. World Economic Forum Global Cybersecurity Outlook 2024 [Electronic resource]. URL: <https://www.weforum.org/publications/global-cybersecurity-outlook-2024> (date of access: 27.05.2024).
4. Group-IB report Hi-Tech Crime Trends 23/24 [Electronic resource]. URL: <https://www.group-ib.com/resources/research-hub/hi-tech-crime-trends-2023-eu/> (date of access: 27.05.2024).
5. Rini R., Cohen L. Deepfakes, Deep Harms [Electronic resource] // Journal of Ethics & Social Philosophy. 2022. URL: <https://www.jesp.org/index.php/jesp/article/view/1628> (date of access: 27.05.2024).

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ОПТИМИЗАЦИЯ СМЕШИВАНИЯ В БОЗОННЫХ ЦЕПОЧКАХ ТИПА РУДНЕРА-ЛЕВИТОВА

М. А. Анцух

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vanishinggraceew@gmail.com
Научный руководитель – Д. С. Мозилевцев, доктор физико-математических наук,
член-корреспондент НАН РБ*

В данной работе рассмотрена оптимизация времени смешивания в линейных решетках типа Руднера–Левитова путем подбора начального состояния. Показано, как время смешивания зависит от положения начального одиночного возбуждения и влияние параметров самой системы на характер данной зависимости и что соответствующим начальным возбуждением нескольких мод возможно достижение разных “скейлингов” времени смешивания.

Ключевые слова: смешивание состояния; время смешивания; модель Руднера – Левитова; исключительные точки.

Смешивание, т. е. процесс перехода системы от начального локализованного состояния к конечному делокализованному стационарному состоянию, вызывает широкий интерес в физике и находит приложения в том числе в квантовых вычислениях [1].

Определённые типы систем со смоделированными потерями можно рассматривать с точки зрения неэрмитовой физики, особенностью которой является то, что неэрмитовы матрицы, допускают особый тип вырождений в исключительных точках [2]. Было показано, что в неэрмитовых цепочках, рассматриваемых в данной работе, особые точки могут определять не только характер смешивания, но даже и само его существование; помимо этого, было показано, что оптимизировать время смешивания можно посредством изменения параметров системы [3].

Мы рассматриваем цепочку, состоящую из унитарно связанных одно-модовых волноводов, моделируя дополнительные потери в каждом втором волноводе. Полагая начальное состояние системы когерентным, динамику системы можно записать в виде уравнения Шредингера для вектора когерентных амплитуд с неэрмитовым эффективным гамильтонианом:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{\psi}(t)}{dt} = -i\hat{H}\vec{\psi}(t), \quad H_{2n,2n} = -i\Gamma, \quad H_{2n-1,2n} = H_{2n,2n-1} = v_1 \\ H_{2n,2n+1} = H_{2n+1,2n} = v_2, n = \overline{1, N_L} \end{aligned} \quad (1)$$

где компоненты вектора амплитуд ψ_j – амплитуды населенностей соответствующих узлов решетки, Γ – скорости затухания мод с потерями, N_L – число мод с потерями, v_j – скорости унитарного взаимодействия между модами. Далее положим, что $v_1 = v \cos(\phi)$, $v_2 = v \sin(\phi)$, $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$.

Предполагается, что рассматриваемые системы обладают «темновым» состоянием. Темновое состояние является невакуумным стационарным состоянием, что требует наличия нулевого собственного значения в спектре матрицы, определяемой выражением. Практическая значимость рассматриваемых систем заключается в том, что они проецируют начальное состояние на темновое.

Ввиду потерь в системе необходимо ввести нормированные в каждый момент времени вероятности населенности, что позволит определить время смешивания классическим образом:

$$\begin{aligned} p_j(t) = \frac{|\psi_j(t)|^2}{P_{tot}(t)}, \quad P_{tot}(t) = \sum_{j=1}^{2N_L+1} |\psi_j(t)|^2, \\ T_{mix}(\varepsilon) = \min\{t \geq 0 : \sum_{\forall j} |p_j(t) - p_j^{st}| \leq \varepsilon\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где p_j^{st} – стационарное распределение, к которому система смешивается, T_{mix} – время смешивания.

Зависимость времени смешивания от положения начального одномодового возбуждения определяется отношением v/Γ относительно наибольшей исключительной точки. Рисунок 1(в) представляет зависимость для случаев как симметричной ($v_1 = v_2$), так и асимметричной ($v_1 \neq v_2$) решеток, когда система находится до наибольшей исключительной точки. Получаем, что для симметричной системы, время смешивания также симметрично относительно центрального узла (рис. 1(в)), при этом, что довольно очевидно, возбуждение центрального узла приводит к минимальному времени смешивания. Введение асимметрии в систему сдвигает наибольшую исключительную точку в сторону меньшего отношения параметров. Пока отношение параметров системы находится между двумя исключительными точками, зависимость времени смешивания от положения начального возбуждения будет оставаться немонотонной. При этом, есть

соответствие между компонентами собственного вектора, соответствующего собственному значению со второй наименьшей мнимой частью и зависимостью времени смешивания от положения начального одномодового возбуждения. За наибольшей исключительной точкой зависимость времени смешивания от положения становится монотонной функцией номера узла. Это связано с тем, что теперь в системе нельзя выделить самую медленную динамику, следовательно, зависимость диктуется структурой вектора темного состояния.

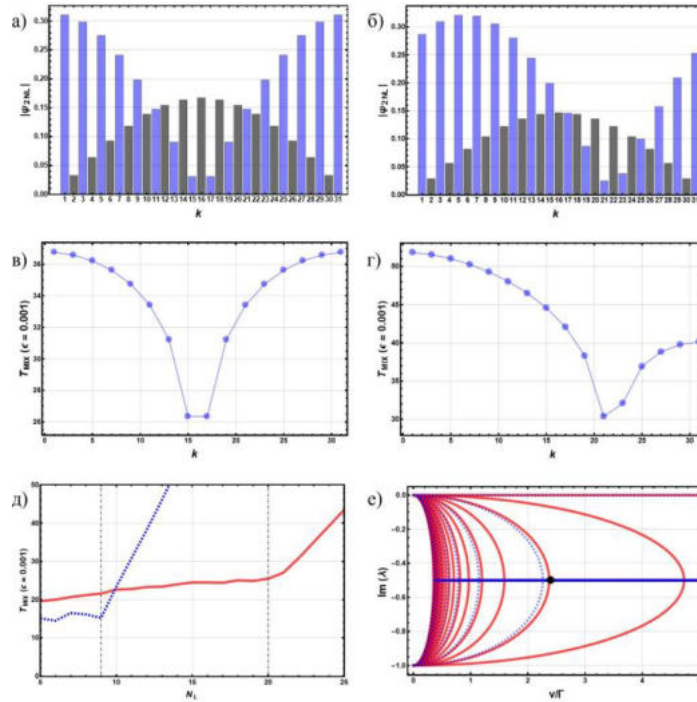


Рис. 1. (а)-(б): Абсолютные значения компонент собственного вектора, соответствующего собственному значению со второй наименьшей мнимой частью для симметричной и асимметричной систем с параметром асимметрии $\varphi = 0.23\pi$; На каждом графике синие столбики соответствуют модам без затухания, серые – модам с затуханием. (в)-(г): Зависимость времени смешивания в единицах Γ^{-1} от положения одномодового начального возбуждения для симметричной и асимметричной решеток с отношением $\nu/\Gamma = 3$; 2.3 соответственно при параметре $\varepsilon = 0.001$. Число узлов с потерями для обоих случаев $N_L = 15$. (д): Зависимость времени смешивания в единицах Γ^{-1} от числа мод с потерями N_L при начальном возбуждении двух мод; сплошная кривая соответствует случаю, когда вектор начального возбуждения ортогонален вектору с собственным значением со второй наименьшей мнимой частью; пунктирная кривая отвечает возбуждению мод с одинаковой по модулю амплитудой, вертикальными линиями отмечен переход фиксированного ν/Γ исключительных точек; параметры системы в двух случаях: $\nu/\Gamma = 2$, $\varphi = 0.25\pi$. Во всех случаях возбуждались первая и третья моды. (е): Мнимая часть спектра исследуемой системы в зависимости от отношения ν/Γ при различных N_L ; сплошные линии отвечают $N_L = 20$, пунктирные – $N_L = 9$.

При нахождении системы до наибольшей исключительной точки знание компонент собственного вектора, позволяет сразу выбрать узел, возбуждение которого при заданных параметрах системы, приведет к наиболее интенсивному процессу смешивания. За наибольшей исключительной точкой зависимость времени от изначально возбуждаемого узла определяется вектором темнового состояния.

Выбор начального одномодового возбуждения позволяет в общем случае лишь минимизировать вклад медленной динамики в процесс смешивания. В случае начального возбуждения двух мод можно полностью исключить нежелательную динамику, выбрав возбуждение таким образом, чтобы вектор начального состояния был ортогонален вектору, соответствующему медленной динамике. Возбуждая в начальный момент времени две моды так, чтобы вектор начального состояния был ортогонален собственному вектору, соответствующему собственному значению со второй наименьшей мнимой частью, мы ставим своей целью эффективно сдвинуть наибольшую исключительную точку в сторону меньших значений, увеличивая область логарифмического скейлинга. Рисунок 1(д) показывает, что такой эффект обусловлен смещением исключительной точки при надлежащем начальном возбуждении.

Было показано, что время смешивания может быть уменьшено не только изменением констант связи или геометрии системы, но также и подбором начального состояния в соответствии со структурой собственных векторов эффективного гамильтониана; при перемещении одномодового начального возбуждения по цепочке есть явное соответствие между компонентами вектора и временем смешивания – минимальное время смешивания соответствует минимальной по абсолютному значению компоненте (рис. 1(г)). Подбирая начальное состояние, ортогональное вектору, соответствующему медленной динамике, можно добиться значительного увеличения области логарифмического скейлинга (рис. 1 (д)).

Библиографические ссылки

1. S. Venegas-Andraca/Quantum walks: A comprehensive review//Quantum Information Processing 11 (2012).
2. Y. Ashida, Z. Gong, and M. Ueda / Non-hermitian physics//Advances in Physics 69, 249–435 (2020).
3. D. Mogilevtsev, I. Peshko, M. Antsukh, D. Novitsky/Optimizing mixing in the Rudner–Levitov lattice // JOSAB Vol. 40, Issue 10, 2566-2575(2023).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСКРИМИНАЦИИ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ФОРМЕ ИХ ИМПУЛЬСА (PSD) ДЛЯ РЕШЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Е. А. Борисевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, garovaknorka@mail.ru*

Научный руководитель — В. А. Мечинский, кандидат физико-математических наук

В данной статье анализируются возможности использования цифрового метода дискриминации выходных сигналов сцинтилляционных детекторов ионизирующего излучения по форме их импульса, используя в качестве образцов сцинтилляторы GAGG:Ce размером $3 \times 3 \times 5$ мм³ и LYSO:Ce размером $3 \times 3 \times 3$ мм³. В качестве фотоприёмников в данной работе были использованы ФЭУ Hamamatsu R329-02 и кремниевый ФЭУ (SiPM) производства фирмы Advansid.

Ключевые слова: сцинтиллятор; детектор; импульс; фотоприёмник; альфа-частица; гамма-квант; ионизация.

В экспериментах по регистрации и измерению энергии ионизирующего излучения используются сцинтилляционные детекторы, в которых сцинтиллятор оптически соединяется с фотоприёмником при этом амплитуда выходного сигнала пропорциональна энергии, потерянной частицей в объёме детектора.

В экспериментах с частицами разного сорта, особенно в случае, когда их энергии лежат в близких энергетических интервалах, амплитуды сигналов могут практически совпадать, что говорит о необходимости дополнительной информации для анализа данных [1]. За счёт особенностей механизмов транспорта выделенной в сцинтилляторе энергии и процессов возбуждения и релаксации центров высвечивания, интенсивность и длительность высвечивания сцинтилляционного импульса может изменяться в зависимости от создаваемой плотности ионизации, которая для различных типов частиц с одинаковой первичной энергией будет разная. Таким образом, информацию о типе частицы может дать анализ формы импульса, на основе метода дискриминации выходных сигналов сцинтилляционных детекторов по форме импульса (PSD).

Суть метода PSD заключается в вычислении PSD-параметра:

$$\text{PSD} = 1 - \frac{Q_s}{Q_l}$$

где Q_s – заряд быстрой компоненты импульса, Q_l – полный заряд всего импульса. Ширина диапазона Q_s отсчитывается от максимальной величины сигнала до некоторой заданной позиции (PSD_BIN value) после этой величины, а Q_l – от максимальной величины сигнала до конца оцифрованного сигнала. Моментом старта сбора сигнала выбирается максимальное значение сигнала, от которого идёт отсчёт длительности быстрой компоненты Q_s до пересечения заданной границы (рис.1).

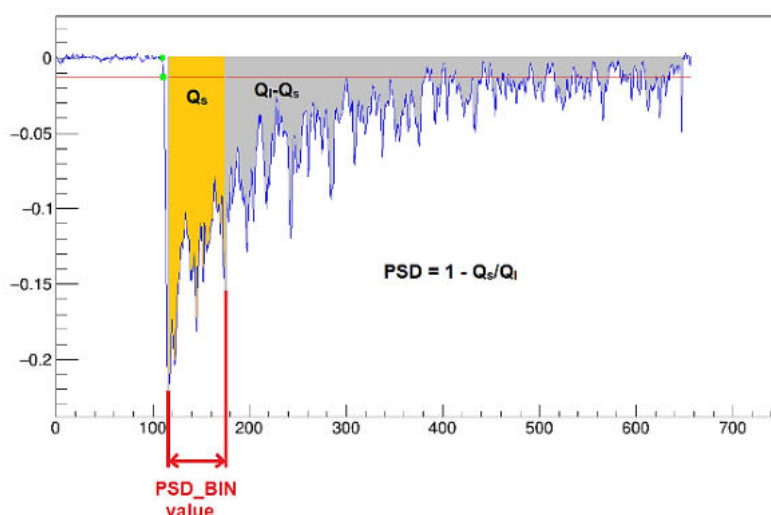


Рис.1. Пример оцифрованного сигнала с отмеченными областями для вычисления величины PSD методом сравнения зарядов

В данной работе для измерения PSD-спектра в качестве сцинтилляторов были взяты $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ (GAGG:Ce) размером $3 \times 3 \times 5 \text{ мм}^3$ и $\text{Lu}_{2(1-x)}\text{Y}_{2x}\text{SiO}_5:\text{Ce}$ (LYSO:Ce) размером $3 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$, обёрнутые в тефлоновый отражатель для улучшения эффективности светосбора, а в качестве фотоприёмников были использованы ФЭУ R329-02 производства фирмы Hamamatsu и SiPM производства фирмы Advansid (ASD-RGB4S-P) размером $4 \times 4 \text{ мм}^2$ [2, 3]. Для оцифровки импульсов от детекторов и последующей передачи полученной оцифровки на компьютер применялся оцифровщик DRS4 Evaluation Board [4].

В первом случае образцы GAGG и LYSO, помещались на поверхность входного окна ФЭУ R329 с использованием оптической смазки. Сначала образец облучался только альфа-частицами с энергией $E_\alpha = 5500 \text{ кэВ}$ от источника ^{238}Pu , далее – только гамма-квантами от источника ^{137}Cs (662 кэВ), и далее – одновременно двумя источниками.

Во втором случае в качестве фотоприёмника использовался SiPM производства фирмы Advansid размером $4 \times 4 \text{ мм}^2$, размещённый на плате предусилителя AdvanSid ASD-EP-EB-PZ, помещённые в термостатирующий и светонепроницаемый бокс. Источники ионизирующего излучения,

образцы и иммерсия были взяты те же, что и в измерениях с ФЭУ. С использованием ПО оцифровщика выполнялось триггерование входных сигналов по уровню -20 мВ, которые записывались в виде DAT-файлов для последующего анализа в пакете программ ROOT [5].

Во-первых, для методики измерения PSD-спектра исследовалось влияние функции отклика фотоприёмника на форму импульса для образцов GAGG и LYSO. В случае SiPM наблюдается затягивание не только заднего фронта, но и переднего фронта, что связано с относительно большой ёмкостью SiPM по сравнению с ФЭУ (рис. 2).

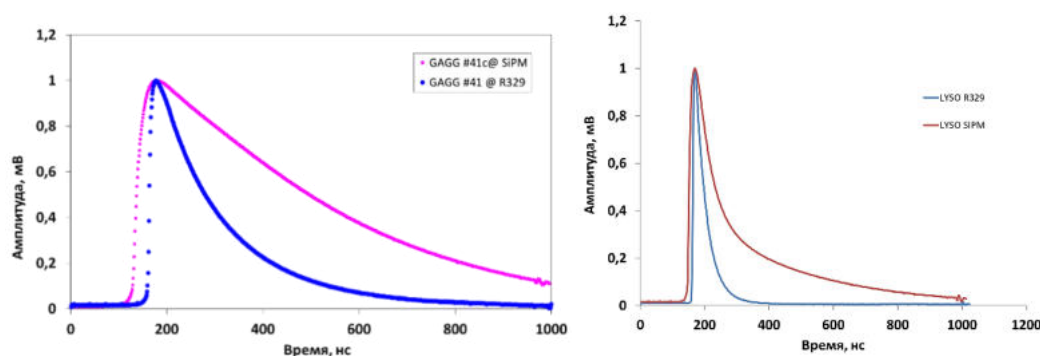


Рис. 2. Усреднённый нормализованный профиль импульсов от GAGG (слева) и LYSO (справа), сопряжённого с ФЭУ R329-02 (синяя кривая) и SiPM (красная кривая)

Во-вторых, исследовалось изменение формы импульсов в зависимости от типа частиц ионизирующего излучения. На рис. 3 видно, что отклик образца GAGG на альфа- и гамма-излучение различен, ввиду влияния линейной плотности ионизации вдоль трека, что обуславливает затягивание заднего фронта импульса от альфа-частиц относительно импульса от гамма-излучения.

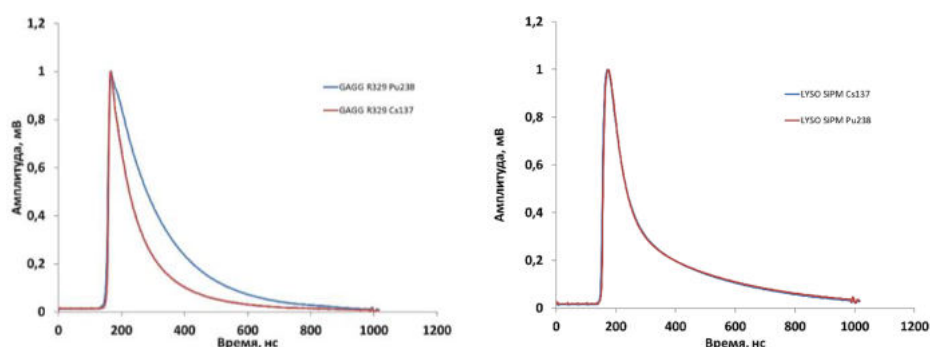


Рис.3. Различие в форме импульсов от гамма- и альфа-излучения для образцов GAGG при использовании ФЭУ R-329-02 (слева) и LYSO при использовании SiPM (справа)

Различия в форме импульсов от гамма- и альфа-излучения в образце LYSO практически не наблюдается, что говорит о том, что кинетики высвечивания для альфа- и гамма-излучения практически совпадают.

В качестве примера можно привести вид PSD-спектрограмм (рис.4), полученных для GAGG и LYSO, с использованием ФЭУ XP2020 под гамма- и альфа источниками при величине PSD_BIN (в каналах) равной 150 и 60 каналов, соответственно.

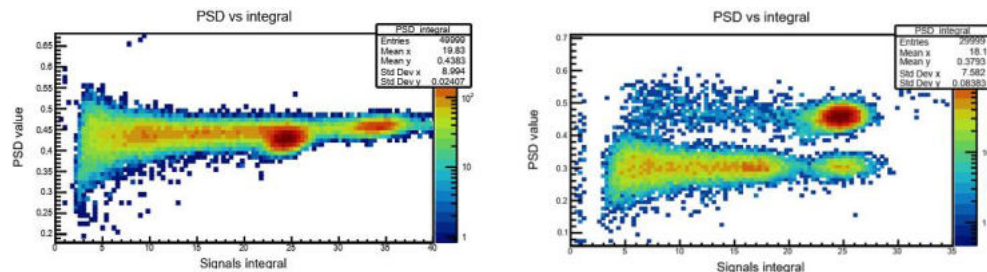


Рис.4. PSD-спектрограмма альфа-частиц ^{238}Pu и гамма-квантов ^{137}Cs для образца LYSO при PSD_BIN=60 (слева) и для образца GAGG при PSD_BIN=150 (справа) при использовании ФЭУ XP2020

По PSD-спектрограммам видно, что в случае LYSO сигналы от альфа- и гамма-излучения не разделяются по форме ввиду одинаковой кинетики, а в случае образца GAGG величины для PSD-параметров импульсов гамма- и альфа-излучения различаются как по кинетике высвечивания, так по световыходу, что даёт хорошее разделение сигналов по форме.

В данной работе было рассмотрено применение метода PSD при регистрации излучения смешанного типа. Сравнение импульсов с ФЭУ и SiPM, показало, что в случае SiPM наблюдается затягивание не только заднего фронта, но и переднего фронтов. А также было показано влияние типа частиц на форму импульса.

Образец GAGG показывает хорошее PSD-разделение в случае альфа- и гамма-излучения, образец LYSO не подходит для разделения импульсов по форме.

Библиографические ссылки

1. Цитович А.П. Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984, 408с.
2. RGB SiPMs Chip Scale Package (CSP) / [Электронный ресурс] // AdvansSiD: Advanced Silicon Detectors: [сайт]. — URL: <https://www.advansid.com/> (date of access 15.05.2024).
3. Photomultiplier tube R329-02 / [Электронный ресурс] // Hamamatsu Photonics: [сайт]. — URL: <https://www.hamamatsu.com> (date of access 15.05.2024).
4. DRS4 Evaluation Board / [Электронный ресурс] // Paul Scherrer Institut (PSI): [сайт]. — URL: <https://www.psi.ch/en> (date of access 15.05.2024).
5. ROOT - An Object Oriented Data Analysis Framework / R. Brun, F. Rademakers // Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A. - 1997. - Vol.389. - PP.81-86.

КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОПЛАСТИН ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА

Т. И. Городко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fiz.gorodko@bsu.by
Научный руководитель — А. В. Кухто, кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник*

В статье рассказывается про то, как можно исследовать нанопластины дисульфида молибдена с помощью программного пакета Gaussian09. Были проведены расчеты оптимизации молекул, UV-VIS электронные переходы и было произведено сравнение с экспериментальными спектрами поглощения нанопластин функционализированного дисульфида молибдена.

Ключевые слова: дисульфид молибдена; Gaussian09; нанопластины дисульфида молибдена; оптимизация молекул; UV-VIS электронные переходы; спектр поглощения; теория функционала плотности.

Двумерные материалы (2D-материалы), кристаллы, состоящие из одного или нескольких слоёв, в которых межатомные взаимодействия в плоскости слоя гораздо сильнее, чем межплоскостные. [1, 2, 3, 4] Для проявления особых свойств 2D-материалов необходимо, чтобы их толщина была меньше латеральных размеров на два или более порядка. При латеральных размерах менее 100 нм двумерные материалы начинают проявлять свойства квантовых точек.

Функционализация многослойного и монослойного дисульфида молибдена на основе тиола выполняется для настройки его электрических и оптических характеристик. [5]

С помощью Gaussian09 в данной работе были проведены такие расчеты как: оптимизация геометрии молекулы, UV-VIS электронные переходы. Для простоты расчетов в первом приближении в качестве монослоя дисульфида молибдена использовалось кольцо из атомов молибдена и серы. Использовалась модель теории функционала плотности. [7]

Функциональная молекула может соединяться с молекулой кольца из атомов молибдена и серы как через атом серы, так и через атом молибдена. Ввиду этого в данной работе рассматривалось оба случая соединения функциональной молекулы и дисульфида молибдена.

Выбор теоретической модели зависит от размера системы и уровня аппроксимации. [6, 7] В модели теории функционала плотности твёрдое тело рассматривается как система, состоящая из большого числа одинаково

взаимодействующих между собой электронов, удерживаемых вместе решёткой из атомных ядер. В качестве базиса в работе использовался базис 3-21G, так как он определен для атомов данной молекулы. Функционал используется для описания энергии системы электронов и определения их движения в молекуле. Здесь использовался функционал B3LYP. [7]

На рисунке 1 показана оптимизированная молекула, где функциональная молекулы присоединена к атому молибдена из кольца.

На рисунке 2 показана оптимизированная молекула, где функциональная молекула присоединена к атому серы из кольца.



Рис. 1. Оптимизированная молекула, где функциональная молекула присоединена к атому молибдена



Рис. 2. Оптимизированная молекула, где функциональная молекула присоединена к атому серы

Так, для НОМО-1 (НОМО – высшая занятая молекулярная орбиталь) (Рисунок 4а, Рисунок 3b) молекулярной орбитали вся электронная плотность сосредоточена в кольце молибден-сера, когда для LUMO+1 (LUMO – низшая незанятая молекулярная орбиталь) (Рисунок 4с, Рисунок 3d) электронная плотность уже растянулась дальше, ближе к хвосту функциональной молекулы.

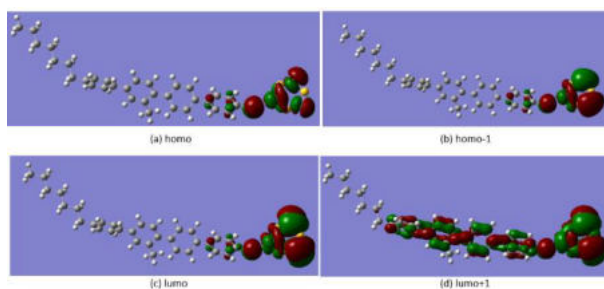


Рис. 3. Распределение электронной плотности в молекуле, где функциональная молекула присоединена к молибдену

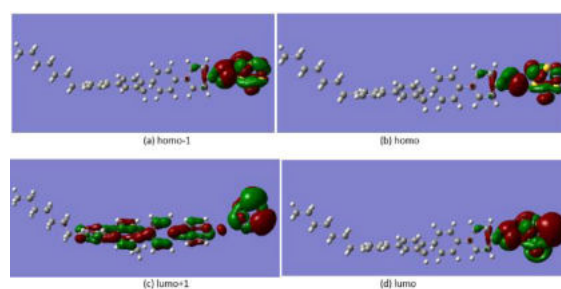


Рис. 4. Распределение электронной плотности в молекуле, где функциональная молекула присоединена к сере

На рисунке 5а показаны спектры поглощения теоретической молекулы (штрихованная линия), где функциональная молекула присоединена к атому молибдена из кольца и спектр экспериментальной молекулы (сплошная линия) нанопластин дисульфида молибдена функционализированного органической молекулой. Спектры похожи по форме, однако теоретический спектр смещен в более длинноволновую область.

На рисунке 5б показаны спектры поглощения теоретической молекулы (штрихованная линия), где функциональная молекула присоединена к атому серы из кольца и спектр экспериментальной молекулы (сплошная линия) нанопластин дисульфида молибдена функционализированного органической молекулой. Максимумы поглощения теоретического спектра и экспериментального спектра совпадают.

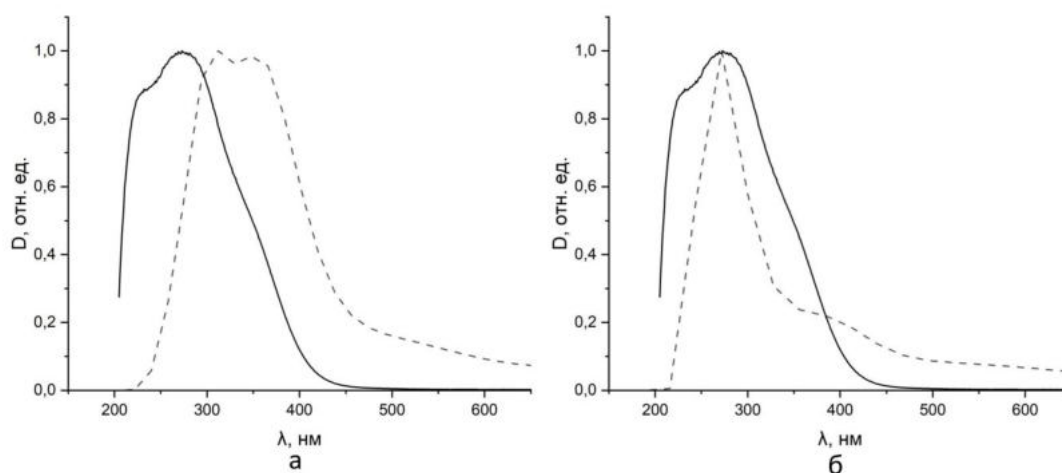


Рис. 5. Спектры поглощения экспериментальной молекулы нанопластин дисульфида молибдена функционализированного органической молекулой (сплошной линией) и (а) теоретической молекулы (штрихованная линия), где функциональная молекула присоединена к атому молибдена из кольца, (б) теоретической молекулы (штрихованная линия), где функциональная молекула присоединена к атому серы из кольца

В заключение следует отметить, что при переходе молекулы на более высокие энергетические уровни, электронная плотность смещается в сторону функциональной молекулы как для случая, где функциональная молекула соединена с атомом молибдена, так и для случая, где функциональная молекула присоединена к атому серы. Основной заряд в данных молекулах в основном концентрируется в области кольца. Также показано, что теоретические спектры поглощения совпадают с экспериментальными спектрами поглощения с хорошей точностью, что доказывает правильность выбранной модели.

Библиографические ссылки

1. *R.G. Dickinson, L. Pauling*, The crystal structure of molybdenite, *J. Am. Chem. Soc.* 45 (1923) 1466–1471.
2. *M.V. Bollinger, K.W. Jacobsen, J.K. Nørskov*, Atomic and electronic structure of MoS₂ nanoparticles, *Phys. Rev. B* 67 (2003) 085410–085417.
3. *Q. Peng, S. De*, Outstanding mechanical properties of monolayer MoS₂ and its application in elastic energy storage, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 15 (2013) 9427–9437.
4. *D. Gao [et al.]* Ferromagnetism in freestanding MoS₂ nanosheets, *Nanoscale Res. Lett.* 8 (2013) 129–1128
5. *Chhowalla, M.* et al. The chemistry of two-dimensional layered transition metal-dichalcogenide nanosheets. *Nat. Chem.* 5, 263–275 (2013)
6. *Бутырская Е. В.* – Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и GaussView – Москва СОЛОН-ПРЕСС, 2011.
7. *Tomberg A.* – Gaussian 09W Tutorial – 2010.

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ ТРОМБОЦИТОВ НА ИХ АГРЕГАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ

А. А. Грудский

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, alexandergruds@gmail.com
Научный руководитель — Е. В. Шамова, кандидат биологических наук*

В данной работе рассмотрено влияние состава внеклеточной среды и регуляторов ионной активности на агрегационную активность тромбоцитов. Показано, что деполяризация плазматической мембраны тромбоцитов в растворах с преобладающим содержанием K^+ приводила к потенцированию АДФ-индуцированной агрегации, тогда как блокировка калиевой проводимости не вызывала достоверных изменений. Активация или ингибирование механочувствительного канала Piezo 1 не влияла на агрегационную активность тромбоцитов, тогда как ингибирование канала $K_{Ca} 1.1$ приводило к ее потенцированию. При ингибировании каналов группы $K_v 1$ наблюдалась тенденция к снижению АДФ-индуцированной агрегации. Данные результаты могут помочь в разработке подходов к корректровке патологий тромбоцитарного звена гемостаза.

Ключевые слова: тромбоциты; клеточная регуляция; АДФ-индуцированная агрегация; ионные каналы.

Тромбоциты представляют собой безъядерные клетки крови, обеспечивающие образование первичной пробки в области повреждения сосуда. Их ключевая роль в организме состоит в процессе свёртывания крови и образования тромбов. Агрегация представляет собой стадию "слипания" тромбоцитов за счёт взаимодействия белка плазмы фибриногена и рецептора тромбоцитов интегрина $\alpha IIb\beta 3$ [1]. Однако, агрегация тромбоцитов также может привести к патологическому образованию тромбов, наблюдающиеся при сердечно-сосудистых заболеваниях, таких как ишемическая болезнь сердца, острый коронарный синдром [2]. По современным данным, ионная проводимость мембраны тромбоцитов непосредственно связана с их агрегационной активностью. Воздействуя на ионные каналы тромбоцитов можно достигнуть регуляции их активности. Поэтому изучение влияния ионной проводимости на агрегацию тромбоцитов может помочь в понимании механизмов тромбообразования и разработке новых подходов к его регуляции. В связи с этим, цель данной работы заключается в исследовании влияния ионной проводимости плазматической мембраны и регуляторов ионных каналов на агрегационную активность тромбоцитов.

Агрегацию тромбоцитов исследовали с применением анализатора агрегации SOLAR2110 («СОЛАР», Беларусь). Тромбоциты выделяли методом

последовательного центрифугирования. При изучении влияния изменения ионного состава среды на процесс АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов использованы буферы Тироде с преобладающим содержанием ионов Na^+ , K^+ , KAsp , Cs , состав которых представлен в таблице.

Ионный состав буферов

Буфер Тироде-NaCl: NaCl 137 мМ; KCl 2,7 мМ; NaHCO_3 11,9 мМ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ 0,43 мМ; Нерес 5 мМ; БСА 3,5 г/л (0,35%); D-глюкоза 5,5 мМ.	Буфер Тироде-KCl: KCl 137 мМ; NaHCO_3 11,9 мМ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ 0,43 мМ; Нерес 5 мМ; БСА 3,5 г/л (0,35%); D-глюкоза 5,5 мМ.
Буфер Тироде-CsCl: KCl 2,7 мМ; CsCl 137 мМ; NaHCO_3 11,9 мМ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ 0,43 мМ; Нерес 5 мМ; БСА 3,5 г/л (0,35%); D-глюкоза 5,5 мМ.	Буфер Тироде-KAsp: KCl 2,7 мМ; KAsp 137 мМ; NaHCO_3 11,9 мМ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ 0,43 мМ; Нерес 5 мМ; БСА 3,5 г/л (0,35%); D-глюкоза 5,5 мМ.

В кювету агрегометра вносили 300 мкл буферного раствора. Далее, в кювету добавляли суспензию отмытых тромбоцитов до получения светопропускания 45–48% (концентрация клеток около 250000/мкл), после чего вносили фибриноген в концентрации 1 мг/мл. Для изучения влияния регуляторов ионных каналов на процесс АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов были выбраны: Yoda 1 (активатор механочувствительного канала Piezo 1), 4AP (ингибитор канала K_v), Penitrem A (ингибитор канала $\text{K}_{\text{Ca}1.1}$ канала), GsMTx4 (ингибитор механочувствительного канала Piezo 1).

На рисунке 1а показаны типичные кинетические кривые АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов при разных составах внеклеточной среды. Степень АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов с преобладающим содержанием ионов K^+ и KAsp была выше чем у контроля (буфер с преобладающим содержанием NaCl). В тоже время АДФ-индуцированная агрегация тромбоцитов с преобладающим содержанием ионов Cs была ниже, чем контроль.

На рис. 1б представлены результаты статистического анализа АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов во внеклеточном растворе с различным ионным составом. Полученные в результате выполнения работы данные свидетельствуют о влиянии внеклеточной среды на АДФ-индуцированную агрегацию тромбоцитов. Так, увеличение содержание ионов K^+ и KAsp во внеклеточной среде приводило к потенцированию АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов, что ассоциировано с деполяризацией их плазматической мембраны и активацией K_v каналов [3].

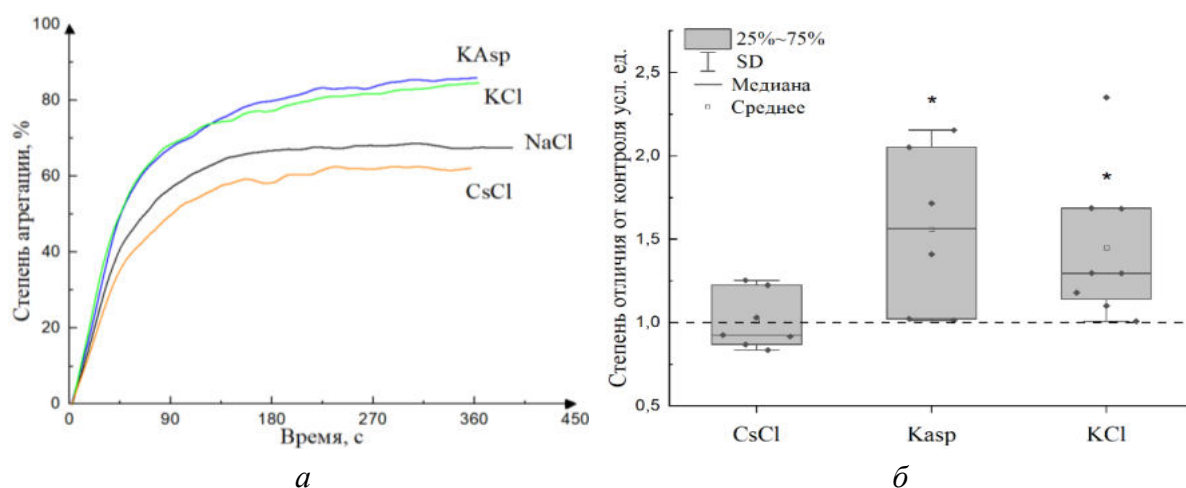


Рис. 1. АДФ-индуцированная агрегация тромбоцитов в буферных растворах с различным ионным составом: *а* – Типичные кинетические кривые АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов; *б* – Результаты статистического анализа АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов. $P < 0.05$ относительно контроля ($n = 5-8$, критерий Манна-Уитни)

На рис. 2а представлены типичные кинетические кривые агрегации тромбоцитов, индуцированной АДФ, при добавлении различных регуляторов ионных каналов. Как видно из кинетических кривых, степень АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов при наличии ингибитора канала $K_{Ca} 1.1$ (Penitrem A) была выше относительно контроля. Степень АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов при наличии ингибитора канала K_v (4AP) была ниже относительно контроля (буфер с превалирующим содержанием NaCl). В тоже время, степень АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов при наличии регуляторов механочувствительных каналов Piezo 1 (Yoda1 и GsMTX4) не изменялась.

На рис. 2б представлены результаты статистического анализа данных по АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов в присутствии регуляторов ионных каналов. Полученные в результате выполнения работы данные свидетельствуют, о том что добавление ингибитора канала $K_{Ca} 1.1$ (Penitrem A) приводило к достоверному потенцированию агрегации, индуцированной АДФ, что, возможно, связано с формированием прокоагулянтной популяции тромбоцитов [4]. Так же при использовании ингибитора канала K_v (4AP) наблюдалась тенденция к снижению АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов, что согласуется с данными по агрегации тромбоцитов в буферных растворах с превалирующим содержанием ионов K^+ и KAsp [3].

В результате исследования было установлено, что агрегация тромбоцитов, индуцированная АДФ, зависит от ионного состава внеклеточной среды.

При исследовании агрегации тромбоцитов во внеклеточных растворах с преобладающим содержанием ионов K^+ , наблюдалось потенцирование АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов, что ассоциировано с деполяризацией их плазматической мембраны и активацией K_v каналов [3].

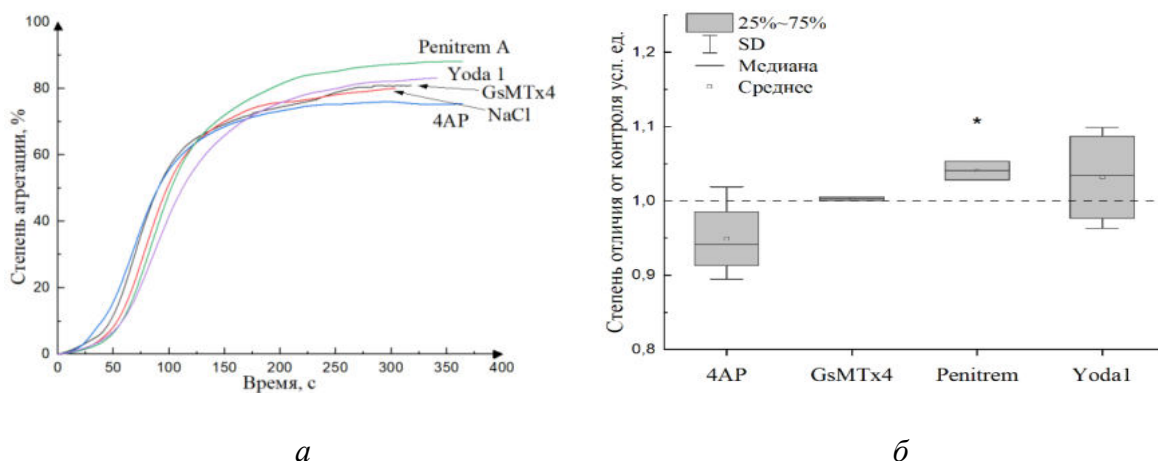


Рис. 2. АДФ-индуцированная агрегация тромбоцитов в присутствии регуляторов ионных каналов: *а* – Типичные кинетические кривые АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов; *б* – Результаты статистического анализа АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов. $P < 0.05$ относительно контроля ($n = 3-6$, критерий Манна-Уитни)

Присутствие регуляторов механочувствительного канала Piezo 1 (Yoda 1, GsMTx4) не влияло на АДФ индуцированную агрегацию тромбоцитов. В присутствии ингибитора канала $K_{Ca1.1}$ (Penitrem A) наблюдалось достоверное потенцирование АДФ-индуцированной агрегации, что, возможно, связано с увеличением содержания ионов Ca^{2+} во внутриклеточной среде при работе данных каналов, что в свою очередь приводит к формированию прокоагулянтной популяции тромбоцитов [4]. При использовании ингибитора канала K_v (4AP) наблюдалась тенденция к снижению АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов.

Полученные результаты, а также более глубокое изучение влияния ионной проводимости плазматической мембраны тромбоцитов на их агрегационную активность может помочь в разработке новых методов диагностики патологий сердечно сосудистых заболеваний и новых методов их коррекции [2].

Библиографические ссылки

1. Rumbaut R.E., Thiagarajan P. Platelet-vessel wall interactions in hemostasis and thrombosis: Morgan & Claypool Life Sciences, 2010.

2. *Мирзаев К. Б., Андреев Д. А., Сычев Д. А.* Оценка агрегации тромбоцитов в клинической практике // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2015. Т. 11, №. 1. С. 85-91.
3. Patch-clamp technique for studying ion channels in activated platelets / A. Kokhan [et al.] // SBPR. 2021. Vol. 1, № 1. P. 3–11.
4. *Обыденный С.И.* Динамика и механизмы образования прокоагулянтной субпопуляции тромбоцитов: дис. канд. биол. наук. 03.01.02 – М, 2020. – 105 с.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF GRAPHITIZATION THRESHOLDS OF A SINGLE CRYSTAL OF HPHT DIAMOND UNDER THE INFLUENCE OF LASER RADIATION

Y. Eryomenko

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, egor.eremenko.03@mail.ru
Supervisor — G. Gusakov*

We determined thresholds for single and multi-pulse graphitization of HPHT single crystal diamond, finding that graphitization has defect-based character. Nitrogen impurities impact samples without external surfaces, while metal impurities, particularly nickel, affect those with external surfaces. Raman spectra analysis shows that nanocrystalline graphite content increases with higher irradiation energy, while lower interaction energy favor carbene, polyene structures and disordered diamond.

Keywords: Synthetic HPHT Diamond; IR/Vis Diamond Absorption Spectra; Defect-Based Graphitization; Graphitization Thresholds; Graphitized Diamond Raman.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ ГРАФИТИЗАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛА НРНТ-АЛМАЗА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е. А. Ерёменко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, Минск, Беларусь, egor.eremenko.03@mail.ru
Научный руководитель — Г. А. Гусаков*

Определены пороги одно- и многоимпульсной графитизации монокристалла НРНТ алмаза. Примеси азота влияют на образцы без внешних поверхностей, примеси металлов - на образцы с внешними поверхностями. Анализ спектров КРС показывает, что содержание нанокристаллического графита увеличивается с увеличением энергии облучения, а при взаимодействии с меньшими энергиями образуется большое количество карбина, полиеновых структур и разупорядоченного алмаза.

Ключевые слова: синтетический НРНТ-алмаз; ИК-спектры поглощения алмаза; графитизация на дефектах, пороги графитизации; КРС графитизированного алмаза.

Introduction. Laser radiation is highly effective for material modification, enabling micro-profiling of diamond surfaces, creating diamond diffraction optical elements (like Fresnel lenses and beam focusers[1]), forming graphite tracks, and increasing crystal defect concentration. Few studies have focused on the graphitization thresholds of diamond under laser radiation, mostly involving

natural diamonds and CVD-grown synthetic films[2, 3]. This study aims to examine the graphitization of synthetic diamond single crystals grown by the HPHT method under pulsed laser radiation.

1. Research material. We used synthetic HPHT type Ib diamond plates with (111) and (100) orientations, grown in the Ni-Fe-C system. The plates measure approximately 2x3 mm and are 0.36 to 1.23 mm thick. Before use, the samples were treated in $K_2Cr_2O_7$ at 80°C for 5 hours, then washed with deionized water in an ultrasonic bath.

2. Research methods. To characterize the samples, we recorded IR and visible absorption spectra. IR absorption spectra in the 800-1400 cm^{-1} region includes several overlapping bands linked to various nitrogen crystal defects (fig. 1a). The diamond plates were processed using Nd³:YAG laser radiation at wavelengths of 1064 and 532 nm, with a pulse duration of ~20 ns. The average energy density E_s was varied by laser energy and beam focusing. After the irradiation Raman spectra of the diamond surface were taken.

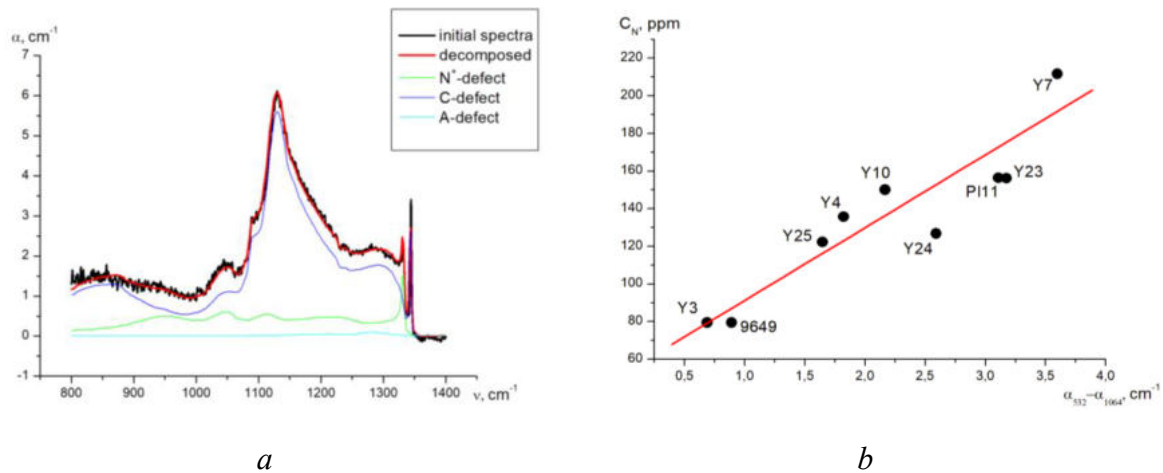


Fig. 1. Example of decomposition of the IR spectrum of the Y10 sample(a) and difference in absorption coefficients at 532 and 1064 nm on the nitrogen defects concentration(b)

3. Results and their discussion. The absorption coefficient dependence (fig.1b) could not be directly determined due to imperfect plane parallelism of the samples and the effect of metal impurities on absorption.

According to source [2], which studies CVD type IIa diamonds, the primary graphitization process is multiphoton absorption at the diamond lattice. In our case (fig. 2), graphitization occurs locally, this suggests that graphitization primarily appear in structural defects and/or their segregation areas, with nitrogen and metal impurities playing a significant role in the process. All samples could be divided into 2 groups, with and without external surfaces. These surfaces, formed during the cooling of the reaction zone under highly

nonequilibrium conditions, contain more impurities (mainly metal-solvents) than the crystal's interior.

Table 1

Results of research on graphitization of synthetic diamond

Sample	Y7	PI20	Y25	Y26	9649	Y24	PI11	Y10	Y23	PI13
$E_s, \text{ J/cm}^2$	7,6	9,3	8,0	8,0	6,4	6,8	14,1	2,6	2,6	2,0
Orientation	111	100	100	111	111	111	100	111	111	100
$\lambda, \text{ nm}$	1064	1064	532	532	532	532	532	1064	1064	532
Pulses	1							32	20	1300
$C_N, \text{ ppm}$	156,1	-	122,2	-	79,4	126,7	156,3	150	211,6	280,9

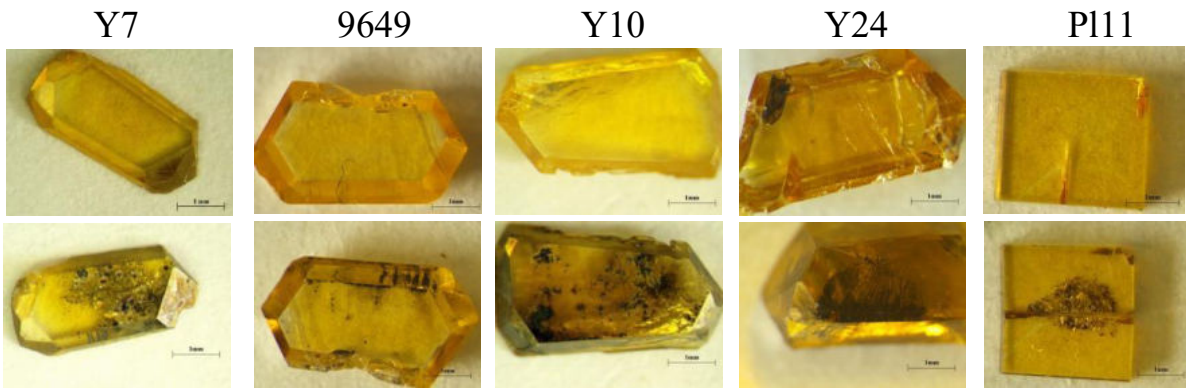


Fig 2. Photos of samples before graphitization (top) and after (bottom)

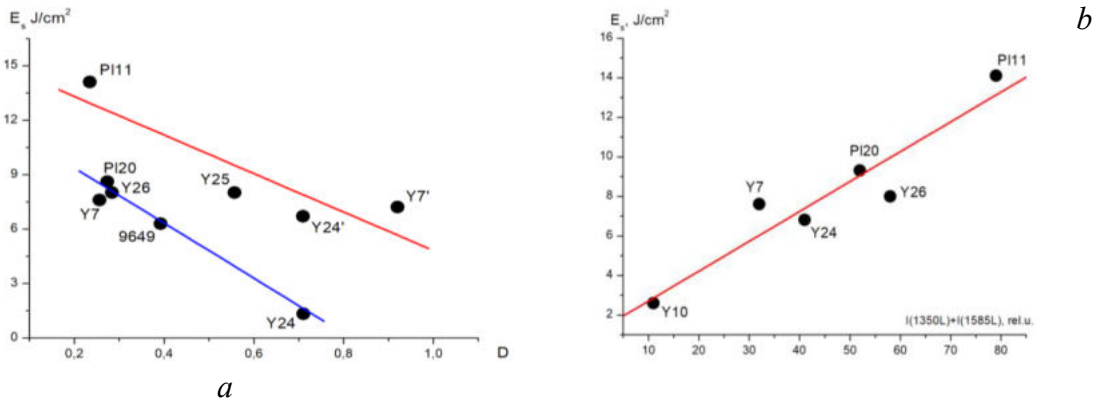


Fig.3 E_s on the optical density for samples with(blue line) and without (red line) external surfaces (a), E_s on the total content of nanocrystalline graphite (b)

Figure 3a reveal a clear distinction between samples with and without external surface. Given that absorption is almost entirely due to impurities, the multiphoton absorption model described in [2] is invalid, as indicated by the weak dependence of graphitization thresholds on the radiation wavelength.

Table 2

Raman spectra decomposition results

Position	Carbon type	Line intensity, rel. units					
		Y24	Y10	Y26	Y7	Pl11	Pl20
430 cm ⁻¹	Disordered diamond	20	40	0	3	2	10
710 cm ⁻¹		8	10	2	5	2	3
1180 cm ⁻¹	Disordered graphite	70	60	50	88	55	60
1350L cm ⁻¹	Nanocrystalline graphite	20	8	18	22	42	5
1350 cm ⁻¹	Amorphous carbon	130	130	80	109	95	170
1420 cm ⁻¹	Polyenes	5	10	2	9	0	0
1530 cm ⁻¹	Amorphous carbon	180	185	120	200	118	123
1585L cm ⁻¹	Nanocrystalline graphite	21	3	40	10	37	47
2085 cm ⁻¹	Carbine	15	24	1	3	2	0

Note. L - approximation by the Lorentz function, otherwise - by the Gaussian function

The Raman spectra analysis (table 2) revealed a diverse surface composition post-irradiation, comprising nanocrystalline graphite, amorphous carbon, disordered diamond, graphite, polyene structures and carbine. Nanocrystalline graphite content increases with increasing the irradiation energy (fig. 3b), while lower irradiation energy ($E_s < 7\text{J/cm}^2$) favor carbine, polyene and disordered diamond.

Conclusion. Analysis of the IR and visible absorption spectra showed that the absorption coefficient depends on the impurity composition of the samples (fig. 1b). The thresholds for single-pulse and multi-pulse graphitization of synthetic HPHT diamond single crystals were experimentally estimated (table 1). Graphitization occurs locally, with nitrogen impurities playing a significant role in samples without external surfaces, and metal impurities in samples with external surfaces (fig. 3a). The Raman spectra analysis shows that nanocrystalline graphite increases with higher irradiation energy (fig. 3b), while lower interaction energy ($E_s < 7\text{J/cm}^2$) favor carbine, polyenes and disordered diamond.

References

1. Mildren, R. P. Optical Engineering of Diamond / R. P. Mildren, J. R. Rabeau. — Germany: Wiley-VCH, Wiley, 2013.
2. Aharonovich, I. Diamond photonics / I. Aharonovich, A. D. Greentree, S. Prawer // Nat Photon. 2011. Vol. 5, No. 7. P.397 - 405.
3. Ablation of CVD diamond with nanosecond laser pulses of UV–IR range / T. V. Kononenko et al. // Diamond and Related Materials. –1998. T. 7, № 11/12. P. 1623-1627
4. Zaitsev A.M. Optical Properties of Diamond: A Data Handbook – Berlin: Springer, 2001. 502 p.

РАСПОЗНАВАНИЕ РАКА КОЖИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д. А. Павлов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fiz.pavlovda@bsu.by
Научный руководитель — И. А. Карпович, кандидат
физико-математических наук, доцент кафедры полупроводников и наноэлектроники*

Рак кожи - одно из самых часто встречаемых дерматологических заболеваний свойственных человеку. За несколько последних десятилетий. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно диагностируется около 2 миллионов новых случаев заболевания, причем количество зарегистрированных заболеваний за последние несколько десятилетий имеет свойство лишь увеличиваться.

Ключевые слова: рак кожи; меланома; машинное обучение; глубокое обучение; нейронные сети; графическая классификация.

ВВЕДЕНИЕ

Рак кожи - одно из наиболее распространенных дерматологических заболеваний. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), частота возникновения данного заболевания растет на протяжении нескольких последних десятилетий. Самым опасным видом данного заболевания считается меланома. Именно эта разновидность болезни чаще всего приводит к летальному исходу. Данное явление можно обосновать тем, что визуально меланома практически не отличима от доброкачественных заболеваний, что делает визуальную диагностику заболевания долгим и неточным процессом, что, в свою очередь, приводит к распознаванию заболевания на поздних этапах, когда летальный исход уже куда более вероятен.

При обнаружении злокачественных образований на ранних этапах, хирургическое вмешательство может гарантировать практически нулевую смертность. Именно поэтому важнейшим этапом борьбы с меланомой считается ее ранняя диагностика. Однако даже опытные дерматологи не всегда могут отличить доброкачественные образования от тех, что ими не являются.

В свою очередь, алгоритмы машинного обучения показали, что они справляются с задачей графической классификации весьма успешно, делает возможным создание на их основе инструмента-помощника в области диагностики.

ХОД РАБОТЫ

Стоит сказать, что идея классификации дерматологических заболеваний методами глубокого обучения не нова. Основным инструментом, используемым в подобных задачах являются сверточные нейронные сети, которые, чередуя сверточные и pooling-овые слои, позволяют добиться высокого уровня точности классификации. В свою очередь, основной проблемой, не дающей широко внедрить методы глубокого обучения в процесс диагностики, является отсутствие достаточного количества публичных данных, на которых может быть обучена нейронная сеть.

Однако, несмотря на вышеизложенную проблему, публичные данные, необходимые для решения поставленной задачи, были найдены в открытых источниках.

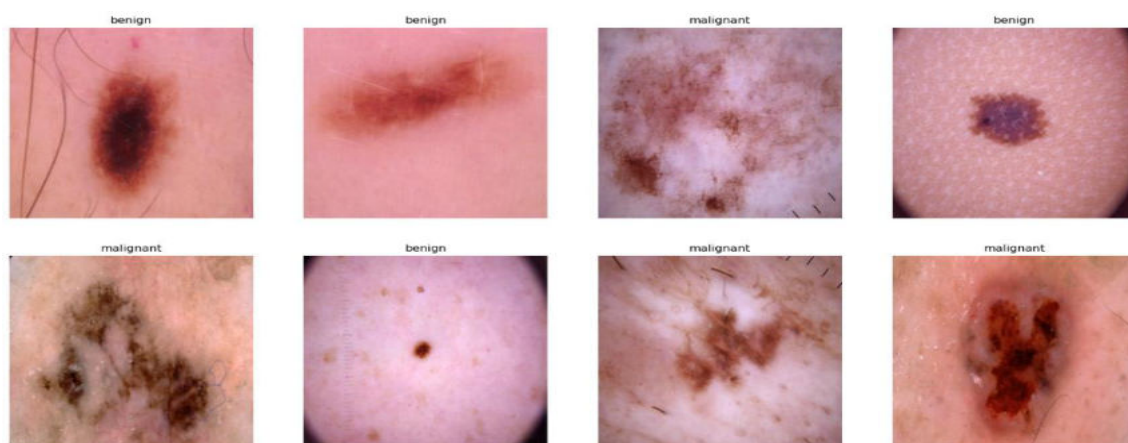


Рис. 1. Примеры изображений здоровых (benign) и больных (malignant) образований

В ходе обучения нейронных сетей, было выявлено, что обучение на полученной выборке не дает нужных результатов, после чего было принято решение, под действием трансформации данных (поворот изображений на случайный угол и затемнение некоторых из них), увеличить уже существующую выборку.

После увеличения количества данных и обучения на них нейронных сетей, было принято решение, ради более высоких значений точности распознавания, строить нейронные сети на основе уже существующих архитектур, которые показали себя достаточно хорошо в задачах графической классификации. Такими архитектурами стали: VGG16, ResNet50 и EfficientNetB0. На основе этих архитектур, были созданы нейронные сети DiNet1 (VGG16), DiNet2 (ResNet50) и DiNet3 (EfficientNetB0). Основной метрикой, для оценки работы нейронной сети было выбрано Accuracy.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN},$$

где TP - количество значений, которые модель определила к классу 1 (в нашем случае, 1 - болезнь есть) и они действительно принадлежат этому классу; FN - количество значений, которые модель определила к классу 0 (в нашем случае, 0 - болезнь отсутствует), но в действительности эти случаи оказались в классе 1; FP - количество значений, которые модель определила к классу 1, но в действительности они принадлежат классу 0; TN - количество значений, которые модель определила к классу 0 и они в действительности принадлежат классу 0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, для созданных сетей были получены следующие значения метрик:

	precision	recall	f1-score
benign	0.89	0.96	0.92
malignant	0.95	0.86	0.90
accuracy			0.91
macro avg	0.92	0.91	0.91
weighted avg	0.92	0.91	0.91

Рис. 2. Метрики Precision, Recall, F1 Score и Accuracy для DiNet3

ВЫВОД

В ходе работы была создана 3х-сверточная нейронная сеть на основе различных архитектур. Наилучшим образом себя показала сеть DiNet3, созданная на основе архитектуры EfficientNetB0. Разработанная модель позволяет давать предсказания с точностью около 91% о присутствии или отсутствии рака кожи на изображении.

Дальнейшее развитие проекта автор видит либо в создании Web-приложения, либо же в разработке Desktop-приложения непосредственно для врачей, работающих с дерматологическими заболеваниями.

Библиографические ссылки

1. “Machine Learning”, авторы: J. P. Mueller, L. Massaron (2021 г.).
2. “Artificial Intelligent and Computer Vision”, авторы: M. Kasam, S. Ganju (2022 г.).
3. “Machine Learning, Neural and Statistical Classification”, авторы: D. Michie, D.J. Spiegelhalter, C.C. Taylor (2016 г.).
4. “Математические основы машинного обучения и прогнозирования”, автор: В. Вьюгин (2017 г.).
5. “Машинное обучение без лишних слов”, автор: А.Бурков (2018 г.).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ ТВЕРДОТЕЛЬ- НОГО ЛАЗЕРА С ПАССИВНЫМ ЗАТВОРОМ ПРИ РАБОТЕ В ШИ- РОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

В. Ю. Помахо¹⁾, А. В. Григорьев²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fiz.pomaho@bsu.by

²⁾Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости, 68-2,
220072, г. Минск, Беларусь, a.hryhoryeu@ifanbel.bas-net.by

Научный руководитель — А. В. Григорьев, кандидат физико-математических наук,
доцент

В данной работе предложен метод и устройство управления питанием твердотельного лазера с диодной накачкой для изменения частоты следования импульсов. Описывается программно-аппаратный комплекс, который обеспечивает поддержание стабильного теплового режима твердотельного лазера с диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности для работы в широком диапазоне частот следования импульсов.

Ключевые слова: твердотельный лазер; пассивная модуляция; диодная накачка; управление питанием; тепловой режим.

Лазеры с пассивной модуляцией добротности и диодной накачкой широко используются в системах дальнометрии, подсветки и других областях [1-6]. В последнее время одним из ключевых требований к таким излучателям является способность работать на различных частотах без существенного изменения параметров выходного пучка [3], что особенно необходимо для таких задач, как точное измерение расстояний, работа в системах подсветки и специальных применениях. Однако процесс создания таких лазеров вследствие высокой чувствительности моды излучения к изменениям теплового режима имеет ряд технических сложностей [7].

Для обеспечения долговременной бесперебойной работы лазерной системы и генерации импульсов излучения со специфицируемыми характеристиками в широком диапазоне частот для поддержания постоянного теплового режима работы компонентов лазера предложен подход, обеспечивающий подачу, в промежутках между пороговыми импульсами тока накачки, дополнительных «прогревочных» импульсов накачки.

В рамках реализации данного подхода амплитуда «прогревочных» импульсов устанавливается равной амплитуде пороговых импульсов накачки для номинальной частоты рассматриваемой лазерной системы. Следующим шагом является определение требуемой длительности и количества

«прогревочных» токовых импульсов накачки, с учетом того, что длительность промежуточных «прогревочных» импульсов τ_{np} (без учета длительности фронтов) не должна превышать длительность импульсов $\tau_{пред}$, требуемых для предварительного прогрева лазерной системы перед работой. В случае превышения данной величины «прогревочный» импульс разделяется на несколько более коротких импульсов.

Для начала определяется требуемая эффективная длительность прогрева τ^* в соответствии с выражением (1):

$$\tau^* = \frac{(\tau_n + k\tau_\phi) \cdot (F_n - F_p)}{F_p} \quad (1)$$

где k – поправочный коэффициент учета вклада фронтов, рассчитывается для каждого образца лазера индивидуально; τ_n – длительность прямоугольной части импульса накачки при работе на номинальной частоте; τ_ϕ – общая длительность переднего и заднего фронтов импульса накачки F_n – номинальная частота, F_p – рабочая ненормальная частота.

Используя (1), определим требуемое количество «прогревочных» импульсов N , округляя полученное значение в большую сторону, что обозначено функцией $\lceil \rceil$:

$$N = \left\lceil \frac{\tau^*}{\tau_{пред} + k\tau_\phi} \right\rceil \quad (2)$$

Длительность «прогревочных» импульсов τ_{np} (без учета длительности фронтов) определяется с учетом (2) по формуле:

$$\tau_{np} = \frac{\tau^*}{N} - k\tau_\phi \quad (3)$$

Общая длительность «прогревочных» импульсов τ_{np}^* (с учетом длительности фронтов), которые необходимо подавать на лазерные диодные модули между пороговыми импульсами накачки, приводящими к генерации лазерного излучения, определяется как $\tau_{np}^* = \tau_{np} + \tau_\phi$.

Период T_{np} , с которым на лазерные диодные матрицы должны подаваться «прогревочные» импульсы между основными импульсами накачки, определяется выражением:

$$T_{np} = \frac{1}{F_p(N+1)} \quad (4)$$

Схема установки, на которой производилось тестирование работы программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 1. В схеме был использован цифровой осциллограф Tektronix DPO 3052 с шириной полосы 500 МГц. Для регистрации токовых импульсов от блока питания лазера использовался токовый пробник TCP303 с усилителем ТСРА300 (Tektronix), позволяющий регистрировать токовые импульсы с амплитудой до 150 А. В качестве тестового блока для лазера использовался импульсный источник питания для лазерных диодных матриц (SF305M, FEDAL, РФ), с подключенной резистивной нагрузкой, имитирующей лазерную диодную матрицу типа СЛМ-3-2Н (“Инжект”, РФ)

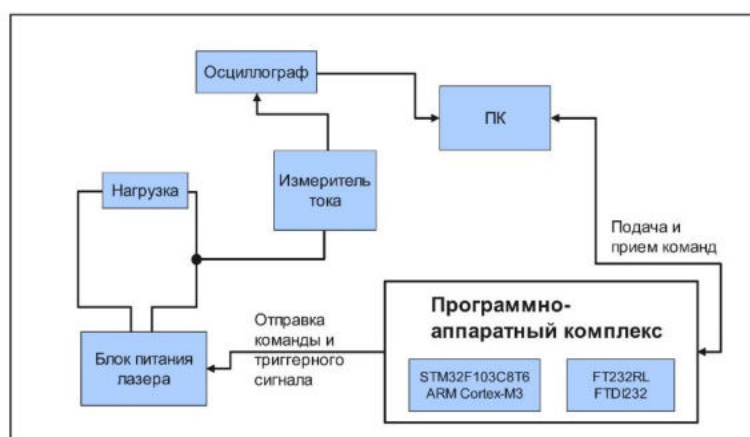


Рис. 1. Схематический вид установки

На тестовой установке были отработаны режимы работы программно-аппаратного комплекса на частотах 10, 5, 1, 0.1 Гц. Зарегистрированные осциллограммы для этих режимов представлены на рис. 2.

При установленной частоте работы лазера 10 Гц (рис. 2А) алгоритм между основными импульсами накачки реализует два прогревочных импульса с частотой следования 30 Гц и длительностью 125 мкс.

На рис. 2В изображены осциллограммы для режима генерации лазерных импульсов с частотой 5 Гц. В этом случае количество промежуточных прогревочных импульсов равно четырем, частота следования – 25 Гц, длительность – 188 мкс.

При рабочей частоте 1 Гц (рис. 2С) количество прогревочных импульсов – 24, частота следования – 25 Гц, длительность импульсов – 198 мкс.

На рис. 2D показан результат работы алгоритма при установленной рабочей частоте лазера 0.1 Гц. В этом случае промежуточные прогревочные импульсы следуют с частотой – 25 Гц, их количество составляет 249, а длительность – 200 мкс.

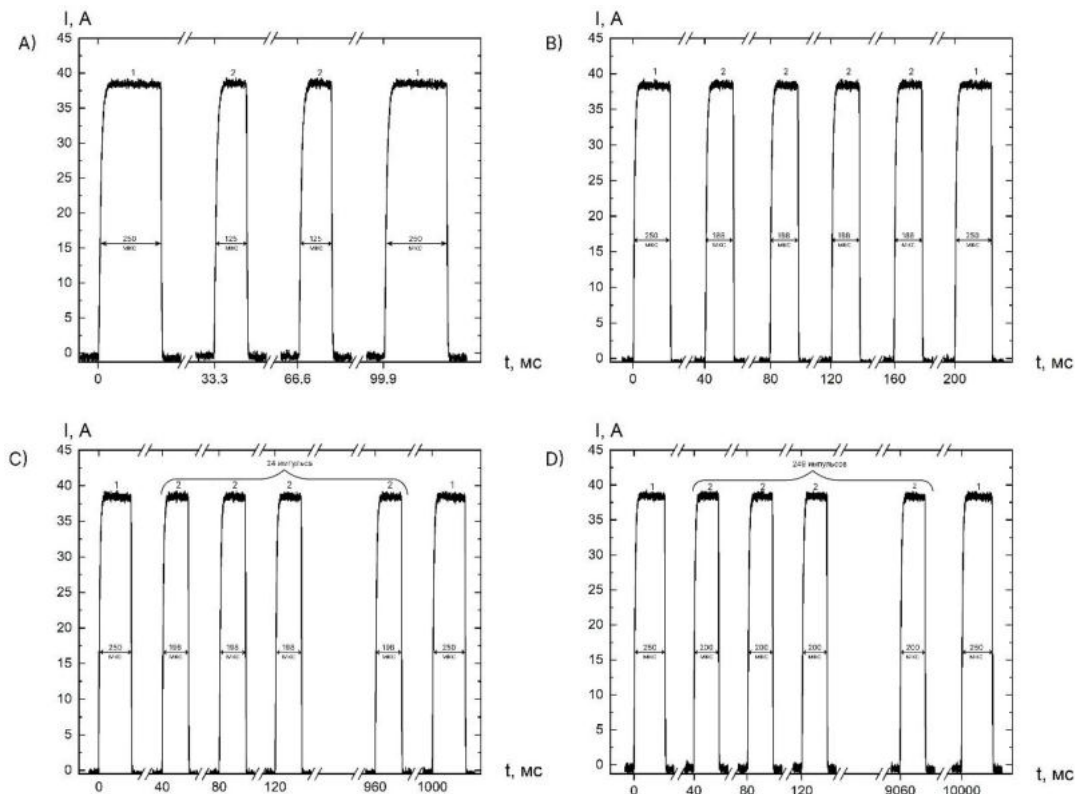


Рис. 2. Вид временных диаграмм для А) 10 Гц, В) 5 Гц, С) 1 Гц, D) 0.1 Гц:
1 – импульсы накачки, 2 – прогревочные импульсы

Таким образом, в результате проведенного тестирования комплекса на имитационной нагрузке можно заключить, что разработанный программно-аппаратный комплекс работает в соответствии с теоретической концепцией и может быть использован в реальных лазерных системах.

Библиографические ссылки

1. Optimized diode-pumped passive Q switched ytterbium-erbium glass laser. / G.I. Ryabtsev [et al.] Applied Physics B, 2012, V. 108, No. 2, P. 283-288.
2. Эффективность поперечной накачки лазерными диодными линейками эрбиевого лазера с пассивной модуляцией добротности / Г.И.Рябцев [и др.] / Оптический журнал, 2015, Т. 82, № 9, С. 1 – 8.
3. М.В. Богданович [и др.] Характеристики Nd:YAG лазера с поперечной диодной накачкой и Cr:YAG пассивным затвором в широком температурном диапазоне / G.I. Ryabtsev [et al.] / Журнал прикладной спектроскопии. 2023. Т. 90, № 2. С 143–148.
4. Портативные твердотельные лазеры с диодной накачкой / М.В. Богданович [и др.] / Фотоника. 2016. Т. 55, № 1. С. 58 – 63.

5. Milanović V. et al. Compact MEMS mirror based Q-switch module for pulse-on-demand laser range finders //MOEMS and Miniaturized Systems XIV. SPIE, 2015. Т. 9375. С. 106-112.

6. Mercer C. Development of a Diode Laser Pumped Passively Q-Switched Laser Source for Range-Finding and Designating. – The University of Manchester (United Kingdom), 2009.

7Термооптические характеристики диодно–накачиваемых Nd:YAG лазеров с керамическими и кристаллическими активными элементами /. Г.И. Рябцев [и др.] / Оптический журнал. 2020. Т.87, № 2. С. 50 – 55

ВЛИЯНИЕ 4f-ЭЛЕКТРОНОВ НА СТРУКТУРНЫЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТНОГО ОРТОАЛЮМИНАТА НЕОДИМА

А. С. Сиротюк

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fiz.sirotyuk@bsu.by*

Научный руководитель — А. В. Баглов, старший научный сотрудник, старший преподаватель

В рамках теории функционала плотности рассчитаны и проанализированы электронные, магнитные и структурные свойства ортоалюмината неодима NdAlO_3 . Показано, что приближение открытого корректно описывает электронные и структурные свойства, однако корректное описание магнитных свойств требует учета 4f-электронов.

Ключевые слова: тройные оксиды; перовскиты; ортоалюминаты; неодим; теория функционала плотности, псевдопотенциальное приближение.

Среди тройных оксидов состава ABO_3 в науке и технике находят широкое применение ортотитанаты щелочноземельных металлов и ортоалюминаты элементов подгруппы скандия [1]. Их обычно называют перовскитными, или материалами со структурой перовскита, поскольку их структура является производной от кристаллической структуры классических перовскитов. Легирование обоих упомянутых классов соединений лантаноидами широко используются для создания эффективных люминофоров [2], особый интерес среди которых представляют ортоалюминаты лантаноидов, в том числе, благодаря наличию магнитных свойств у легирующих ионов. Свойства перовскитного ортоалюмината неодима NdAlO_3 , который можно рассматривать как предельный случай легирования YAlO_3 неодимом, в литературе описан недостаточно: в большей степени исследованы структурные, оптические свойства данного соединения в ромбоэдрической сингонии $R\text{-}3c$ [3, 4]. Однако имеются данные, что при малых замещениях как позиции А, так и В, например, неодима в системе $(1-x)\text{NdAlO}_3\text{--}x\text{GdAlO}_3$ или никеля алюминием в $(\text{La}, \text{Nd})\text{NiO}_3$, соединение синтезируется в орторомбической сингонии [5, 6]. Также, учитывая, что большинство тройных оксидов лантаноидов формируется в пространственной группе симметрии $Pnma$ (№ 62) [8, 9], то предпочтительно проводить исследование электронной структуры и магнитных свойств NdAlO_3 именно с такой кристаллической решеткой.

Таким образом, целью данной работы является изучение электронных и структурных свойств ортоалюмината неодима симметрии $Pnma$, в зависимости от типа магнитного упорядочения ионов неодима, наряду с оценкой

влияния $4f$ -электронов, включаемых в анализ в рамках псевдопотенциального приближения открытого остова (ОО), на эти свойства [10].

Численное моделирование проводили в пакете *OpenMX*, реализующего теорию функционала плотности (*DFT* – от англ. *Density Functional Theory*) в сочетании с теорией псевдопотенциала [11, 12]. Расчет проводили в рамках обобщенного градиентного приближения (*GGA*). Также был использован обменно-корреляционный функционал *Perdew-Burke-Ernzerhof* (*PBE*).

Элементарную ячейку NdAlO_3 строили из экспериментальных данных для ячейки YAlO_3 [13], замещая ионы иттрия ионами неодима. Далее проводили структурную релаксацию элементарной ячейки с изменяемым объемом и позициями ионов.

Самосогласованный расчет останавливали, когда электронная энергия между двумя последовательными итерациями становилась менее 10^{-6} эВ/ион. Структурную релаксацию проводили до тех пор, пока силы, действующие на ионы и компоненты тензора напряжений, не становились менее 0,01 эВ/Å. Интегрирование в первой зоне Бриллюэна проводили по Γ -центрированной регулярной сетке k -точек размером $5 \times 5 \times 3$. Сетку для численного интегрирования выбирали размером $54 \times 76 \times 54$ точек.

Псевдопотенциалы включали в качестве валентных: $4f$ -, $5s$ -, $5p$ -, $6s$ -электроны для неодима; $3s$ -, $3p$ -электроны для алюминия; и $2s$ -, $2p$ -электроны для кислорода. При использовании приближения открытого остова для неодима псевдопотенциал включал в себя $5s$ -, $5p$ - и $6s$ -электроны.

С учетом симметрии, четыре иона неодима могут создать четыре магнитные конфигурации: ферромагнитную (*FM*) и три антиферромагнитных – *A*-типа (*A-AFM*), *C*-типа (*C-AFM*) и *G*-типа (*G-AFM*). Наинизшему уровню энергии соответствует ферромагнитное упорядочение. Три уровня (*FM*, *A-AFM*, *C-AFM*) находятся очень близко друг к другу, и лишь *G-AFM* отстоит от них более чем на 200 мэВ. Данный факт говорит о том, что ортоалюминат неодима в основном состоянии при комнатной температуре является парамагнетиком из-за отсутствия магнитного порядка, который разрушается действием температуры. При использовании открытого остова уровни качественная картина сохраняется, а энергетические зазоры уменьшаются примерно на порядок.

Анализ плотности электронных состояний (ПЭС) показал, что вместе с f -состояниями появляются состояния p -электронов кислорода, форма пиков при этом повторяется. Это свидетельствует о том, что в данной системе реализуется механизм косвенного суперобмена. В рамках приближения ОО не предоставляется возможным обнаружить этот эффект, т.к. f -состояния, за счет включения в остов, удаляются из области энергий вблизи уровня Ферми.

Исследование структурных свойств показало, что изменение магнитного упорядочения, практически не влияет на параметры ячейки (таблица). Также необходимо отметить, что с использованием приближения ОО параметры ячейки рассчитываются корректно.

При включении в остов $4f$ -электронов, получена достаточно малая намагниченность ионов неодима, которая сильно изменяется при смене конфигурации. Намагниченность ячейки практически отсутствует даже в ферромагнитной конфигурации ($\sim 0,7$ μ_B /яч.). В расчетах без приближения ОО намагниченность практически не изменяется, а ферромагнитная конфигурация корректно рассчитывается – 12 μ_B /яч. Таким образом, можно сказать, что приближение открытого остова не позволяет в полной мере исследовать магнитные свойства рассматриваемых материалов.

Структурные параметры ячейки в зависимости от магнитного упорядочения ионов неодима

Магнитная конфигурация	Параметры элементарной ячейки			$V, \text{\AA}^3$
	$a, \text{\AA}$	$b, \text{\AA}$	$c, \text{\AA}$	
FM	5,3266	7,5362	5,3472	214,6490
	5,3232	7,5400	5,3392	214,2991
A-AFM	5,3266	7,5362	5,3472	214,6490
	5,3241	7,5385	5,3389	214,2806
C-AFM	5,3265	7,5355	5,3465	214,5970
	5,3231	7,5406	5,3392	214,3121
G-AFM	5,3272	7,5337	5,3472	214,6020
	5,3219	7,5287	5,3415	214,0178

Примечание. Верхние значения соответствуют расчетам с использованием приближения ОО; a, b, c – параметры ячейки, V – объем ячейки.

Также были проанализирована дисперсия энергетических зон. Во всех упорядочениях дно зоны проводимости располагается в двух точках – Γ и Z (дважды вырожденные состояния), а потолок валентной зоны расположился в точке U . Таким образом материал является квазипрямозонным диэлектриком с шириной запрещенной зоны более 4,5 эВ, переходящим в непрямозонный при низких температурах. В целом, с учетом того, что в приближении GGA ширина запрещенной зоны недооценивается примерно на 30–40 % для оксидных материалов, можно утверждать, что данный материал в любом магнитном упорядочении является диэлектриком.

Таким образом приближение ОО позволяет корректно описывать структурные свойства, однако описание магнитных свойств требует учета также и $4f$ -электронов. Показано, что влияние $4f$ -состояний на структурные свойства незначительно, и может не учитываться в первом приближении для укрупненных структурных исследований. В рамках ОО достаточно корректно можно описать также энергетическую диаграмму материала в

различных упорядочениях. Следует отметить, что при этом значительно возрастает скорость процедуры самосогласования преимущественно за счет ускорения сходимости. Таким образом, приближение ОО может быть использовано для быстрой характеристики материалов, содержащих лантаноиды в своем составе, при этом для оценки магнитных свойств следует учитывать влияние $4f$ -электронов ионов лантаноидов.

Библиографические ссылки

1. Pena M.A., Fierro J.L.G. Chemical structures and performances of perovskite oxides // *Chem. Rev.* 2001. Vol. 101, Iss 7. P. 1981–2017.
2. Podhorodecki A. et al. Ion-ion interaction in two-dimensional nanoporous alumina filled with cubic $\text{YAlO}_3\text{:Tb}^{3+}$ matrix // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2013. Vol. 46. P. 355302-1–355302-12.
3. Harilal M. et al. Electrical and optical properties of NdAlO_3 synthesized by an optimized combustion process // *Materials Characterization*. – 2014. Vol. 90. P. 7-12.
4. Li H. et al. The effects of pressure on the lattice of the rare-earth-based perovskite-type oxides SmAlO_3 and NdAlO_3 // *New Journal of Physics*. 2022. Vol. 24, Iss. 11. P. 113008.
5. Vasylechko L. et al. Lattice crossover and phase transitions in $\text{NdAlO}_3\text{--GdAlO}_3$ system // *Journal of Solid State Chemistry*. 2013. Vol. 198. P. 101-107.
7. Martinez-Lope M. J., Casais M. T., Alonso J. A. Doping of the RNiO_3 perovskites in the Ni positions: neutron diffraction study of the structural evolution of the $\text{R}(\text{Ni}_{1-x}\text{Al}_x)\text{O}_3$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Nd}$) series // *European journal of solid state and inorganic chemistry*. 1995. Vol. 32, Iss. 6. P. 521-534.
8. Vasylechko L., Senyshyn A., Bismayer U. Perovskite-type aluminates and gallates // *Handbook on the physics and chemistry of rare earths*. 2009. Vol. 39. P. 113-295.
9. García-Muñoz J. L. et al. Neutron-diffraction study of RNiO_3 ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$): Electronically induced structural changes across the metal-insulator transition // *Physical review B*. 1992. Vol. 46, Iss. 8. P. 4414.
10. Сиротюк А.С., Баглов А.В., Хорошко Л.С., Электронная структура перовскитного ортоалюмината неодима в псевдопотенциальном приближении открытого остова // *Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния. Матер. 7-й междунар. науч.-прак. конф. / г. Минск (май 2023 г.). – Мн., 2023. – С. 363–365.*
11. Ozaki T. Variationally optimized atomic orbitals for large-scale electronic structures // *Phys. Rev. B*. 2003. V. 67. Iss. 15. P. 155108.
12. Ozaki T., Kino H. Numerical atomic basis orbitals from H to Kr // *Phys. Rev. B*. 2004. V. 69. Iss. 19. P. 195113-1–195113-19.
13. N. L. Ross, J. Zhao, R. J. Angel. High-pressure single-crystal X-ray study of YAlO_3 perovskite // *Journal of Solid State Chemistry*. 2004. Vol. 177. P. 1276–1284.

СТОЙКОСТЬ К ОКИСЛЕНИЮ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ

А. Л. Старцева¹⁾, П. В. Литошик²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, StartsevaAlexandra@mail.ru

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, StartsevaAlexandra@mail.ru
Научный руководитель — В. В. Углов,
доктор физико-математических наук, профессор

В настоящей работе исследована стойкость к окислению титан-алюминиевого сплава после отжига в течение одного часа при температурах 300, 500, 700 и 900 °С. Фазовый анализ проводился методом рентгеноструктурного анализа (РСА), изменения элементного состава регистрировались с помощью рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), измерения микротвердости проводились на микротвердомере (метод Виккерса, нагрузки $P = \{0,49, 0,98\}$ Н), исследовалась трибология сплава в режиме сухого трения (нагрузка $P = 0,49$ Н, скорость движения образца – 4 мм/с).

Ключевые слова: титано-алюминиевый сплав; отжиг; микротвердость; коэффициент трения; износостойкость; TC25.

Сплавы системы Ti–Al–V–Zr–Mo являются одними из широко используемых титановых сплавов благодаря своим оптимальным комплексным механическим свойствам [1]. Однако основным недостатком титана является высокая склонность к поглощению кислорода при температурах, превышающих 500 °С, что приводит к охрупчиванию поверхности. На сегодняшний день разработка способов модификации Ti–Al сплавов с рабочей температурой более 600 °С является актуальной задачей, поскольку позволяет расширить диапазон применения титановых сплавов. Поэтому для дальнейших разработок необходимо более полное понимание механизмов окисления титановых сплавов.

Данное исследование было проведено с целью изучить стойкость к окислению и механико-трибологические свойства (МТС) сплавов на основе титана и алюминия на примере сплава марки TC25 с составом Ti-83.4Al-12.6V-2.1Zr-1.2Mo-0.7 ат. % (таблица 1).

Преобладающим легирующим элементом в сплаве TC25 является Al, концентрация других легирующих элементов не превышает 2,1 ат. %.

Фазовый анализ исследуемого сплава представлен на рис. 1.

Элементный состав исследуемого образца до термообработки и после часовых отжигов при 300, 500, 700 и 900 °С

$T, ^\circ\text{C}$	Элементный состав, ат. %					
	Ti	Al	V	Zr	Mo	O
24	83,4	12,6	2,1	1,2	0,7	—
300	75,5	8,9	1,7	1,0	0,7	12,2
500	60,6	7,7	1,3	0,8	0,6	29,0
700	49,9	6,1	0,6	0,7	0,6	42,1
900	23,9	14,4	0,5	0,1	—	61,1

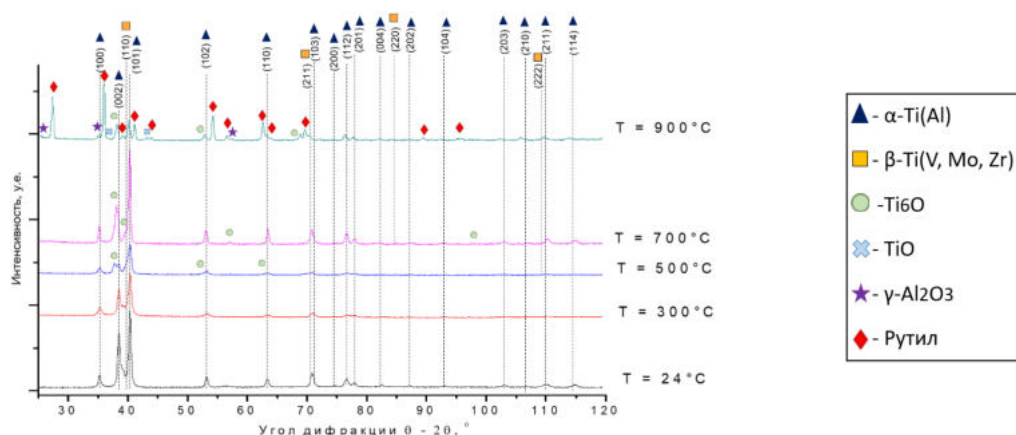


Рис. 1. Дифрактограмма сплава TC25 для $T = \{300, 500, 700, 900\} ^\circ\text{C}$

После отжигов при 500 и 700 °С в приповерхностных слоях содержание кислорода увеличилось до 42 ат. %, что привело к формированию дополнительной оксидной фазы Ti_6O . После термической обработки при 900 °С увеличилось содержание алюминия до 14 ат. %, что свидетельствует об образовании оксидов алюминия Al_2O_3 . Наблюдается трансформация Ti_6O в оксид TiO_2 модификации рутил с тетрагональной кристаллической структурой и отслоение оксидного слоя от материала. Причиной разрушения могут являться сжимающие напряжения, возникающие в результате значительной разницы объемов оксида и металла.

Значения микротвердости TC25 в исходном состоянии составили 3,8 ГПа (рис. 2). После часовых отжигов при 300 и 500 °С значение микротвердости осталось неизменным, что свидетельствует о малости толщины оксидных пленок. После часового отжига при 900 °С значение микротвердости сплава TC25 увеличилось на 18% в сравнении с исходным состоянием из-за образования твердого оксидного слоя.

До 500 °С наблюдалось постоянство значения коэффициента трения (рис. 3), что говорит о стабильности трибологических свойств сплава при данной температуре. Увеличение коэффициента трения при 900 °С связано с частичным отслоением оксидной пленки.

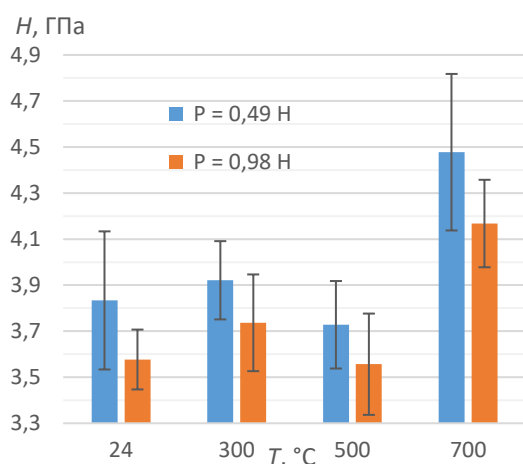


Рис. 2. Зависимость микротвердости H сплава TC25 от температуры отжига T в течение часа в воздушной среде, $P = \{0,49, 0,98\}$ Н

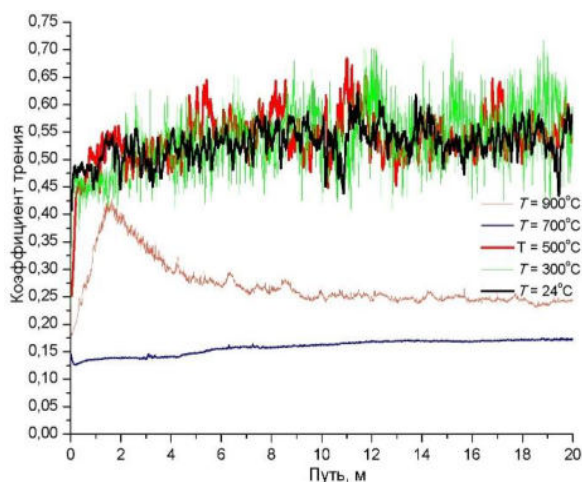


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения сплава TC25 от пути трения для $T = \{24, 300, 500, 700, 900\}$ °C, $P = 0,49$ Н

Глубина треков, образовывавшихся в результате снятия коэффициентов трения, уменьшается с повышением температуры отжига: $(6,6 \pm 0,9)$ мкм в исходном состоянии и $(5,0 \pm 0,7)$ мкм при 500 °C, что напрямую говорит о повышении износостойкости сплава вплоть до 700 °C.

На основе работ [2, 3] и собственных экспериментальных данных, нами была предложена следующая схема формирования оксидных пленок на титан-алюминиевых сплавах (рис. 4). До температуры 700 °C формируется стабильный в этом интервале температур слой субоксидов Ti_6O или Ti_3O . При содержании кислорода выше 50 ат. % образуются TiO и TiO_2 . Al_2O_3 расположен преимущественно во внутренней части оксидной пленки отдельными зёрнами в объеме, занимаемом рутилом.

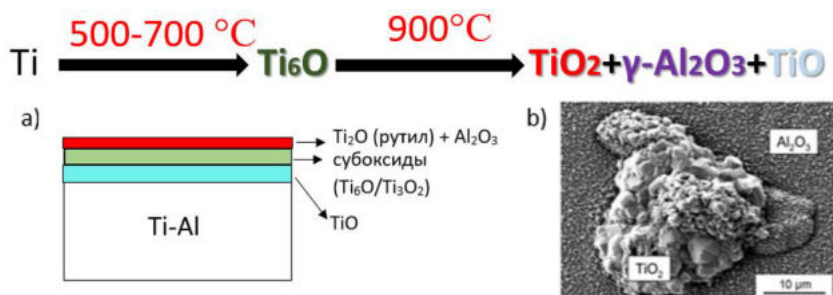


Рис. 4. Схематичное изображение образования многослойной оксидной пленки на сплаве Ti–Al в ходе окисления при 900 °C (а); поверхность γ -TiAl сплава после выдержки при высоких температурах [4] (б)

По мере приближения к поверхности раздела металл–оксидная пленка содержание алюминия в сплаве повышается, а титана — понижается. После часового отжига при 700 °С было зафиксировано образование оксидной пленки, включающей фазу Ti_6O , благодаря этому факту данная температура является оптимальной температурой отжига для улучшения МТС сплава TC25. При 900 °С наблюдалось частичное отслоение оксидной пленки вследствие нарушения баланса между растягивающими напряжениями в подоксидных альфированных слоях и сжимающими напряжениями в оксидных слоях.

Таким образом, сплав TC25 теряет свои механические свойства при температуре 900 °С и не может быть использован без предварительной защиты от окисления.

Библиографические ссылки

1. Wu D. et al. New high-strength Ti–Al–V–Mo alloy: from high-throughput composition design to mechanical properties //International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2019. Т. 26. С. 1151-1165.
2. Лазарев Э. М., Корнилова З. И., Федорчук Н. М. Окисление титановых сплавов //М: Наука. 1985.
3. Luthra K. L. Stability of protective oxide films on Ti-base alloys //Oxidation of metals. 1991.Т. 36. С. 475-490.
4. Leyens C. et al. Recent progress in the coating protection of gamma titanium-aluminides //Jom. 2006. Т. 58. С. 17-21.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ МОНО- И ДИСАХАРИДОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Д. И. Штырёв¹⁾, Д. А. Наркевич²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, fiz.shtyrev@bsu.by

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, fiz.shtyrev@bsu.by

Научный руководитель — С. А. Загорская, кандидат физико-математических наук

Методами поляриметрии исследованы особенности превращений в водном растворе сахарозы в ходе ее гидролиза. Показано, что оптическая активность раствора сахарозы не получается простым суммированием оптических активностей входящих в ее состав моносахаридов, в отличие от растворов чистых веществ. Физические модели для описания оптической активности веществ сложны.

Ключевые слова: растворы моно- и дисахаридов; вращение плоскости поляризации; аддитивность оптической активности; гидролиз сахарозы.

Среди разнообразных явлений, возникающих при взаимодействии света и вещества, важное место занимает вращение плоскости поляризации. Это явление наблюдается у многих веществ, получивших название естественно оптически активных [1]. Особенно много оптически активных веществ среди органических соединений. Сахароза (в быту известная как белый сахар) — дисахарид, состоящий из остатков двух моносахаридов: α -D-глюкозы и β -D-фруктозы (рис. 1). Сахароза, глюкоза и фруктоза в чистом виде относятся к оптически активным веществам [2].

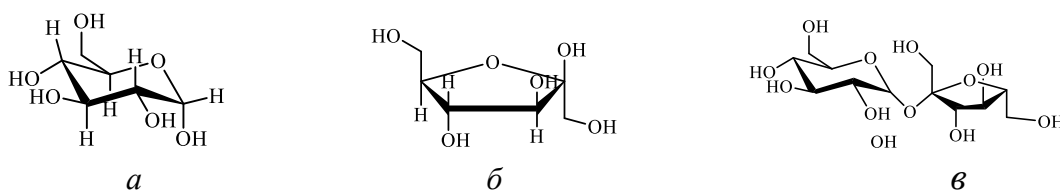


Рис. 1. Исследуемые вещества:

a — глюкоза; *б* — фруктоза; *в* — сахароза

Каркас всех органических молекул составляют атомы углерода. Если у одного атома углерода имеется 4 разных заместителя, связанных одинарными связями, то такой атом называют асимметрическим, и он ответственен за наличие оптической активности у органической молекулы. Молекулы исследуемых веществ содержат несколько асимметрических атомов, поэтому можно ожидать различной оптической активности у упомянутых

углеводов, ввиду разного количества таких атомов и их пространственного расположения.

В работе оценивался угол поворота плоскости поляризации после прохождения через водные растворы сахарозы, глюкозы и фруктозы одинаковой молярной концентрации (0,8 моль/дм³). Одинаковая молярная концентрация позволяет считать, что в равных объемах раствора содержится одинаковое число молекул растворенных веществ. Средние значения углов поворота приведены в таблице. Положительный или отрицательный угол поворота говорит о том, что плоскость поляризации света, после прохождения через раствор, поворачивается в разные стороны.

Измерение углов вращения плоскости поляризации исследуемыми веществами

Вещество	Химическая формула	Угол поворота плоскости поляризации
Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	+11,54°
Фруктоза	$C_6H_{12}O_6$	-26,46°
Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	+25,14°

Как можно увидеть, растворы глюкозы и сахарозы являются правовращающими (знак «+»), а раствор фруктозы левовращающим («-»). Более того, видно, что фруктоза с точки зрения оптической активности сильнее глюкозы, так как при одинаковом числе молекул в растворе, фруктоза поворачивает плоскость поляризации на больший угол по модулю. Поэтому, если бы сила оптической активности сахарозы складывалась из оптических активностей ее составных частей: остатков фруктозы и сахарозы, то угол поворота плоскости поляризации ее раствором был бы отрицательным. Но он больше нуля. Мы поставили перед собой вопрос: если не выполняется аддитивность для связанных остатков, что может обуславливаться наличием химических связей и внутренних взаимодействий, будет ли она выполняться для отдельных молекул?

Для этого провели гидролиз сахарозы, то есть разорвали связь, удерживающую два остатка, при котором освобождаются их полноценные аналоги (рис. 2). Реакция была проведена с использованием каталитических количеств серной кислоты и повышенной температуры для ускорения процесса [2].

Если измерить значения угла поворота плоскости поляризации раствором в ходе реакции с течением времени и построить такую зависимость (рис.3), то можно заметить, что положительное значение угла поворота плоскости поляризации постепенно уменьшается и становится отрицательным. Поэтому гидролиз сахарозы называют инверсией и результат гидролиза носит название «инвертный сахар» [2]. То есть, когда в растворе сахарозы появились молекулы фруктозы и глюкозы в чистом виде, и каждая из них начала вращать плоскость в характерную для нее сторону – появилась

аддитивность явления. По мере протекания гидролиза концентрация сахарозы снижается, а глюкозы и фруктозы растёт, поэтому угол вращения уменьшается, падает до нуля, а затем становится отрицательным в силу того, что фруктоза является самой оптически активной из этой тройки. То есть для смеси оптически активных веществ угол вращения равен алгебраической сумме углов вращения для каждого оптически активного вещества.

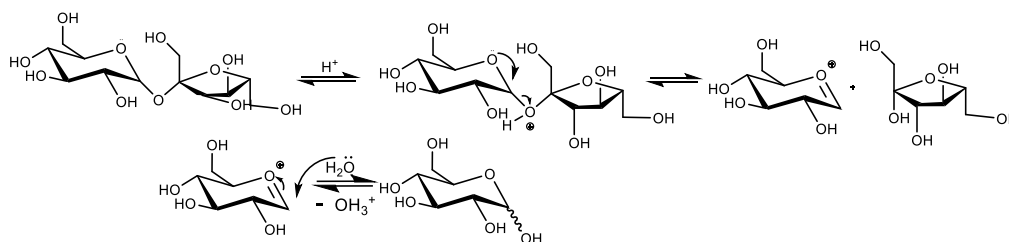


Рис. 2. Реакция гидролиза сахарозы [2]

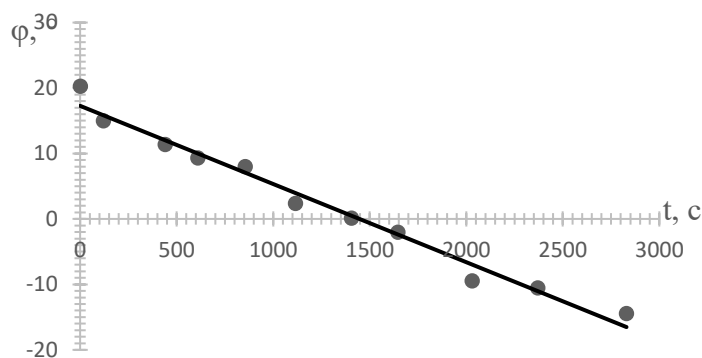


Рис. 3. Зависимость угла поворота плоскости поляризации от времени протекания реакции гидролиза раствора сахарозы

По графику данной зависимости можно найти значение «оптической неактивности», когда угол равен нулю, то есть узнать какое соотношение концентраций веществ нужно, чтобы раствор был оптически неактивен.

Также можно найти скорость протекания реакции, скорость убывания одной концентрации и возрастания другой, то есть оценить кинетику процесса гидролиза.

Описать такое поведение количественно сложно. Существует огромное количество моделей и теорий описания оптической активности, но строгие предполагают большие математические выкладки либо использование квантовых представлений [3 – 6]. Для качественной и наглядной интерпретации явления наиболее популярными являются теория Френеля, модель Борна и модель Куна. В теории Френеля вращение плоскости поляризации объясняется разными скоростями распространения в оптически активных веществах для левого и правого циркулярно поляризованного

света, однако не объясняется, почему эти скорости различны. В модели Борна молекула рассматривается как кусочек спирали с возможными лево- и правовращающими модификациями. И появление различных скоростей смещения электронов вдоль перпендикулярной оси Y объясняется их движением по спирали в разные стороны при взаимодействии с волной, линейно-поляризованной вдоль оси X [3]. В модели Куна рассматривается работа, производимая полем световой волны при взаимодействии с веществом, молекула которого представляет собой два связанных гармонических осциллятора (электрона), находящихся на конечном расстоянии друг от друга. Направления возможного движения электронов взаимно перпендикулярны и модель в целом ассиметрична. При действии на систему светом с различной круговой поляризацией, распределение направлений электрического вектора волны, выразится правовинтовой или левовинтовой спиралью, для которых работа поля световой волны различна [6].

Анализируя оптическую активность раствора меда, представляющего смесь сахаров, можно исследовать его качество. При сравнении образцов, приготовленных из натурального меда и из купленного в магазине, первый оказался оптически неактивным, а второй вращал плоскость поляризации ($\approx 3^\circ$), в сторону преобладания в нём сахарозы.

Проведенное исследование показало, что оптическая активность веществ представляет собой сложное явление. Она зависит как от химической структуры молекулы, так и от физических моделей рассмотрения, может меняться при различных условиях проведения эксперимента, дополнительных реакций, а может и вовсе оказаться в некоторых случаях сложной для обоснования.

Библиографические ссылки

- 1 Маскевич, А. А. Оптика / А. А. Маскевич. Гродно: ГрГУ, 2010. С. 376–379, 394–400
2. Кочетков, Н. К. Химия природных соединений: углеводы, нуклеотиды, стероиды, белки. - Академия наук СССР, Инст. химии прир. соедин. Москва: Изд. Акад. Наук СССР, 1961. 560 с.
3. Калитеевский, Н. Волновая оптика. – Рипол Классик, 1978.
4. Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – М.: Высшая школа, 2006.
5. Сивухин, Д. В. Курс общей физики: учеб. пособие: в 4 т. / Д. В. Сивухин., – М.: Физматлит, 2019. – Т. 3. – С. 572–592.
6. Волькенштейн, М. В. Молекулярная оптика. – М.: Гостехиздат, 1951.

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ МАССОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ОДНОРОДНЫМИ ДАННЫМИ

А. П. Азявчиков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, azyavchikov.alex@gmail.com
Научный руководитель — И. Д. Лукьянов, старший преподаватель*

В статье описаны подходы по ускорению массовых операций с массивом однородных данных, использующие параллельные алгоритмы, то есть алгоритмы, которые могут быть реализованы по частям на множестве различных вычислительных устройств, а также приводятся описания реализованных многопоточных структур.

Ключевые слова: многопоточные алгоритмы; массовые операции с однородными данными; модификация данных на отрезке; дерево отрезков.

ВВЕДЕНИЕ

В современном информационном обществе, где объемы данных постоянно возрастают, эффективная обработка и анализ информации становятся все более важными задачами для разработчиков программного обеспечения. В этом контексте параллельные алгоритмы выделяются как один из методов ускорения операций с данными. В данной работе описана реализация на языке C++ многопоточной шаблонной структуры над массивом однородных данных, предоставляющей пользователю интерфейс для модификации данных на отрезке и получения состояния отрезка.

Определение 1. Работой многопоточного вычисления называется общее время выполнения всего вычисления на одном процессоре, исполняющим лишь один поток в каждый момент времени.

Определение 2. Интервалом многопоточного вычисления называется наибольшее время выполнения одного потока на идеальном процессоре, то есть процессоре, исполняющим потенциально бесконечно большое число потоков в каждый момент времени.

ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

Для удобной работы с несколькими потоками был реализован примитив синхронизации буферизированный канал, предоставляющий пользователю интерфейс отправки данных в канал и получения данных из канала. При попытке отправить данные в канал с заполненным буфером или получить данные из канала с пустым буфером поток будет заблокирован до того момента, пока это не станет возможно сделать, то есть пока другой поток не заберет данные из канала, или не положит их в канал соответственно, или пока канал не будет закрыт.

Пусть теперь задана политика модификации и массив однородных данных ($n \geq t$, здесь и далее: n – размер массива однородных данных, t – число используемых потоков). Разобьем исходный массив на подмассивы подряд идущих элементов размера $\lfloor n/t \rfloor$, а оставшиеся элементы положим в последний подмассив. Далее для каждого подмассива создадим дерево отрезков и поток, его обрабатывающий, а также создадим $\lfloor n/t \rfloor$ буферизированных каналов, хранящих в себе запросы модификации и состояния, каждый из которых будет отвечать за передачу запросов к одному подмассиву. Внутри одного потока будем ожидать появления новых запросов к подмассиву из канала, пока канал не будет закрыт. Получив новый запрос и исполнив его, увеличим глобальную атомарную переменную (счетчик числа потоков, выполнивших запрос). Таким образом, получив от пользователя запрос, нужно перенаправить запрос в соответствующие каналы и дожидаться, пока значение счетчика не станет равным t .

Таким образом, работа запросов составит $O(t + t \cdot \log(n/t))$, так как всего совершается t запросов к деревьям, каждый из которых работает за $O(\log(n/t))$, а также выдается t запросов потокам (операции с каналом работают за $O(1)$). А интервал запросов составляет $O(t + \log(n/t))$ так как каждый поток совершает запрос к одному дереву отрезков, а самый медленный ещё дожидается $O(t)$ времени выдачи ему запроса.

Для измерения времени работы использовались тесты, работающие с типом данных *int* и операциями присваивания и суммы в качестве операций модификации и состояния соответственно. Чтобы протестировать работу структуры в более медленном сценарии, была реализована политика модификации, замедляющая все операции с *int* на 500 нс (такие тесты в дальнейшем будем называть тестами на медленных данных).

Тестирование показало, что структура работает быстрее эталонной реализации (дерева отрезков) только на операциях модификации медленных данных (см. табл. 1, табл. 2), что объясняется медленной передачей запросов через каналы за счет совершения системных вызовов для уведомления потоков.

ВТОРОЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

В данной реализации мы избавились от долгих системных вызовов в буферизированном канале, заменив канал на неблокирующий примитив синхронизации: буферизированную очередь, обладающую аналогичным интерфейсом. Данная версия отличается также тем, что потоки после своего создания и до уведомления их о необходимости завершения работы постоянно проверяют соответствующую очередь на заполненность, и в момент, когда появится новый запрос, каждый поток начинает его исполнение. При этом теоретические временные оценки остаются теми же.

Тестирование показало, что данная структура работает быстрее эталонной реализации на операциях модификации быстрых данных и на медленных данных (см. табл. 1, табл. 2), а также видно, что данная реализация работает существенно быстрее первой.

ТРЕТИЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

В данной версии, в отличие от предыдущих, потоки обработчики сами определяют наличие нового запроса путем постоянного сканирования глобальной атомарной переменной, отвечающей за запрос, и, когда эта переменная изменяется, поток начинает исполнение нового запроса, а пользователь дожидается, пока все потоки не закончат исполнение.

Работа запросов составляет $O(t \cdot \log(n/t))$, так как всего совершается t запросов к деревьям отрезков. А интервал составляет $O(\log(n/t))$, так как каждый поток совершает запрос к одному дереву отрезков.

Тестирование показало, что данная реализация дает существенный выигрыш на операциях с медленными данными, а также работает лучше предыдущей на запросах состояния (см. табл. 1, табл. 2).

МОДИФИКАЦИЯ ТРЕТЬЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ

В данной версии, в отличие от предыдущей, для каждого подмассива будет построено не однопоточное дерево отрезков, а третий вариант параллельной структуры данных. Далее будем обозначать t_1 – число потоков исходной структуры, t_2 – число потоков в третьей структуре.

Работа запросов составит $O(t_1 \cdot t_2 \cdot \log(n / (t_1 \cdot t_2)))$, так как всего совершается $t_1 \cdot t_2$ запросов к деревьям отрезков над массивами размера $O(n / (t_1 \cdot t_2))$. А интервал составит $\log(n / (t_1 \cdot t_2))$, так как каждый поток совершает запрос к одному дереву отрезков.

Тестирование показало, что данная реализация дает существенный выигрыш на операциях с медленными данными, однако работает хуже предыдущей на всех типах операций (см. табл. 1, табл. 2).

ЧЕТВЕРТАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

Данная реализация аналогично предыдущим версиям разбивает исходный массив на подмассивы, но использует всего 3 потока для их обработки. Идея в том, что если какой-то запрос затрагивает более 3 подмассивов, то теоретическую оценку в логарифм дают крайние подмассивы, а подмассивы между ними обрабатываются за $O(1)$ (по свойству дерева отрезков). Поэтому в данной реализации тяжелые задачи на левой и правой границе запроса выдаются двум потокам, а легкие промежуточные – оставшемуся потоку. Далее введем обозначение s – (число подмассивов, на которые разбит исходный массив) минус 2. То есть это то количество легких задач в худшем случае.

Работа запросов к структуре составляет $O(s + 2 \cdot \log(n/(s + 2)))$, так как всего совершается 2 долгих запроса к деревьям отрезков над массивами размера $O(n/(s + 2))$ (каждый работает за $O(\log(n/(s + 2)))$), а также выдается s легких запросов одному потоку, работающих за $O(1)$. А интервал составляет $O(\max(\log(n/(s + 2)), s))$, так как два потока отработают за $\log(n/(s + 2))$, а оставшийся – за $O(s)$.

Таблица 1

Относительная разница лучших временных показателей между эталоном и разными версиями на массиве быстрых данных размера $2 \cdot 10^7$

Версия	Запросы модификации	Запросы состояния
Первая ($t = 2$)	+49 %	+782 %
Вторая ($t = 2$)	-2 %	+419 %
Третья ($t = 2$)	+2 %	+17 %
Модификация третьей ($t_1 = 2, t_2 = 2$)	+8 %	+75 %
Четвертая ($s = 2$)	+12 %	+10 %
Четвертая ($s = 3$)	+2 %	+24 %

Таблица 2

Относительная разница лучших временных показателей между эталоном и разными версиями на массиве медленных данных размера $2 \cdot 10^7$

Версия	Запросы модификации	Запросы состояния
Первая ($t = 5$)	-26 %	+4 %
Вторая ($t = 4$)	-22 %	-1 %
Третья ($t = 4$)	-24 %	-20 %
Модификация третьей ($t_1 = 2, t_2 = 2$)	-19 %	-13 %
Четвертая ($s = 2$)	-20 %	-19 %
Четвертая ($s = 3$)	-26 %	-25 %

Тестирование показало, что параметры $s = 3$ или $s = 2$ – наилучшие. При $s = 3$ данная реализация работает на медленных данных лучше всех предыдущих (см. табл. 2) и использует при этом всего 3 потока.

Библиографические ссылки

1. Introduction to algorithms / Cormen T. H. [et al.], 2022.
2. C++ documentation [Electronic resource]. Mode of access: <https://en.cppreference.com/w/>. Date of access: 16.05.2024.
3. Segment tree [Electronic resource]. Mode of access: http://e-maxx.ru/algo/segment_tree. Date of access: 16.05.2024.
4. Тель Ж. Введение в распределенные алгоритмы, 2009.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНСУЛИНОТЕРАПИИ ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Е. С. Акулич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь fpm.akulichES@bsu.by
Научный руководитель — Н. М. Дмитрук, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В статье анализируется математическая модель, которая описывает влияние питания и инсулинотерапии болюсными дозами короткого и длинного инсулина на динамику уровня сахара в крови больного сахарным диабетом, так же описываются параметры, идентифицируемые для пациента, и рассматривается оптимизация доз для инъекций короткого инсулина.

Ключевые слова: сахарный диабет; модель инсулина и глюкозы; система нелинейных дифференциальных уравнений; управление; ограничения; параметры зависящие от пациента; оптимизация инсулинотерапии.

В работе рассматривается глюкорегуляторная модель, описывающая влияние питания и инсулинотерапии болюсными дозами короткого и длинного инсулина на динамику уровня сахара в крови больного сахарным диабетом 1 типа. Модель имеет вид:

$$\frac{dI(t)}{dt} = u_s(t) + u_l(t) - k_e I(t),$$

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = -k_{a1}x_1(t) + k_{b1}I(t),$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = -k_{a2}x_2(t) + k_{b2}I(t),$$

$$\frac{dx_3(t)}{dt} = -k_{a3}x_3(t) + k_{b3}I(t),$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ_1(t)}{dt} = & -x_1(t)Q_1(t) + k_{12}Q_2(t) - [F_{01}^c(G(t)) + F_R(G(t))] + U_G(t) \\ & + EGP_0(1 - x_3(t)) \end{aligned}$$

$$\frac{dQ_2(t)}{dt} = x_1(t)Q_1(t) - (k_{12} + x_2(t))Q_2(t),$$

$$\frac{dD_1(t)}{dt} = A_G D(t) - k_D D_1(t),$$

$$\frac{dD_2(t)}{dt} = k_D D_1(t) - k_D D_2(t),$$

$$G(t) = Q_1(t)/V_G,$$

$$t \geq 0$$

где $I(t)$ — концентрация инсулина в плазме крови (мМЕ/л); $u_s(t)$ — введение инсулина короткого действия; $u_l(t)$ — введение инсулина длительного действия; k_e — скорость поглощения инсулина (1/мин); $x_1(t)$ — коэффициент влияния инсулина на транспортировку и распространение глюкозы (1/мин); k_{a1} — скорость деактивации глюкозы; k_{b1} — чувствительность инсулина при распределении / транспортировке; $x_2(t)$ — коэффициент влияния инсулина на утилизацию глюкозы (1/мин); k_{a2} — скорость деактивации глюкозы; k_{b2} — чувствительность инсулина при удалении; $x_3(t)$ — коэффициент действия инсулина на выработку эндогенной глюкозы в печени (1/мин); k_{a3} — скорость деактивации глюкозы; k_{b3} — чувствительность инсулина при производстве глюкозы печенью; $Q_1(t)$ — масса глюкозы в кровяном потоке (ммоль); k_{12} — скорость передачи глюкозы из кровяного потока периферийным тканям (1/мин); $Q_2(t)$ — масса глюкозы в периферийных тканях (ммоль); $F_{01}^c(G)$ — скорость потребления глюкозы (ммоль/мин) в центральной нервной системе; $G(t)$ — уровень глюкозы в крови (ммоль/л); $F_R(G)$ — скорость производства глюкозы в почках (ммоль/мин); $U_G(t)$ — поступление глюкозы; $D_2(t)$ — количество переваренных углеводов в периферийных тканях в момент t (г); EGP_0 — скорость производства печенью глюкозы при нулевом уровне инсулина; $D_1(t)$ — количество переваренных углеводов в кровяном потоке в момент t (г); A_G — биодоступность углеводов (безразмерная); $D(t)$ — количество переваренных углеводов в момент времени t ; k_D — скорость перетекания углеводов между отделами (гр/мин); V_G — объем распределения глюкозы (л).

Данная модель имеет 8 переменных состояния, изменение которых описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, в системе 2 управляемых входа (ввод инсулина короткого и длительного действия), один неуправляемый вход (ввод пищи), и один выход (концентра-

ция глюкозы в крови), поддающийся непосредственному измерению. Система содержит одну алгебраическую связь между переменными — выражение для уровня измеряемой глюкозы. Коэффициенты модели делятся на: константы, выделенные в [2], не зависящие от пациента, и параметры, которые являются индивидуальными для каждого пациента и требуют идентификации на основе данных замеров глюкозы в крови на протяжении некоторого промежутка времени. Модель состоит из 3 подсистем: подсистема глюкозы (поглощение, распределение и удаление), подсистема инсулина (абсорбция, распределение, удаление), рассмотренная в [1], подсистема инсулинового действия (инсулиновое действие при транспортировке, удалении и эндогенном производстве глюкозы).

На основании данных пациента (замеры уровня глюкозы в крови в течение суток, определенный план питания и инсулинотерапия) в ходе численных экспериментов идентифицировались 7 параметров, зависящих от пациента. Такими параметрами являются EGP_0 , F_{01} , k_{b1} , k_{b2} , k_{b3} , k_s , k_l . С помощью метода наименьших квадратов оценивалось квадратичное отклонение модельных данных от реальных, минимизируя это отклонение удалось получить более точные параметры для пациента. Используя эти параметры можно строить прогнозирование уровня сахара пациента при различных графиках питания. Результаты одного из экспериментов показаны на рис. 2 (синий график — спрогнозированный моделью уровень глюкозы в крови; розовый график со знаком «*» — построенный по реальным данным).

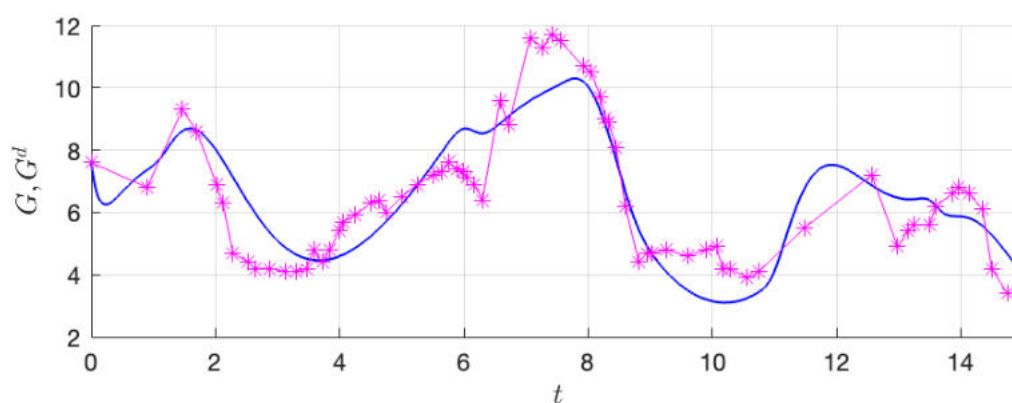


Рис. 2. Результаты первого эксперимента — поведение глюкозы в крови

После получения значений параметров для конкретного пациента рассматривается задача оптимизации инсулинотерапии, то есть подбор оптимальных доз короткого инсулина, используемого на протяжении суток. Цель оптимизации — удерживать сахар на уровне 6 при этом минимизируя

объёмы применяемого короткого инсулина. На рис. 3 показаны результаты (синий график — спрогнозированный моделью уровень глюкозы в крови; розовый график со знаком «*» — построенный по реальным данным; красный график — поведение глюкозы при использовании полученных оптимальных доз короткого инсулина).

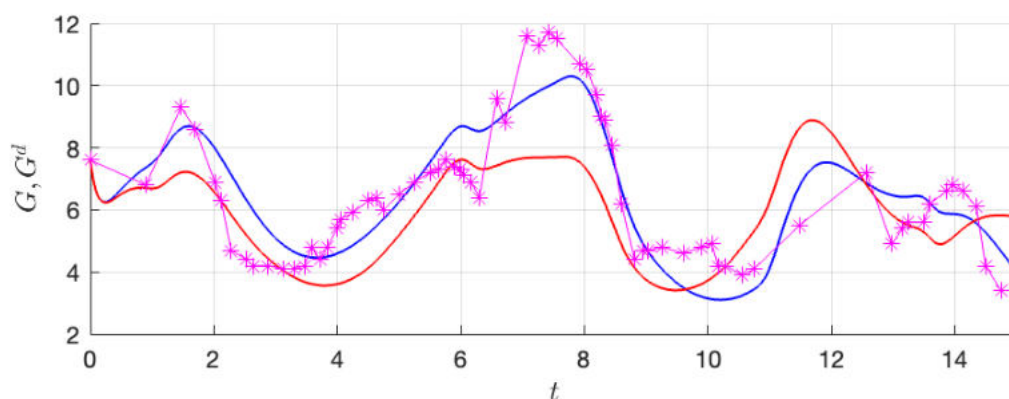


Рис. 3. Результаты второго эксперимента — поведение глюкозы в крови

Таким образом, анализируя графики выхода модели, можно видеть, что оптимизация позволяет избегать резких скачков сахара у пациентов — что является одной из основных целей терапии при сахарном диабете.

Библиографические ссылки

1. Insulin kinetics in type-1 diabetes: continuous and bolus delivery of rapid acting insulin / M.E. Wilinska [et~al] // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2004. Vol. 52, No. 1. P. 3-12.
2. Nonlinear model predictive control of glucose concentration in subjects with type 1 diabetes / R. Hovorka [et~al] // Physiological measurement. 2004. Vol. 25, No. 4. P. 905-920.

КОРРЕКЦИЯ ПРОГНОЗОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С АВТОКОРРЕЛИРОВАННЫМИ ОСТАТКАМИ

Н. Д. Бажанова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, nadia.bazhanova@gmail.com
Научный руководитель – В. И. Малюгин, доктор экономических наук, доцент*

Для прогнозирования темпов роста ВВП белорусской экономики построены модель на основе коинтеграционного уравнения и модель с марковскими переключениями состояний. Поскольку автокорреляция остатков в данных моделях не может быть устранена в рамках используемых методов оценивания, для ее учета предлагается алгоритм коррекции моделей. Сравнительный анализ точности прогнозов для построенных моделей указывает на эффективность предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: коинтеграционные зависимости; модели с марковскими переключениями состояний; коррекция автокорреляции остатков; модели зависимости темпов роста ВВП белорусской и российской экономик.

1. Общая характеристика проблемы, цель исследования

В работе представляются результаты решения задачи анализа и моделирования зависимости годовых темпов роста реального валового внутреннего продукта (ВВП) Республики Беларусь (РБ) от годовых темпов роста валового внутреннего продукта Российской Федерации (РФ) [1] для пролонгированных данных с использованием новых типов моделей.

В рамках проведенного исследования установлена коинтеграционная зависимость между указанными показателями. Для прогнозирования темпов роста ВВП белорусской экономики построены следующие модели: модель линейной коинтеграционной регрессии CLR (Cointegrating Linear Regression) и модель линейной регрессии с марковскими переключениями состояний MS-LR (Markov Switching Linear Regression) на основе коинтегрированных временных рядов. Методы оценивания для обеих моделей не предполагают включение лаговых переменных для учета автокорреляции остатков.

Целью исследования является разработка и тестирование на реальных экономических данных алгоритмов коррекции прогнозов для моделей временных рядов в случаях, когда автокорреляция остатков не может быть исключена в рамках используемых методов оценивания [2, 3].

Для достижения цели исследования решались следующие задачи: 1) тестирование интегрированности и коинтегрированности временных рядов годовых темпов роста ВВП экономик РБ и РФ; 2) построение эконометрических моделей CLR и MS-LR с помощью традиционных методов; 3) по-

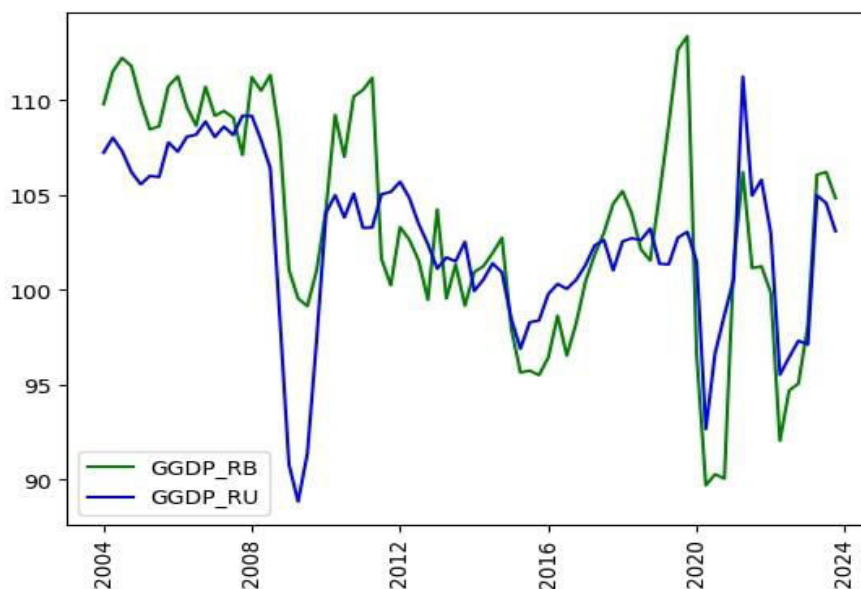
строение моделей CLR-AR и MS-LR-AR с использованием алгоритма коррекции остатков; 4) сравнительный анализ прогностических возможностей моделей при прогнозировании темпов роста экономики РБ на основе темпов роста экономики РФ.

2. Результаты построения моделей и оценки точности прогнозов

Для проведения исследований использовались следующие квартальные временные ряды реальных ВВП двух стран, рассчитываемых производственным методом (период наблюдения: 1 кв. 2004 г. – 4 кв. 2023 г.):

- $GGDP\_RB$ – годовые темпы роста реального ВВП РБ к уровню предыдущего года (в %);
- $GGDP\_RU$ – годовые темпы роста реального ВВП РФ к уровню предыдущего года (в %).

На рисунке приводятся графики временных рядов годовых темпов роста ВВП экономик РБ и РФ.



Годовые темпы роста ВВП экономик РБ и РФ (в %)

Результаты построения моделей CLR и CLR-AR. Модель CLR, построенная с помощью метода FMOLS (Fully Modified Linear Regression) [6], на временном интервале с 1-го квартала 2004 г. по 4-й квартал 2022 г. имеет вид:

$$GGDP\_RB_t = 0,690627 \times GGDP\_RU_t - 0,113939t + 37,41958. \quad (1)$$

$\begin{matrix} 0,0000 \\ 0,0006 \end{matrix}$
 $\begin{matrix} 0,0006 \\ 0,0245 \end{matrix}$

Оценки всех параметров модели (1) статистически значимы на уровне значимости 0,05 (Р-значения указаны в (1) под соответствующими оценками).

Однако остатки модели имеют автокорреляцию, которую нельзя устранить в рамках метода FMOLS, поэтому перейдем к построению модели CLR-AR(1). Построим модель AR(1) для остатков CLR_resid модели (1) с помощью метода наименьших квадратов (МНК) вида:

$$CLR\_resid_t = 0,608168 \times CLR\_resid_{t-1} \quad (2)$$

0,0000

Скорректируем временной ряд GGDP_RB, исключая из него автокоррелированный случайный процесс, описываемый моделью (2):

$$GGDP\_RB\_M_t = GGDP\_RB_t - 0,608168 \times CLR\_resid_{t-1} \quad (3)$$

Применяя метод FMOLS для оценивания коинтеграционной зависимости между GGDP_RB_M и GGDP_RU, получаем модель CLR-AR вида:

$$GGDP\_RB\_M_t = 0,738660 \times GGDP\_RU_t - 0,110430t + 32,34478 \quad (4)$$

0,0000 0,0000 0,0002

Остатки модели (4) являются гауссовским белым шумом.

Результаты построения моделей MS-LR и MS-LR-AR. Модель MS-LR, оцененная с использованием EM-алгоритма для моделей с марковскими переключениями состояний [7] включает два уравнения:

$$\text{класс 1 (рост): } GGDP\_RB_t = 0,617010 \times GGDP\_RU_t + 0,069895t + 42,48934 \quad (5)$$

0,0000 0,0000 0,1588 0,0002

$$\text{класс 0 (спад): } GGDP\_RB_t = 0,945580 \times GGDP\_RU_t - 0,091819t + 8,985451$$

0,0000 0,0000 0,4587

Остатки модели (5) имеют автокорреляцию первого порядка. В связи с обнаружением автокорреляции остатков перейдем к построению модели MS-LR-AR(1) на том же временном интервале. Скорректированный временной ряд GGDP_RB (GGDP_RB_M) примет вид:

$$GGDP\_RB\_M_t = GGDP\_RB_t - 0,322307 \times MSLR\_resid_{t-1} \quad (6)$$

В рассматриваемом случае имеем два регрессионных уравнения для двух классов 1 (рост) и 0 (спад):

$$\begin{aligned} \text{класс 1: } GGD\bar{P}_{RB}M_t &= 0,677479 \times GGD\bar{P}_{RU}_t + 0,0424588t + 36,66269 \\ &\quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0003 \quad \quad \quad 0,0003 \\ \text{класс 0: } GGD\bar{P}_{RB}M_t &= 0,857834 \times GGD\bar{P}_{RU}_t - 0,095433t + 18,28557 \\ &\quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0973 \end{aligned} \quad (7)$$

Остатки модели (7) являются некоррелированными.

3. Сравнительный анализ точности прогнозов

На основе полученных результатов сравнительного анализа показателей точности прогнозов для будущих моментов времени и ретроспективных прогнозов (табл.) модель MS-LR-AR имеет лучшие показатели точности по сравнению с другими моделями.

Показатели точности прогнозов годовых темпов роста ВВП РБ на основе построенных моделей, период оценивания 2004q1-2022q4

Прогнозный период: 2004q1 – 2022q4 (ретроспективные прогнозы)				
Модели	Число наблюдений	RMSE	MAE	MAPE, %
CLR	76	3,577786	2,618631	2,542643
CLR-AR	75	3,204123	2,021531	1,999610
MS-LR	76	3,778016	2,981515	2,917201
MS-LR-AR	75	3,314016	2,645306	2,590417
Прогнозный период: 2023q1 – 2023q2 (прогнозы для будущих моментов времени)				
CLR	2	4,275829	4,071562	3,943600
CLR-AR	2	4,368961	4,288069	4,163886
MS-LR	2	4,161541	4,159622	4,074875
MS-LR-AR	2	4,056927	4,014784	3,919405

4. Заключение

В работе решается задача анализа и моделирования зависимости между годовыми темпами роста реальных ВВП Беларуси и России, а также задача прогнозирования временного ряда темпов роста ВВП РБ на основе его коинтеграционной зависимости с темпами роста ВВП РФ.

При решении указанных задач получены следующие основные результаты: 1) построены регрессионные модели на основе коинтеграционного уравнения CLR и модели с марковскими переключениями состояний MS-LR; 2) для учета автокорреляции в построенных моделях разработан алгоритм коррекции моделей и построены скорректированные модели CLR-AR и модели с марковскими переключениями состояний MS-LR-AR с некоррелированными остатками; 3) проведен сравнительный анализ точности прогнозов

для построенных моделей, указывающий на эффективность предлагаемого алгоритма.

Библиографические ссылки

1. *Малюгин В. И., Новопольцев А.Ю.* Взаимосвязь темпов роста экономик Беларуси и России при воздействии шоков: эконометрический анализ и прогнозирование. Минск: НИЭИ, 2022. – С. 236-250.
2. *Малюгин В. И.* Дискриминантный анализ многомерных автокоррелированных регрессионных наблюдений в условиях параметрической неоднородности моделей. Информатика, № 3(19), 2008. – С.17-28.
3. *Малюгин В. И.* Методы анализа многомерных эконометрических моделей с неоднородной структурой. Минск: БГУ, 2014. – 351 с.
4. *Малюгин В. И., Макаревич А. С.* Модель MS-VARX и ее применение для анализа бизнес-цикла белорусской экономики. Банковский вестник, 2020. С. 22–31.
5. *Харин Ю. С., Малюгин В. И., Харин А. Ю.* Эконометрическое моделирование: учебное пособие - Минск: БГУ, 2003. – 313 с.
6. *Hong S. H., Wagner M.* Cointegrating Polynomial Regressions: Fully Modified OLS Estimation and Inference. *Econometric Theory*, Vol. 32, No. 5, 2016. P. 1289–1315.
7. *Malugin V., Novopoltsev A.* Statistical Estimation and Classification Algorithms for Regime-Switching VAR Model with Exogenous Variables. *Austrian Journal of Statistics*, Vol. 46, 2017. P. 47-56.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

А. А. Вереник

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fpm.verenik@bsu.by
Научный руководитель — Е. С. Чеб, кандидат физико-математических наук, доцент*

В данной работе исследуется моделирование процессов магнитной записи в режиме реального времени, в частности воссоздание эффектов, характерных для магнитной ленты. Для описания нелинейного процесса магнитного гистерезиса используется модель Джайлса-Атертона, которая позволяет учесть физические параметры магнитного материала.

Ключевые слова: магнитный гистерезис; магнитная запись сигналов; модель Джайлса-Атертона.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитная запись сигналов была изобретена в начале прошлого века. Первые магнитные ленты были представлены в 1930-х годах. Они получили большую популярность среди музыкантов и звукозаписывающих студий. Звук аналоговой записи в те времена описывается теплотой и насыщенностью. Однако, запись сигналов на такой носитель имела свои недостатки, а именно: искажения, порождаемые процессом магнитного гистерезиса, и шум. Тем не менее данные искажения определяли уникальный характер записей того времени. Некоторые музыканты использовали порожденные искажения в творческих целях.

В настоящее время, когда цифровые технологии в значительной степени вытеснили аналоговую запись на магнитную ленту, характерное звучание ленты по-прежнему востребовано многими музыкантами. В данной работе будет построена модель, позволяющая воссоздать характерные магнитной ленте эффекты в режиме реального времени.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА

Магнитофоны — это сложные радиотехнические устройства, включающие в себя аппараты магнитной записи, которые используются для записи и воспроизведения сигналов информации. Самыми важными структурными компонентами являются магнитные головки. В большинстве случаев запись и воспроизведение не разделяют на две магнитные головки.

Моделирование таких головок является очень трудоемкой и сложной задачей [7]. Поэтому были разработаны модели, в которых делаются некоторые допущения. Именно такая модель будет рассмотрена далее.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В ходе изучения литературных источников было получено, что модель Карлквиста позволяет получить аппроксимацию напряженности магнитного поля головки при записи сигналов:

$$H_x(x, y) = \frac{1}{\pi} H_0 \left(\operatorname{arctg} \frac{(g/2) + x}{y} + \operatorname{arctg} \frac{(g/2) - x}{y} \right),$$
$$H_y(x, y) = \frac{1}{2\pi} H_0 \ln \frac{((g/2) - x)^2 + y^2}{((g/2) + x)^2 + y^2},$$

где H_0 - напряженность поля в зазоре, а g - ширина зазора.

Для вычисления напряженности поля в зазоре предлагается следующая формула:

$$H_0 = \frac{NEI}{g},$$

где N - число витков обмотки, $E \approx 0.1$ - эффективность головки, а I - сила тока.

В данном случае делается допущение на идеальность головки. А именно, что полюсные наконечники имеют прямоугольную форму.

В процессе записи изменения сигналов по времени преобразуются в соответствующие изменения остаточной намагниченности. Данный процесс является нелинейным и неоднозначно зависит от начальных значений намагниченности и воздействующего поля.

Воспользуемся моделью Джайлса-Атертона [11]. Главным ее преимуществом является то, что данная модель позволяет осуществить связь с физическими параметрами магнитного материала. Следующее дифференциальное уравнение описывает намагниченность в некотором направлении как функцию, зависящую от напряженности магнитного поля в этом же направлении:

$$\frac{dM}{dH} = \frac{(1-c)\delta_M(M_{an} - M)}{(1-c)\delta_s k - \alpha(M_{an} - M)} + c \frac{dM_{an}}{dH}.$$

M_{an} определяет анизотропную намагниченность и может быть вычислена по следующей формуле:

$$M_{an} = M_s L\left(\frac{H + \alpha M}{a}\right),$$

где L - функция Ланжевена.

Перейдем к процессу воспроизведения. Малый уровень остаточного потока носителя при воспроизведении сигналаграммы позволяет считать процесс воспроизведения почти линейным. Следующая формула описывает выходное напряжение магнитной головки:

$$V(x) = NWEv\mu_0 \int_{-\infty}^{\infty} dx' \int_{-\delta/2}^{\delta/2} dy' h(x' + x, y') \cdot \frac{\dot{M}(x', y')}{dx},$$

где W - ширина головки, V - скорость ленты, δ - толщина ленты, а μ_0 - магнитная проницаемость вакуума.

Среди возможных потерь выделим следующие: обратимое саморазмагничивание, щелевые и частотные. Они являются самыми заметными. Объединим их и получим:

$$V(t) = V_0(t)[e^{-k\delta}] \left[\frac{1 - e^{-k\delta}}{k\delta} \right] \left[\frac{\sin(kg/2)}{kg/2} \right].$$

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Для реализации построенной модели в виде компьютерной программы необходимо провести дискретизацию. Так как вычисления будут происходить в режиме реального времени, то появляются дополнительные требования на трудоемкость процесса.

Для простоты моделирования процессов записи допустим, что $\dot{H}(x, y, t) = H(0, 0, t)$.

Тогда напряженность магнитного поля примет вид

$$\hat{H}(n) = \frac{NE\hat{I}(n)}{g}.$$

Путем математических преобразований получено следующее уравнение, которое описывает зависимость намагниченности магнитного поля от времени:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\frac{(1-c)\delta_M(M_s L(Q) - M)}{(1-c)\delta_s k - \alpha(M_s L(Q) - M)} \dot{H} + c \frac{M_s}{a} \dot{H} L'(Q)}{1 - c\alpha \frac{M_s}{a} L'(Q)}.$$

Выражение выше является обыкновенным дифференциальным уравнением. В работе [15] было показано, что явный метод Рунге-Кутты 4-го порядка является одним из лучших для модели Джайлса-Атертона.

Вычисление функции Ланжевена является трудоемкой задачей для режима реального времени. Целесообразно оказывается аппроксимировать $\text{ctg}(x)$ с помощью цепных дробей Гаусса.

Используя сведения выше, для процесса воспроизведения получена следующая формула:

$$\hat{V}(n) = NWE\nu\mu_0g\hat{M}(n).$$

Эффекты потери оказываются удобным моделировать с помощью КИХ-фильтра. Однако, отметим, что данные эффекты зависят от скорости магнитной ленты. Следовательно, при изменении скорости необходим пересчет всех весов фильтра.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Реализованное приложение предоставило возможность интерактивного управления параметрами модели, что позволило исследовать влияние различных факторов на процесс магнитного гистерезиса.

При подаче на вход сигнала, состоящего из тишины, на выходе наблюдался шум, напоминающий характерный шум магнитной ленты. Это наблюдение служит косвенным подтверждением корректности построенной модели, поскольку оно согласуется с ожидаемым поведением магнитных материалов в отсутствие внешнего сигнала.

При подаче на вход музыкальной аудиозаписи на выходе воспроизводилась та же запись, но с наложением характерного для кассет шума и незначительным частотным насыщением. Эти эффекты также соответствуют ожидаемому поведению магнитных материалов при записи и воспроизведении звука.

Сравним результаты с продуктом Таре [6]. Таре предоставляет контроль над следующими параметрами: скорость ленты, вид эффекта, входное/выходное усиление, срез высоких частот и др. При тщательной настройке доступных параметров нам удалось добиться похожих результатов, что косвенно свидетельствует о корректности построенной модели. Однако, следует отметить преимущества и недостатки коммерческого продукта. Таре имеет несколько режимов работы, которые существенно отличаются между собой. Наша же программа-дополнение имеет один режим работы. Но, ввиду закрытого исходного кода, нельзя сделать вывод о физической корректности используемого ими алгоритма. Следует отметить, что наша программа-дополнение предоставляет более гибкую настройку параметров, чего нет в продукте Таре.

Библиографические ссылки

1. Вичес А.И. Моделирование канала магнитной записи на ЭВМ / А.И. Вичес. – Москва: Радио и связь, 1984.
2. Умняшкин, С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов / С.В. Умняшкин. – Москва: Техносфера, 2018. – 527 с.
3. Хайпер Э., Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи / Хайпер Э. Нёрсетт С. Ваннер Г. – Springer, 1987.
4. JUCE [Электронный ресурс]. URL: <https://juce.com/learn/documentation>. (дата обращения 10.05.2024).
5. SPAN [Электронный ресурс]. URL: <https://www.voxengo.com/product/span> (дата обращения 10.05.2024).
6. Tape [Электронный ресурс]. URL: <https://www.softube.com/tape> (дата обращения 10.05.2024).
7. Bertram H.Neal. Theory of magnetic recording / H.Neal. Bertram. – Australia: Cambridge University Press, 1994.
8. Brezinski, C. Continued fractions and Pade approximants / C. Brezinski. – North-Holland, 1990.
9. G. Germain F. Design principles for lumped model discretisation using mobius " Transforms / F. G. Germain, K.J. Werner // Proceedings of the 18th International Conference on Digital Audio Effects. 2015.
10. Holters M. Circuit simulation with inductors and transformers based on the Jiles-Atherton model of magnetization / M. Holters, U. Zolzer // Proceedings of the 19th International Conference on Digital Audio Effects. 2016.
11. Jiles D.C. Theory of ferromagnetic hysteresis / D.C. Jiles, D.L. Atherton // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1984. Vol. 55, № 6. P. 2115-2120. 46
12. Jile, D.C. Numerical Determination of Hysteresis Parameters the Modeling of Magnetic Properties Using the Theory of Ferromagnetic Hysteresis / D.C. Jiles, J.B. Thoeke, M.K. Devine // IEEE Transactions on Magnetics. 1992. Vol. 28, № 1. P. 27-35.
13. Jiles D.C. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials / D.C. Jiles. – CRC Press, 2015.
14. Mayergoyz I.D. Mathematical Models of Hysteresis and their Applications: Second Edition (Electromagnetism) / I.D. Mayergoyz. 2003.
15. Szewczyk R. Computational Problems Connected with Jiles-Atherton Model of Magnetic Hysteresis / R. Szewczyk // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2014. Vol. 267. P. 275-283.
16. William B. Jones. Continued Fractions: Analytic Theory and Applications (Encyclopedia of Mathematics and its Applications (No. 11)) : Encyclopedia of Mathematics and its Applications (No. 11) / William B. Jones, W. J. Thron. – Cambridge University Press, 2009.

ОЦЕНИВАНИЕ МЕРЫ ИРРЕГУЛЯРНОСТИ ГРАФА

И. М. Воронкина

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, irishavoronkina@gmail.com
Научный руководитель — В. И. Бенедиктович,
кандидат физико-математических наук, доцент*

В данной работе исследуется мера иррегулярности графа, которую используют для определения неоднородности группы. С помощью меры иррегулярности можно выявлять влиятельных пользователей, группы схожих интересов и другие важные структуры, способствующие пониманию социальной динамики и поведения.

Ключевые слова: связный граф; регулярный граф; нерегулярный граф; спектральный радиус; минимальная и максимальная степени графа; максимальное собственное значение; мера иррегулярности графа.

Графовые нейронные сети (ГНС) являются особым типом нейронных сетей, основанным на графовой теории. Они представляют собой мощный инструмент для анализа и обработки данных, организованных в виде графовых структур. В отличие от классических нейронных сетей, которые оперируют с векторами или матрицами, ГНС могут учитывать взаимосвязи между элементами данных, моделируя их в виде графов.

Графовые нейронные сети можно оптимизировать, зная меру иррегулярности графа, поскольку иррегулярность графа может влиять на эффективность обучения и производительность сети. Выделяют несколько способов оптимизации графовой нейронной сети:

1. Регуляризация: Иррегулярность графа можно учесть в процессе регуляризации для контроля сложности модели и избегания переобучения. Добавление регуляризации к модели GNN может помочь улучшить обобщающую способность модели на иррегулярных графах и предотвратить переобучение.

2. Отбор признаков: Если граф имеет высокую степень иррегулярности, то можно использовать методы выбора признаков для снижения размерности и иррегулярности.

3. Подвыборка: Могут использоваться техники подвыборки, чтобы генерировать подграфы, которые более регулярны, что могло бы упростить процесс обучения. Иррегулярные графы могут иметь различные структуры и характеристики, поэтому важно выбирать архитектуру GNN, которая лучше всего подходит для конкретного типа графа.

4. Обучение с подкреплением: Может использоваться оптимизация на основе обучения с подкреплением для адаптации архитектуры GNN к конкретной структуре графа и его мере иррегулярности. Использование эффективных методов оптимизации, таких как Adam, SGD или RMSprop, может существенно улучшить процесс обучения GNN на иррегулярных графах.

5. Агрегация на уровне узлов: Можно использовать различные стратегии агрегации на уровне узлов, чтобы справиться с иррегулярностью графа. Использование методов адаптивного сэмплинга при обучении GNN на иррегулярных графах позволяет эффективно выбирать узлы или ребра для обновления в процессе обучения.

Эти методы требуют экспериментирования и подбора параметров, чтобы найти оптимальное решение для конкретной задачи и графа. Таким образом, оптимизация графовых нейронных сетей на иррегулярных графах требует учета особенностей структуры графа и применения соответствующих методов и стратегий для достижения лучших результатов.

Одним из основных вопросов в теории экстремальных графов является необходимость максимизировать или минимизировать граф, инвариантный к фиксированному семейству графов. Этот вопрос крайне широк и разветвляется на несколько областей математики.

Основным примером теоремы в теории экстремальных графов является теорема Мантеля (граф порядка $n \geq 3$ с числом ребер $m > \left\lfloor \frac{n^2}{4} \right\rfloor$ содержит треугольник). Обобщением теоремы Мантеля в теории является теорема Турана: максимальный размер графа порядка $n \geq 3$, не содержащего полного подграфа K_k порядка k , равен $\left\lfloor \frac{k-2}{k-1} * \frac{n^2-r^2}{2} + \binom{r}{2} \right\rfloor$, где r – остаток от деления n на $k-1$; теорема о четырех цветах стремится максимизировать хроматическое число в семействе плоских графов; вопросы о максимальных разрезах по различным семействам графов; задача о различном расстоянии Эрдеша (минимизация расстояний между n точками на плоскости).

Одним из основных характеристик графа является алгебраический параметр графа – разность между его максимальной степенью и спектральным радиусом. Этот графовый параметр является всегда неотрицательным и представляет собой некоторую меру отклонения графа от регулярности. В последние два десятилетия множество статей было посвящено изучению этого параметра. В частности, в 2007 г. американским математиком S. M. Cioabă [2] получена его нижняя оценка, зависящая от порядка и диаметра графа.

В 2017 г. при изучении верхней и нижней оценок для этого параметра M.R. Oboudi [5] выдвинул гипотезу о том, что нижней оценкой данного параметра для произвольного графа является разность между максимальной степенью и спектральным радиусом цепи. Это очень похоже на аналогичное утверждение для спектрального радиуса произвольного графа, нижней границей которого тоже является спектральный радиус цепи. Здесь вышеуказанная гипотеза подтверждается для некоторых классов графов. В статье [6] исследуется проблема о максимизации меры иррегулярности $\lambda_1(G) - d$, а в статье [5] – проблема максимизации меры иррегулярности $\Delta - \lambda_1(G)$. Обе проблемы относятся к экстремальной спектральной теории графов.

Сформулируем несколько теорем для нерегулярных графов с максимальной степенью вершин, имеющих практическое применение при программной реализации (с помощью программы Python) оценивания меры иррегулярности графа.

Теорема 1. Пусть G – связный нерегулярный граф порядка n с максимальной степенью вершин Δ и диаметром D . Тогда справедливо неравенство: $D \leq \frac{3n+\Delta-5}{\Delta+1}$. Причем равенство достигается тогда и только тогда, когда G – путь.

Теорема 2. Граф G – неориентированный граф с максимальной степенью вершин Δ , чьи ребра могут быть ориентированы так, что максимальная входящая степень вершин d не превосходит $\frac{\Delta}{2}$. Тогда справедливо неравенство: $\rho(G) \leq 2\sqrt{d(\Delta - d)}$.

Теорема 3. Для всех нерегулярных графов G одного и того же порядка n параметр $\beta(G)$ достигает максимальное значение на звезде и для деревьев порядка n минимальное значение достигается на цепи. $\beta(S_n) = n - 1 - \sqrt{n - 1}$; $\beta(P_n) = 4 \sin^2(\frac{\pi}{2n+2})$.

Графовые нейронные сети представляют собой мощный инструмент в сфере искусственного интеллекта и машинного обучения. Их способность учитывать сложные взаимосвязи и структуру данных делает их неотъемлемой частью современных алгоритмов анализа и обработки информации. Внедрение графовых нейронных сетей в различные области, такие как рекомендательные системы, анализ социальных сетей и биоинформатика, открывает новые возможности для решения сложных задач и достижения более точных результатов.

Библиографические ссылки

1. *Brouwer A.* Spectra of graphs: Monograph / A. Brouwer, W. Haemers. – 2011. – 255 p.
2. *Cioaba S.M.* The spectral radius and the maximum degree of irregular graphs / Sebastian M. Cioaba // The Electronic Journal of Combinatorics. 2007. Volume 14. P. 1–10. <https://doi.org/10.37236/956>.
3. *Hayes T.A.* Simple condition implying rapid mixing of singlesite dynamics on spin systems / T. Hayes // Proc. 47th Annual IEEE Symposium on Foundation of Computer Science FOCS, 2006. P. 39–46. <https://doi.org/10.1109/focs.2006.6>.
4. *Liu B.* A note on the largest eigenvalue of non-regular graphs / Bolian Liu, Gang Li // International Linear Algebra Society. 2008. Vol. 17, №1. P.54–61. <https://doi.org/10.13001/10813810.1249>.
5. *Oboudi M.R.* On the difference between the spectral radius and the maximum degree of graphs / Mohammad Reza Oboudi // Algebra and Discrete Mathematics. 2017. Vol. 24. № 2. P. 302–307.
6. *Tait, M.* Three conjectures in extremal spectral graph theory / M. Tait, J. Tobin // Journal of Combinatorial Theory. 2017. Vol. 126. P. 137–161.
7. *Бенедиктович В.И.* О разности между максимальной степенью и индексом графа / В.И. Бенедиктович // Весці Нацыянальная Акадэміі Навук Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. 2018. Том 54, №4. С. 34–41.
8. *Бенедиктович В.И.* Спектральные условия существования максимального цикла в графе / В.И. Бенедиктович // Весці Нацыянальная Акадэміі Навук Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. 2019. Том 55, №2. С. 169–175. [org/10.29235/1561-2430-2019-55-2-169-175](https://doi.org/10.29235/1561-2430-2019-55-2-169-175).
9. *Бенедиктович В.И.* Главные собственные значения графа и его гамильтоновость / В.И. Бенедиктович // Весці Нацыянальная Акадэміі Навук Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. 2020. Том 56, №4. С. 398–407.
10. *Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц: учебное пособие / Ф. Р. Гантмахер. – 5-е изд. – Москва : Физматлит, 2010. 560 с.

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

И. В. Гонтарев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ivan.hontarau@gmail.com
Научный руководитель — А. Н. Вальвачев, кандидат технических наук, доцент*

В докладе обсуждаются вопросы построения мультимодальных систем поддержки принятия решений нового поколения. Отличие новых систем заключается в использовании для синтеза управляющих решений данных, представленных в различных форматах и полученных из разных источников. Предложена технология построения мультимодальных систем, ориентированная на компании разного масштаба.

Ключевые слова: искусственный интеллект; системы поддержки принятия решений; мультимодальные системы.

ВВЕДЕНИЕ

В 2000-2024 гг. условия ведения бизнеса значительно усложнились по причине роста турбулентности среды и уровня глобальной неопределенности. Соответственно, оперативные задачи стали доминировать над плановыми, а системы поддержки принятия решений (СППР) стали рассматривать как основное средство адаптации к изменениям. В [1, 3, 4] показано, что наиболее эффективные решения формируются СППР на основе данных различного типа из гетерогенных источников – цифровых отчетов, текстов в социальных сетях, отчетах экспертов, специальных тематических изданий, графических изображений, аудиофайлов с отзывами покупателей, видеофайлов с камер на входе в магазины и других. С появлением в 2024 г. мультимодального искусственного интеллекта (ИИ) ChatGPT-4o, Llama, Mistral идея создания мульти-модальных СППР (МСППР) стала осуществимой [3, 4].

В докладе предлагается подход к построению МСППР на основе применения сервисов ИИ, добывающих знания из гетерогенных данных для синтеза более достоверных и обоснованных решений.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть имеется компания, включающая топ-менеджера (А) и множество удаленных филиалов (В). Все участники имеют СППР (DSS_A , DSS_B), решающие задачи соответствующих уровней на основе корпоративных (X_A) или локальных (X_B) данных типа float.

DSS_B обрабатывают данные X_B филиалов и отправляют результат X_i по каналам связи к DSS_A, которая анализирует их, оценивает и синтезирует соответствующее управляющее решение D_i для каждого филиала B_i и оценивает эффективность бизнес-процессов компании.

Требуется: разработать МСППР, учитывающую локальные и внешние негативные и позитивные изменения и вырабатывающую согласованные решения для менеджеров всех уровней иерархии.

СХЕМА РЕШЕНИЯ

Для учета внешних воздействий дополним традиционную схему синтеза управляющих решений модулем DSS_{ext} для обработки внешних гетерогенных данных на уровне компании X_t (текст), X_g (графика), X_s (звук) и на уровне каждого филиала X_{ti} , X_{gi} , X_{si} и интеграции результатов с локальными данными (рис.1).

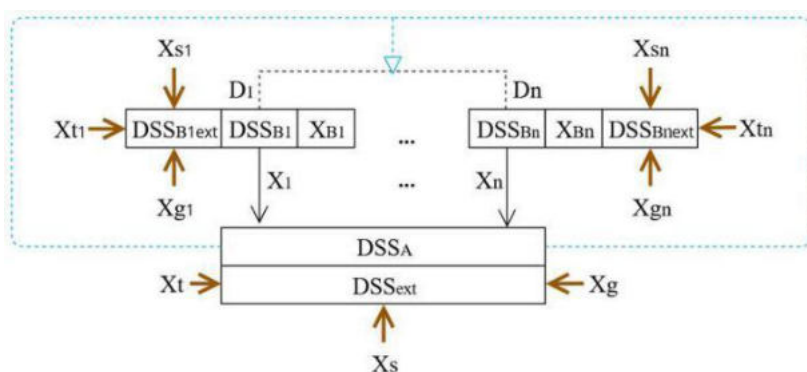


Рис. 1. Схема решения на основе МСППР

Алгоритм реализации данной схемы включает следующие шаги.

Шаг 01. Формирование экспертом json-модели компании.

Шаг 02. Формирование на уровне В пула локальных данных $X_{B1} \dots X_{Bn}$, характеризующих деятельность подразделений.

Шаг 03. Обработка DSS_{B1}...DSS_{Bn} данных $X_{B1} \dots X_{Bn}$.

Шаг 04. Формирование на основе источников среды пула внешних данных $X_{ti}, X_{gi}, X_{si} \rightarrow \text{float} [0.00 \dots 1.00]$.

Шаг 05. Интеграция $(X_{Bi}) \& (X_{ti}, X_{gi}, X_{si})$.

Шаг 06. Синтез значений $X_1 \dots X_n \rightarrow \text{float} [0.00 \dots 1.00]$.

Шаг 07. Отправка $X_1 \dots X_n$ на уровень А для обработки DSS_A.

Шаг 08. Отображение текста $X_t \rightarrow \text{float} [0.00 \dots 1.00]$.

Шаг 09. Создание пула внешних данных X_t, X_g, X_s .

Шаг 10. Отображение текста $X_t \rightarrow \text{float} [0.00 \dots 1.00]$.

Шаг 11. Отображение графики $X_g \rightarrow \text{float} [0.00 \dots 1.00]$.

- Шаг 12. Отображение звука $X_s \rightarrow \text{float}[0.00 \dots 1.00]$.
 Шаг 13. Интеграция $(X_1 \dots X_n) \& (X_t, X_g, X_s)$.
 Шаг 14. Синтез управляющих решений: $D_1 \dots D_n = f(X_1 \dots X_n, X_t, X_g, X_s)$.
 Шаг 15. Отправка и выполнение решений $D_1 \dots D_n$ на уровне В.
 Шаг 16. Переход на Шаг 02.

Данный алгоритм реализован на языке Python в форме библиотеки автономных программных модулей. Для приведения гетерогенных данных X_t, X_g, X_s к одному типу (float) и одной шкале (0.00-1.00) использовались функции принадлежности теории нечетких множеств [5].

Методика применения библиотеки включает четыре этапа.

Этап 1. Построение в интерактивном режиме json-модели компании с учетом локальных и внешних диагностических параметров.

Этап 2. Мониторинг локального и внешнего пула данных.

Этап 3. Согласование результатов локального и внешнего мониторинга на основе критериев, заданных в модели.

Этап 4. Визуализация результатов мониторинга и рекомендаций для топ-менеджера в текстовой и графической форме.

АПРОБАЦИЯ

Проверка работоспособности библиотеки выполнялась в процессе решения прикладной задачи с учетом требований имитационного моделирования [2, 4]. Пусть имеется компания, включающая 7 филиалов, торгующих спортивной обувью. На уровне филиалов формируется пул локальных данных из показателей 7 кассовых аппаратов. Внешний пул данных строится на основе анализа текста соцсетей, фотографий в цифровых аналитических журналах и эмоциональной окраске телефонных звонков в компанию от покупателей.

Ниже представлен результат комплексного анализа компании, использующий случайные значения локального и внешнего пула (рис.2).

```

*****
*          Данные локального пула          *
*          (данные кассовых аппаратов)      *
*****
0.02, 0.04, 0.17, 0.18, 0.04, 0.16, 0.18
Результат по локальному пулу:
Эффективность филиалов: высокая (0.18)
Эффективность компании: высокая (0.11)
*****
*          Данные внешнего пула компании   *
*          (соцсети, журналы, звонки)      *
*****
0.91, 0.33, 0.86
Результат по внешнему пулу компании:
Эффективность компании: низкая (0.91)
*****

*****
*          Данные внешнего пула филиалов   *
*          (эмоции и обращения)            *
*****
1: 0.27, 0.22
2: 0.01, 0.16
3: 0.28, 0.29
4: 0.63, 0.51
5: 0.50, 0.60
6: 0.13, 0.23
7: 0.23, 0.36
Результат по внешнему пулу филиалов:
Эффективность филиалов: средняя (0.57)
*****
*          Результат                        *
*****
Проблема: низкая оценка покупателей
Прогноз: отрицательный
Решение для компании:
          учесть мнение соцсетей,
          проинспектировать филиалы: 4, 5
*****

```

Рис. 2. Результат оценки состояния компании

Очевидно, что оценки и выводы из данных локального пула противоречат негативному мнению двух групп клиентов компании. Анализ внешних текстовых и аудио данных позволил зафиксировать возникновение угроз на раннем этапе развития в двух филиалах компании и уточнить решение, полученное на основе локальных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мультимодальный подход к построению СППР значительно повышает уровень достоверности и обоснованности решений за счет обеспечения соответствия масштаба угроз бизнесу и средств их фиксации на ранней стадии развития. Такой результат достигается за счет расширения локального пула данных внешними данными, которые в некоторых случаях радикально влияют на решения локальных СППР.

Библиографические ссылки

1. Виссия Х., Краснопрошин В.В., Вальвачев А.Н. Принятие решений в информационном обществе : СПб: ЛАНЬ, 2019.
2. Frikha T. Decision support platform based on multi-agent systems : ОКР, 2022.
3. Fregly C., Barth A., Eigenbrode S. Generative AI on AWS: Building Context-Aware Multimodal Reasoning Applications : O'Reilly Media, 2023.
4. Raad J.D.R. Multimodal Systems Thinking: A Grammar of Science : IP, 2023.
5. Zadeh L., Каспрзук J. Fuzzy logic for the management of uncertainty: Wiley, 1992.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИКОБАКТЕРИИ ТУБЕРКУЛЕЗА И НЕТУБЕРКУЛЕЗНЫХ МИКОБАКТЕРИЙ НА ОСНОВЕ ГЕНОМНЫХ ДАННЫХ

А. В. Гузаревич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fpm.guzareviAV@bsu.by
Научный руководитель — А. В. Тузиков, доктор физико-математических наук,
профессор*

В статье исследуются методы дифференциации микобактерий туберкулеза и родственных им нетуберкулезных микобактерий на основе последовательностей ДНК. Описываются результаты, полученные при анализе признаков помощью точного теста Фишера, метода опорных векторов, а также сравнении нуклеотидных последовательностей гена *MPV64*.

Ключевые слова: микобактерия туберкулеза; нетуберкулезные микобактерии; тест Фишера; метод опорных векторов; ген *MPV64*.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность лечения туберкулеза и заболеваний, вызываемых микобактериями нетуберкулезного комплекса, зависит от быстроты и точности обнаружения соответствующих бактерий в организме человека. Широко применяются традиционные методы идентификации по фенотипическим характеристикам, таким как морфология, скорость роста, пигментация, оптимальный температурный режим и др. [1]. Однако эти методы трудоемки, относительно медленны и могут вызывать задержки и ошибки в терапевтических стратегиях. Применение результатов традиционных лабораторных подходов затрудняется и тем, что организмы, принадлежащие к различным родственным видам, могут обладать одинаковыми фенотипическими признаками. С целью преодоления недостатков известных способов разрабатываются молекулярные методы исследования организмов, в том числе анализ последовательности ДНК.

ВЫБОРКА ДАННЫХ

Выборка данных для исследования включает ДНК-последовательности микобактерий туберкулеза (49 последовательностей) и трех видов нетуберкулезных микобактерий: *Mycobacteroides abscessus* (45 последовательностей), *Mycobacterium avium* (34 последовательности), *Mycobacterium intracellulare* (29 последовательностей). Всего выборка содержит 157 последовательностей ДНК.

ИССЛЕДУЕМЫЕ ПРИЗНАКИ

Признаки ДНК-последовательностей, исследуемые в данной работе, представляют собой k -меры – упорядоченные пары нуклеотидов (А-А, А-С, А-Г, А-Т, С-А и т.д.), такие, что нуклеотиды, образующие пару, находятся на расстоянии k в геномной последовательности, т.е. между ними расположено k любых нуклеотидов. Исследование было проведено для всех k , не превосходящих 10. Значением признака для ДНК-последовательности считается нормированное количество соответствующих k -меров, встречающихся в данной последовательности. Будем использовать обозначение XkY для признака, где X и Y – символы нуклеотидов (А, С, Г или Т), k – расстояние между ними в последовательности. Таким образом, в рассмотрении находится $4 \cdot 11 \cdot 4 = 176$ признаков.

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее простыми являются признаки, по которым выборка разделима на числовой прямой, т.е. те, для которых существует такое пороговое значение t данного признака, что для всех геномов туберкулезных микобактерий значение признака меньше (больше) t , а для всех геномов нетуберкулезных микобактерий – больше (меньше) t . Для исследуемой выборки было выявлено два таких признака – С1А (рис. 1) и G1Т. По остальным 174 признакам выборки частично или полностью «перекрываются».

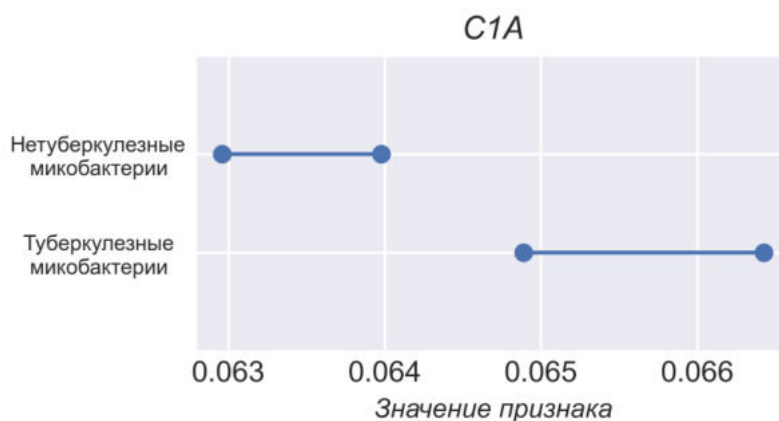


Рис. 1. Признак, по которому виды микобактерий разделимы

К каждому признаку был применен двусторонний точный тест Фишера. Результатом работы теста является величина p -value, которая отражает вероятность того, что между значениями признака и видом микобактерии не существует связи. Чем меньше p -value, тем более значимым считается признак. Среди 176 признаков было выявлено 20, для которых p -value не превосходит 0.05, что дает основание считать эти признаки существенными в задаче классификации микобактерий.

Помимо теста Фишера в данной работе к задаче дифференциации микобактерий был применен метод опорных векторов. Классификация была проведена как по каждому признаку по отдельности, так и по всевозможным парам признаков. В экспериментах применялись различные ядра преобразования пространства данных (линейное, полиномиальное, РБФ (радиальная базисная функция), сигмоидное), а также метод опорных векторов без использования преобразования пространства. Наилучшие результаты достигаются с помощью применения ядра РБФ, а именно на 94% пар признаков достигается точность классификации (accuracy) не менее 0.98. На рисунке 2 изображено признаковое пространство для пары k-меров C10A-T6T и расположение объектов выборки в нем.

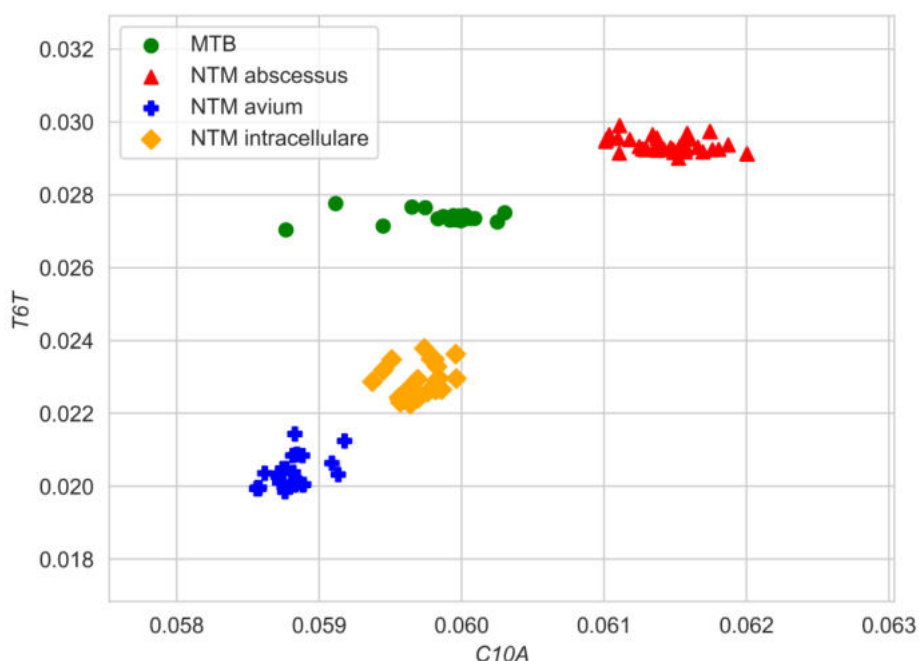


Рис. 2. Пример признакового пространства и расположения объектов выборки в нем

По рисунку 2 видно, что выборки различных видов микобактерий линейно разделимы по данным признакам, что объясняет высокую точность классификации методом опорных векторов.

С помощью описанных выше методов осуществляется поиск признаков в полном геноме бактерий. Однако известны определенные гены, несущие информацию, специфическую для микобактерий туберкулеза [2]. Одним из них является ген MPB64 (другое название – MPT64). Из каждой ДНК-последовательности выборки был «вырезан» участок, соответствующий данному гену. Все последовательности гена MPB64 были ранжированы по их мере сходства с референсной последовательностью этого же

гена микобактерии туберкулеза. В качестве меры сходства двух последовательностей в данной работе использовалась оценка BLAST (Basic Local Alignment Search Tool – инструмент для поиска локальных выравниваний генома) их оптимального выравнивания друг с другом. В результате для каждого из четырех рассматриваемых видов микобактерий был получен некоторый диапазон, в котором лежат значения оценки сходства бактерий этого вида с туберкулезной по гену MPB64 (рис.3).

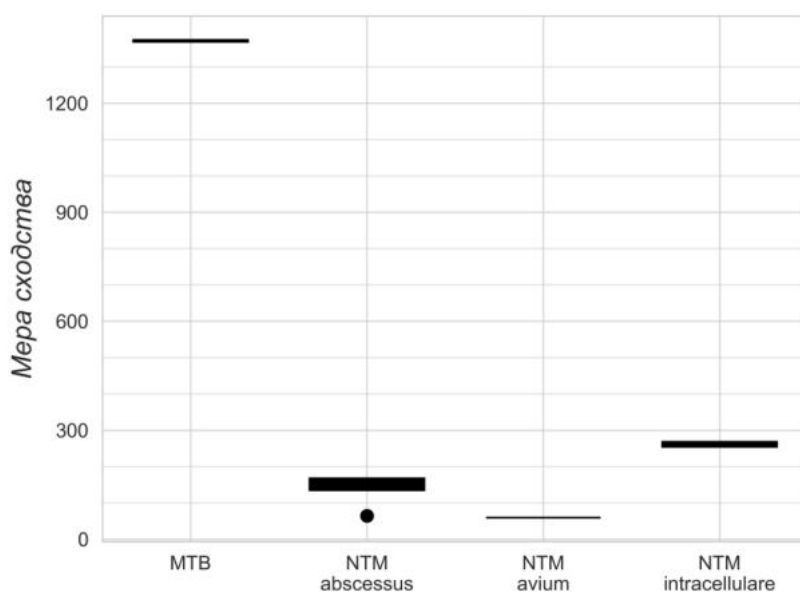


Рис. 3. Диапазоны оценки сходства микобактерий разных видов с туберкулезной по гену MPB64. Кружком обозначен выброс, т.е. значение, существенно отличающееся от всех аналогичных

Как видно по рисунку 3, микобактерии туберкулеза имеют гораздо более высокую оценку выравнивания, чем любая нетуберкулезная микобактерия выборки. Это дает основание считать ген MPB64 значимым в задаче классификации микобактерий. Кроме того, различные виды нетуберкулезных микобактерий демонстрируют разные значения оценки выравнивания, следовательно, можно выдвинуть гипотезу о возможности дифференциации нетуберкулезных микобактерий различных видов между собой по этому же признаку.

Таким образом, в ходе работы были найдены признаки в виде k-меров, которые имеют связь с видом микобактерии, а также исследовано различие последовательностей гена MPB64 между туберкулезными и нетуберкулезными микобактериями. Кроме того, выявлена возможность дифференциации различных видов нетуберкулезных микобактерий на основе k-меров и гена MPB64.

Библиографические ссылки

1. *O'connor J. A. [et al.]* Mycobacterium diagnostics: from the primitive to the promising // British Journal of Biomedical Science. 2015. Vol. 72, № 1. P. 32-41.
2. *Sawatpanich A.[et al.]* Diagnostic performance of the Anyplex MTB/NTM real-time PCR in detection of Mycobacterium tuberculosis complex and nontuberculous mycobacteria from pulmonary and extrapulmonary specimens // CellPress. 2022. Vol.8. e11935.

АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Ф. Б. Дасько

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, dasko@bsu.by

Научный руководитель — С.В. Агиевич, кандидат физико-математических наук

В работе рассматриваются свойства алгебраических систем, используемых для описания преобразований. Исследуются свойства компактных описаний преобразований и компактных линеаризуемых описаний преобразований, исследуются алгебраические свойства S -блоков. На основании компактных описаний определяется оценка стойкости к алгебраическим атакам криптосистемы Belt.

Ключевые слова: дискретное преобразование; S -блок; система алгебраических уравнений; теория идеалов.

Определим вначале важные для описания представляемых результатов понятия.

Определение 1. Системой алгебраических уравнений (над полем $\mathbb{F}_2$) будем называть набор уравнений $S = \{p_i = 0\}$, где $p_i \in \mathbb{F}_2[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}]$ для $i = 1, \dots, m$.

Определение 2. Система S называется *компактной* относительно свойства $\mathcal{P}$, если для нее выполняются следующие свойства:

- $\mathcal{P}$ верно для S ;
- если $\mathcal{P}$ верно для S' , то $\max_{p' \in S'} \deg(p') \geq \max_{p \in S} \deg(p)$;
- ни для какой подсистемы $S'' \subset S$ не выполняется $\mathcal{P}$.

В работе [1] рассматриваются компактные системы, где в качестве свойства $\mathcal{P}$ выступает то, что для заданного преобразования $F: \mathbb{F}_2^a \mapsto \mathbb{F}_2^b$ решения системы S над полем $\mathbb{F}_2$ взаимнооднозначно соответствуют всевозможным парам $(\alpha, F(\alpha))$, где $\alpha \in \mathbb{F}_2^a$. Такие системы называются *компактными описаниями преобразований*.

В работе [2] рассматриваются компактные системы, где в качестве свойства $\mathcal{P}$ выступает аналогичное свойство, но так же требуется, чтобы система являлась линеаризуемой (т.е. при подстановке любых значений входа преобразования система становилась линейной). Такие системы называются *компактными линеаризуемыми описаниями преобразований*. Стоит отметить, что понятия компактного описания и компактного линеаризуемого описания не следуют друг из друга. В частности: система может являться компактным линеаризуемым описанием преобразования, но не являться компактной описанием. Такое возможно если для заданного

описаниям максимальная степень многочлена в компактном линейризуемом описании выше, чем в компактном описании.

Для случайных (как биективных, так и не биективных) преобразований $F: \mathbb{F}_2^a \mapsto \mathbb{F}_2^a$ вид систем получается предсказуемым. Для случайных преобразований компактное описание состоит из уравнений одной и той же степени равной минимальной степени уравнения встречающейся в соответствующем идеале.

Для произвольного преобразования $F: \mathbb{F}_2^a \mapsto \mathbb{F}_2^a$ известно, что соответствующий идеал содержит уравнение степени не выше чем d такое, что

$$\sum_{i=0}^d \binom{2a}{i} > 2^a \geq \sum_{i=0}^{d-1} \binom{2a}{i}.$$

Для случайного преобразования $F: \mathbb{F}_2^a \mapsto \mathbb{F}_2^a$ данная граница является точной. Более того, количество линейно-независимых многочленов степени d составит

$$P(d) = \sum_{i=0}^d \binom{2a}{i} - 2^a.$$

Данные рассуждения являются с одной стороны эвристическими, поскольку предполагают, что элементами факторкольца $\mathbb{F}_2[x_0, \dots, x_{n-1}]/I$ являются мономы с наименьшими степенями. Данное предположение выполняется не для всех преобразований, однако верно для большинства из них, что подтверждается экспериментально. Тут I – идеал соответствующий алгебраическому описанию преобразования.

Для компактного линейризуемого описания преобразования допустимы те же рассуждения, с той лишь разницей, что подсчитывается количество не всех мономов, а только линейризуемых.

Для произвольного преобразования $F: \mathbb{F}_2^a \mapsto \mathbb{F}_2^a$ верно, что в соответствующем идеале найдется линейризуемый многочлен степени не выше чем d' такое что:

$$\binom{a}{d'} + (a+1) \sum_{i=0}^{d'-1} \binom{a}{i} > 2^a \geq \binom{a}{d'+1} + (a+1) \sum_{i=0}^{d'} \binom{a}{i}.$$

Для случайного преобразования $F: \mathbb{F}_2^a \mapsto \mathbb{F}_2^a$ верно, что в соответствующем идеале число линейно-независимых линейризуемых многочленов степени d' равняется

$$L(d') = \binom{a}{d'} + (a+1) \sum_{i=0}^{d'-1} \binom{a}{i} - 2^a.$$

При этом для алгоритма построения компактного описания преобразования время работы составляет $O(2^a \log a)$ (рис.1, а). Для алгоритма построения компактного линейризуемого описания преобразования время работы составляет $O(2^a a \log a)$ (рис.1, б).

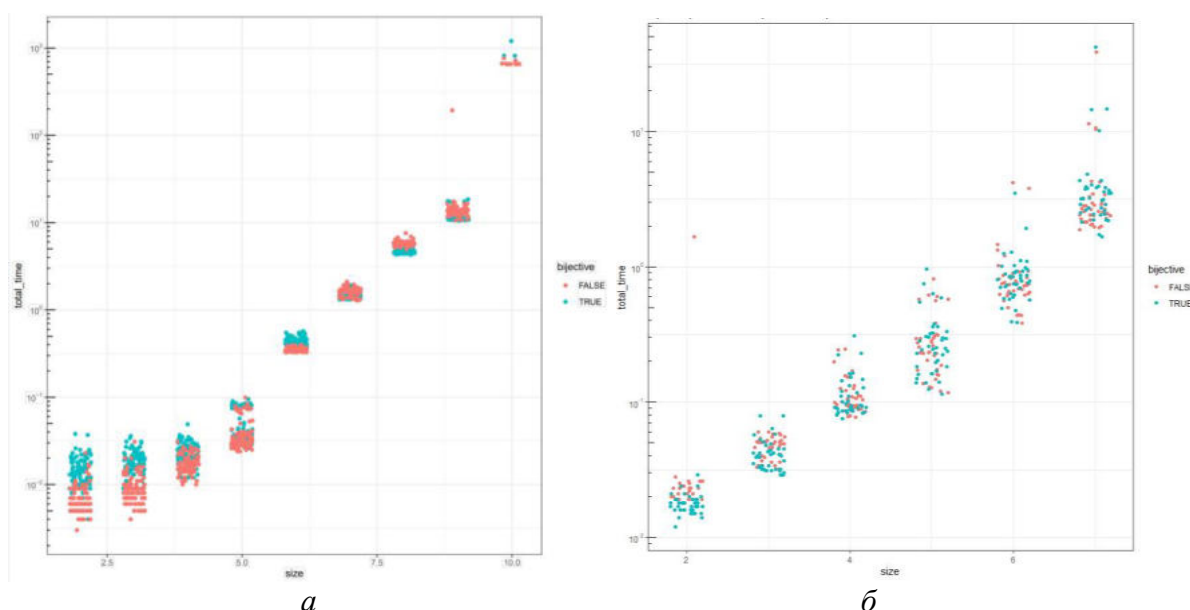


Рис. 1. Время построения компактного описания (а), время построения компактного линейризуемого описания (б)

Таким образом, алгоритмы наиболее эффективны при применении к произвольным преобразованиям небольшого размера. В частности при применении к S-блокам.

Свойства компактного описания преобразования может свидетельствовать о наличии или отсутствии внутренней алгебраической структуры преобразования. Так примером S-блока со свойствами стандартными для случайных преобразований может выступать S-блок криптосистемы Belt. Компактное линейризуемое описание S-блока Belt содержит 9 многочленов степени 3. Минимальный редуцированный базис Грёбнера с мономиальным порядком *grevlex* содержит 441 уравнение степени 3 и 14 уравнений степени 4. Это соответствует ожидаемому значению $d' = 3$, $L(3) = 441$.

Примером S-блока со свойствами отличными от случайных преобразований выступает S-блок криптосистемы AES. Компактное линеаризуемое описание данного преобразования состоит из 12 уравнений степени 2. Это говорит о наличии свойств преобразования отличных от случайных. При этом многие стандартные преобразования, такие как сложение, по модулю некоторой степени двух, битовые сдвиги и битовые операции легко описываются компактными линеаризуемыми системами. Это позволяет для достаточно широкого класса симметричных криптосистем эффективно строить их алгебраическое описание при помощи компактных линеаризуемых описаний преобразований. Такое описание будет содержать достаточно небольшое количество уравнений, степени уравнений будут малы, а для того чтоб все решения полученной системы лежали только над полем $\mathbb{F}_2$ достаточно задать уравнения поля для переменных ключа и открытого текста. Так же из данной системы можно исключить все уравнения первой степени такие, что содержат переменные отличные от переменных открытого текста, ключа и шифротекста.

Данный подход построения описаний криптосистем был применен к криптосистеме Belt определенной в стандарте СТБ 34.101.31. В результате, для описания криптосистемы Belt достаточно системы алгебраических уравнений над 5129 переменными. Система состоит из 2953 квадратичных и 2016 кубических уравнений. Пополнив систему уравнениями, определяющими вход и выход преобразования, удалось получить алгебраическую систему, решение которой соответствует атаке с известным открытым текстом. Система определена над 4885 переменными, содержит 3021 квадратичных и 2016 кубических уравнений.

Для полученной системы алгебраических уравнений были применены оценки сложности [3–8] нахождения решения. Значение оценок существенно ниже при использовании компактных линеаризуемых описаний преобразований. Наименьшее значение наблюдается при использовании «гибридного подхода к алгоритму F5» определенного в работе [5]. Согласно данной оценке, для нахождения решения системы, потребуется порядка $2^{4040.8}$ арифметических операций, что ниже, чем при использовании базисов Грёбнера для описания преобразований, но существенно выше, чем сложность полного перебора ключевого пространства. Это позволяет говорить о стойкости данной криптосистемы к алгебраическим атакам.

Заключение. В работе получены следующие основные результаты: определены свойства компактных и компактных линеаризуемых описаний случайных преобразований. Исследована сложность построения данных описаний. Построено алгебраическое описание криптосистемы и получена оценка стойкости к алгебраическим атакам для криптосистемы Belt.

Библиографические ссылки

1. Дасько Ф.Б. Понижение степеней многочленов при алгебраическом описании дискретных преобразований: 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. С. 335-339.
2. Дасько Ф.Б. О компактном линеаризуемом алгебраическом описании криптографических преобразований: Теоретическая и прикладная криптография: материалы II Междунар. науч. конф., Минск, 19–20 окт. 2023г.: Белорус. гос. ун-т; редкол.: Ю. С. Харин (гл. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2023. С.44-53.
3. Bardet M., Faugère J.-C., Salvy B. On the complexity of the F5 Gröbner basis algorithm: Journal of Symbolic Computation. 2015. Vol. 70. P. 49-70.
4. Courtois N., Klimov A., Patarin J., Shamir A. Efficient Algorithms for Solving Over-defined Systems of Multivariate Polynomial Equations: Lecture Notes in Computer Science. 2000. Vol. 1807. P. 392-407. DOI: 10.1007/3-540-45539-6_27.
5. Bettale L., Faugère J.-C., Perret L. Hybrid approach for solving multivariate systems over finite fields: Journal of Mathematical Cryptology. 2010. Vol. 2. P. 1-22. DOI: 10.1515/JMC.2009.009.
6. Dinur I. Cryptanalytic Applications of the Polynomial Method for Solving Multivariate Equation Systems over $GF(2)$: Lecture Notes in Computer Science. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-77870-5_14.
7. Williams R., Björklund A., Kaski P. Solving systems of polynomial equations over $GF(2)$ by a parity-counting self-reduction : ArXiv preprint. – 2019.
8. Lokshtanov D. [et al.] Beating Brute Force for Systems of Polynomial Equations over Finite Fields : Proceedings of the ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. 2017. P. 2190-2202. – DOI: 10.1137/1.9781611974782.143.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕО В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВЫХ ЯЗЫКОВ

Д. А. Жалова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, fpm.zhalova@bsu.by
Научный руководитель — В. В. Казаченок, доктор педагогических наук, профессор*

Данная работа анализирует различные подходы к обработке видео с помощью глубоких нейронных сетей на примере задачи распознавания жестового языка. Рассматриваются такие архитектуры нейронных сетей, как Video Swin Transformer и последовательность из сверточных нейронных сетей и сетей долгой краткосрочной памяти. Приведены результаты сравнительного анализа моделей, выводы и рекомендации построения моделей для обработки видео.

Ключевые слова: глубокие нейронные сети; распознавание жестовых языков; компьютерное зрение; классификация видео; сверточные нейронные сети; сети долгой краткосрочной памяти.

Видеоданные имеют свои отличия от других типов данных, таких как изображения или аудио, поскольку видео представляют собой последовательность изображений, снятых с определенной частотой кадров, которые передают движение и изменения во времени. Этот тип данных имеет два типа признаков: временные признаки и пространственные и данная особенность должна учитываться при обработке видео.

Один из способов обработки видеоданных, который учитывает все их особенности – это архитектура нейронной сети Video Swin Transformer. Данная архитектура представляет собой модификацию архитектуры Swin Transformer, которая в свою очередь используется для работы с изображениями. VideoSwin основан на основных принципах трансформерных архитектур, которые изначально были успешно применены в области обработки текстовых данных.

Второй рассматриваемый метод обработки видео – это комбинация сверточных нейронных сетей и сетей долгой краткосрочной памяти. На этапе извлечения признаков свёрточной нейронной сетью используется предварительно обученная модель, в данном случае VGG-16. Далее извлеченные признаки подаются на вход слоям LSTM – сети долгой краткосрочной памяти, которая производит обработку полученных временных признаков.

Для обучения моделей нейронных сетей использовался набор данных Slovo. Данный набор содержит 20000 видеозаписей и 1000 классов, пред-

ставляющих часто используемые словосочетания и короткие фразы на русском жестовом языке, включая алфавит и цифры. В данной работе для обучения нейронных сетей использовались 20 классов жестов и дополнительный класс "no_event" со случайно выбранными 20 видео. Также к данным были применены такие методы аугментации, как отражение вдоль вертикальной оси, изменение яркости и контраста.

При реализации модели на основе VideoSwin Transformer была использована предварительно обученная модель на наборе данных Kinetics-400. На верхние слои данной модели были добавлены слой глобального среднего пулинга и полносвязные слои. В качестве функции оптимизации использовалась функция Adam со скоростью обучения 0.001. Также использовалась L2-регуляризация с параметром 0.05.

Эксперименты, проводимые с данной моделью, включали:

- изменение количества слоев на вершине модели и количества нейронов на них;
- изменение скорости обучения функции оптимизации;
- изменения размера пакета данных;
- изменение параметра регуляризации;
- изменение количества эпох.

Наилучшие результаты (рис. 1) такая архитектура показала в модификации с двумя полносвязными слоями с 32 нейронами на последнем скрытом слое. Результаты на тестовой выборке: 0.36 точность предсказания и 2.70 ошибка предсказания.

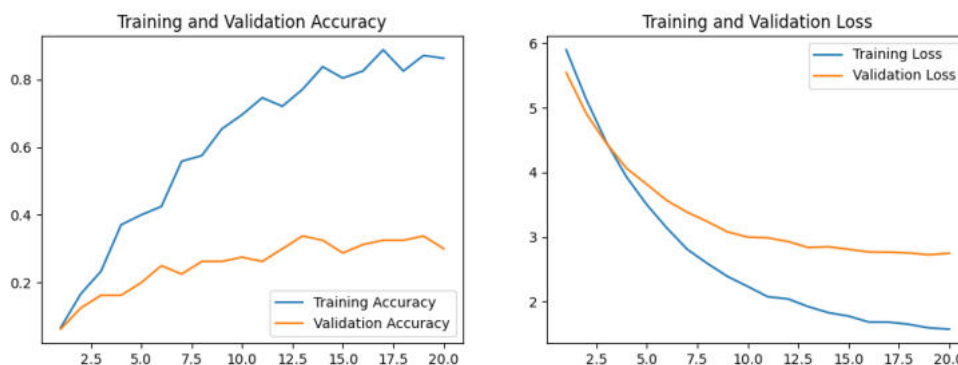


Рис. 1. Результаты модели Video Swin с двумя полносвязными слоями

Реализованная модель на основе CNN-LSTM состояла из двух главных частей: сверточной нейронной сети для обработки пространственных признаков и сети долгой краткосрочной памяти для обработки полученных признаков с учетом временных зависимостей.

Вторая часть данной модели была составлена из LSTM слоев и полносвязных слоев с разными конфигурациями. Основные вариации LSTM части данной архитектуры:

- один слой LSTM с одним полносвязным слоем после;
- один LSTM слой с двумя полносвязными слоями;
- два слоя LSTM с одним и с двумя полносвязными слоями;
- три слоя LSTM с двумя полносвязными слоями;
- два LSTM слоя.

Наилучшие результаты (рис. 2) нейронная сеть показала в случае, когда после сверточной нейронной сети следовали два LSTM слоя, со слоем Dropout между ними, а затем два полносвязных слоя. Параметр регуляризации был равен 0.05. Первые два слоя LSTM содержали 64 и 32 нейрона на выходе соответственно, а последний скрытый полносвязный слой содержал 32 нейрона на выходе. значение функции потерь на тестовой выборке составило 3.40, а значение категориальной точности – 0.10.

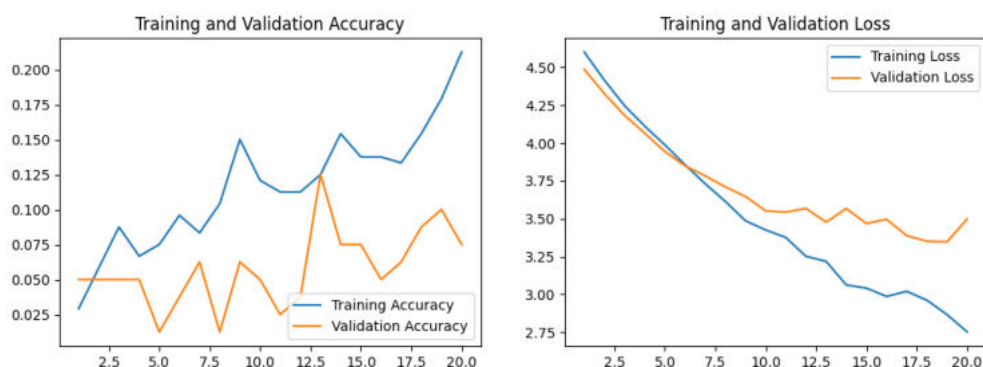


Рис. 2. Наилучшие результаты обучения нейронной сети на основе CNN-LSTM

На основе проведенных опытов и экспериментов с рассмотренными моделями были сделаны некоторые выводы, на которые необходимо опираться при построении эффективной модели в реальных условиях:

1. В случаях, когда для обучения нейронной сети доступно небольшое количество данных, намного лучше справляются модели на основе предварительно обученных архитектур, предназначенных для работы с видео данными, такими как VideoSwin. В случае, когда доступный набор данных имеет большое количество экземпляров данных для каких-либо определенных задач может потребоваться создать свою архитектуру для работы с видео.

2. При реализации обеих моделей были проведены эксперименты с меньшим количеством слоев, однако большим их объемом, и с большим количеством слоёв с меньшим объемом данных на каждом слое. Эксперименты с обеими архитектурами нейронных сетей показали, что

эффективнее обучаются более длинные модели с меньшим объемом данных

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее эффективно с видеоданными работает модель на основе VideoSwin. Модель на основе CNN-LSTM также может дать хорошую точность распознавания, однако требует долгой настройки как гиперпараметров, так и различных вариаций слоев. Исходя из этого, для дальнейшего применения в реальных условиях наиболее подходит модель на основе VideoSwin, поскольку она показала наилучшие результаты. Однако для более точной и эффективной работы модели необходимо большее количество данных для обработки, что, в свою очередь, требует большего количества доступных ресурсов программного обеспечения для их обработки и хранения.

Библиографические ссылки

1. Hochreiter, S. Long Short-term Memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // *Neural computation*. 1997. №9. P. 1735-1780.
2. Orozco, C.I. CNN-LSTM Architecture for Action Recognition in Videos / Orozco, C.I., Buemi, M.E., Berlles, J.J. 2019.
3. Slovo: Russian Sign Language Dataset / A. Kapitanov [et al.] // *Computer Vision Systems: 14th International Conference, Vienna, 27-29 Sept 2023* / Springer-Verlag ; ed. Henrik I. Christensen [et al.]. Berlin, 2023. P. 63-73.
4. Video Swin Transformer / Z. Liu [et al.] // *2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* / IEEE. – New Orleans, LA, USA, 2022. P. 3192-3201.

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ

А. Г. Каркоцкий

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, karkotskiy.alexander@yandex.by
Научный руководитель — Е. В. Пазюра, старший преподаватель*

В статье рассматриваются методы фильтрации данных в рекомендательных системах, способы визуализации данных и разрабатывается рекомендательная система с визуализацией данных которая позволяет обрабатывать произвольный набор неструктурированных данных, предоставляет пользователю рекомендации, строит визуализацию полученных рекомендаций и учитывает предпочтения пользователя при построении рекомендаций и визуализаций.

Ключевые слова: рекомендательные системы; фильтрация; визуализация; язык программирования Python.

Для обработки данных в рекомендательных системах используются различные фильтрации. Основными подходами фильтрации являются такие подходы, как фильтрация на основе содержимого, совместная фильтрация и гибридная фильтрация [3].

Подход **фильтрации на основе содержимого** предоставляет рекомендации, находя сходства среди определенных атрибутов вариантов рекомендаций.

Подход **совместной фильтрации** предоставляет рекомендации, основываясь на взаимодействии различных пользователей с элементами [1, с. 215].

Подход **гибридной фильтрации** использует несколько моделей рекомендаций одновременно, для достижения большей точности [3].

В качестве подхода фильтрации в разработанной рекомендательной системе с визуализацией данных, используется подход фильтрации на основе содержимого.

С точки зрения реализации, этот подход можно описать следующим образом. Набор данных состоит из элементов, которые могут быть рекомендованы. Каждый из элементов описывается набором характеристик. Все характеристики элемента разбиваются на отдельные слова и ищется количество их вхождения по-отдельности в каждый элемент. Таким образом проводится операции векторизации, где каждому элементу рекомендации ставится в соответствие многомерный вектор, количество элементов которого соответствует количеству уникальных слов по всем элемен-

там рекомендаций, а значения элементов векторов равны количеству повторений уникальных слов, входящих в соответствующий элемент рекомендаций.

Затем происходит вычисление похожести между элементами рекомендаций, для чего используется косинусное сходство [4, с. 129]:

$$\text{cosine}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}},$$

где x и y – это элементы двух многомерных векторов и размерности, между которыми ищется сходство.

Таким образом получается матрица сходства, где на пересечении строк и столбцов находится число в диапазоне от 0 до 1, которое характеризует похоть соответствующих элементов. Чем больше число, тем более элементы рекомендаций похожи друг на друга.

После этого на основе предпочтений пользователя, выбирается элемент, который считается наиболее подходящим и на основе матрицы сходства получается набор элементов рекомендаций.

Визуализация является важнейшим этапом в рамках представления большого объема данных в удобном пользователю формате. В рамках разработанной рекомендательной системы используются такие типы визуализации, как гистограмма, столбчатая диаграмма, круговая-секторная диаграмма и диаграмма рассеивания (Рис. 1).

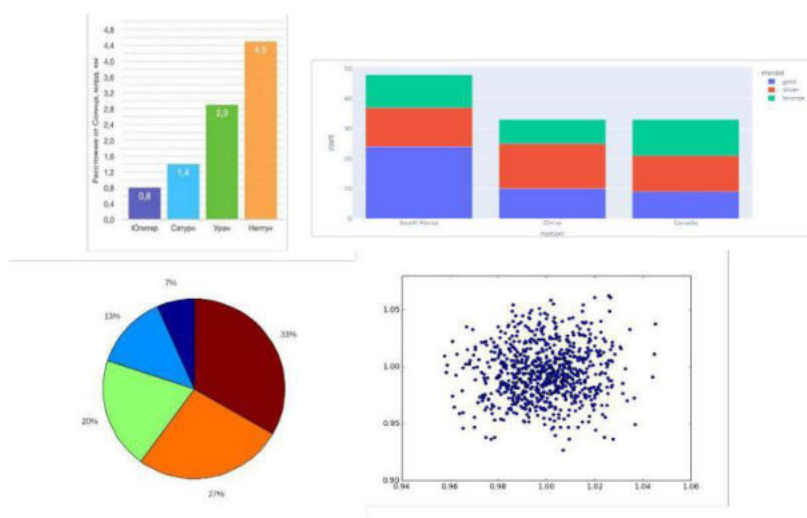


Рис. 1. Примеры типов визуализации

Разработанная рекомендательная система состоит из шести подсистем (Рис. 2). Этими подсистемами являются подсистемы авторизации пользователя, загрузки данных, предоставления рекомендаций, визуализации, сохранения и загрузки параметров и данных системы, и перехода состояний системы.

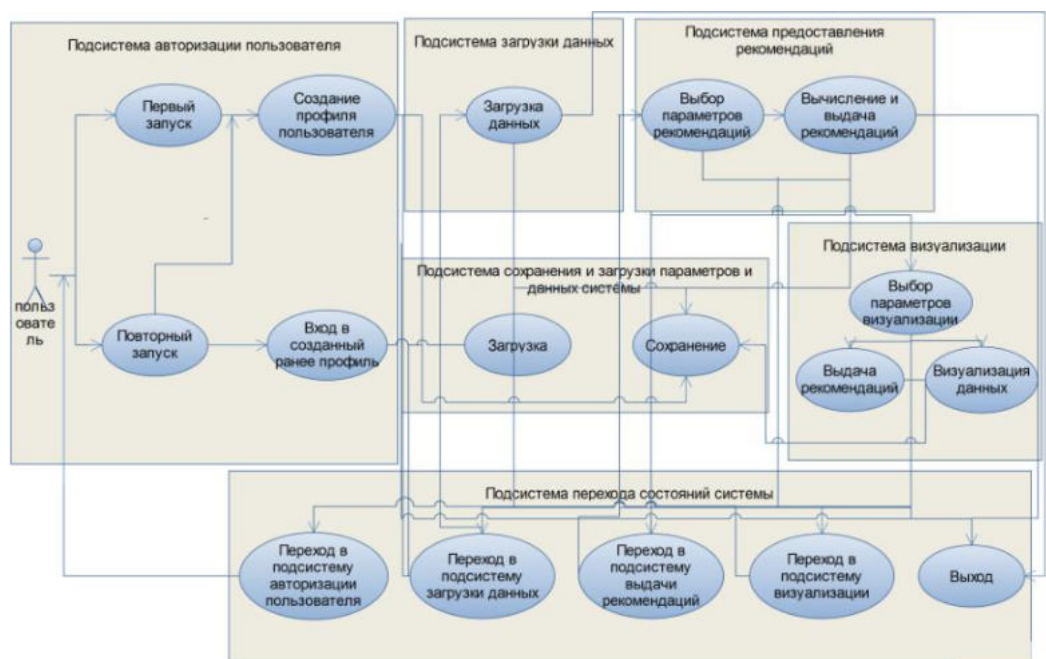


Рис. 2. Рекомендательная система с визуализацией данных

Разработка осуществлялась с использованием языка программирования Python и подключением таких библиотек, как Pandas для обработки данных, Scikit-learn для построения рекомендательной модели, Plotly для визуализации данных, и Tkinter для создания визуального интерфейса.

Подсистема авторизации пользователя позволяет осуществить регистрацию или авторизацию пользователя в разработанной системе, где в качестве параметров входа или регистрации выступают логин и пароль.

Подсистема загрузки данных позволяет осуществить загрузку данных. На входе в систему поступают данные в формате Excel. В системе данные хранятся в виде Pandas DataFrame библиотеки Pandas.

Подсистема предоставления рекомендаций позволяет осуществить выбор параметров рекомендаций, включающих количество рекомендаций

и приоритет атрибутов элементов рекомендаций, пользователем и получить персонализированные рекомендации на основе предпочтений.

Подсистема визуализации позволяет пользователю осуществить настройку параметров визуализации и, при необходимости, обратиться к

истории визуализаций. Помимо этого, если к данным применялась фильтрация, то незначимые элементы будут отнесены в группу Others.

Подсистема сохранения и загрузки параметров и данных системы позволяет осуществить сохранение и загрузку всех параметров или данных, которые образуются в результате работы системы в автоматическом режиме. Это позволяет пользователю вернуться к работе с системой в том положении, в котором она была завершена ранее.

Работа подсистемы перехода состояний системы заключается в завершении работы текущей запущенной подсистемы и запуска той, к которой осуществляется переход, где под состоянием системы понимается текущая запущенная подсистема.

Разработанная рекомендательная система с визуализацией данных реализует общий подход к построению рекомендаций с использованием фильтрации на основе содержимого и может применяться, без необходимости дополнительной настройки, к примеру, в таких сферах, как:

1. **Электронные торговые площадки.** Анализ оценок, отзывов, характеристик товаров, продаж с целью установить наиболее выгодные к закупкам и дальнейшей продаже изделий.

2. **Стриминговые платформы.** Анализ жанра, количество просмотров, оценок, отзывов фильмов или сериалов, для установки наиболее выгодного расширения репертуара.

3. **Финансовые услуги.** Анализ положения на рынке, с целью прогнозирования инвестиций.

Программный код разработанной рекомендательной системы с визуализацией данных представлен в открытом доступе в системе контроля версий GitHub [2].

Разработанная рекомендательная система с визуализацией данных, обладает следующими особенностями:

1. Использован подход фильтрации на основе содержимого.
2. Осуществляется обработка данных, подготовленных пользователем.
3. Осуществляется работа с произвольным набором неструктурированных данных.
4. Предоставляется возможность явной настройки получаемых пользователем рекомендаций.
5. Осуществляется визуализация построенных рекомендаций с возможностью настройки пользователем.

Библиографические ссылки

1. Фальк К. Рекомендательные системы на практике / *К. Фальк*. – Москва: ДМК Пресс, 2020 – 448 с.
2. GraduateWork [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/Aleanderk/GraduateWork> (дата обращения 06.05.2024).
3. Recommender Systems: Behind the Scenes of Machine Learning [Электронный ресурс]. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/recommender-system-personal-ization/> (дата обращения 01.05.2024).
4. Schrage M. Recommendation Engines (The MIT Press Essential knowledge series) / *M. Schrage*. Кембридж: MIT, 2020. 306 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ УЛУЧШЕНИЙ ДЛЯ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА В ГРАФАХ, ГДЕ РАССТОЯНИЕ ОБРАЗУЕТ МЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО

А. А. Костяной

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, kostianou.andrey@gmail.com
Научный руководитель — В. М. Котов, доктор физико-математических наук,
профессор*

В данной работе мы сначала поставим задачу коммивояжера в метрическом пространстве и опишем способ ее решения с помощью алгоритма Кристофидеса. После чего рассмотрим несколько способов качественного улучшения маршрута, полученного в результате выполнения алгоритма. Произведём сравнение предложенных эвристик на тестовой выборке, состоящей из карт городов различных стран мира.

Ключевые слова: задача коммивояжера; алгоритм Кристофидеса; минимальное остовное дерево; максимальное паросочетание; Эйлеров цикл; Гамильтонов цикл; динамическое программирование.

ВВЕДЕНИЕ

Задача коммивояжера — это классическая задача комбинаторной оптимизации, которая заключается в поиске самого выгодного маршрута для путешественника, проходящего через каждый город из заданного списка ровно один раз и возвращающегося в начальный город. Эта задача имеет множество приложений в реальной жизни и играет важную роль в различных областях: логистика и доставка; производство и распределение; телекоммуникации и т.д.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим набор из n городов, обозначенных символами $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. Для каждой уникальной пары городов (v_i, v_j) задано расстояние d_{ij} , которое образует метрическое пространство.

Задача коммивояжера заключается в нахождении циклического маршрута C , проходящего через каждый город ровно один раз, с минимальной суммой расстояний между городами.

АЛГОРИТМ КРИСТОФИДЕСА

Алгоритм Кристофидеса — это алгоритм поиска приближенных решений задачи коммивояжера для случаев, когда расстояние образует метрическое пространство.

Неформально алгоритм можно описать следующим образом:

1. Создание минимального остовного дерева (MST)
2. Нахождение вершин нечетной степени
3. Построение минимального паросочетания
4. Объединение MST и паросочетания
5. Нахождение эйлера цикла в мультиграфе
6. Преобразование эйлера цикла в гамильтонов цикл

Этот приближенный алгоритм гарантирует, что найденное решение находится в пределах $3/2$ от длины оптимального решения.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ВЕТВЛЕНИЙ

Для применения этой оптимизации рассмотрим путь, который был найден алгоритмом Кристофидеса. Разобьем его на цепочки из 10-15 городов. На каждой такой цепочке можно найти оптимальный по длине маршрут, в котором стартовый и конечный города не изменились. Сделать это можно с помощью экспоненциального решения задачи коммивояжера, например, используя метод динамического программирования. Время работы данного алгоритма составит $O(\frac{n}{k} \cdot 2^k \cdot k^2)$, где n – количество городов в графе, k – длины цепочек.

Также применим метод динамического программирования и для выбора длин цепочек. А именно: пусть f_i – это оптимальная стоимость маршрута коммивояжера, если мы оптимизировали локальные ветвления только для первых i городов. Тогда используя вычисленный f_i можно попытаться релаксировать ответ для f_{i+j} , по формуле:

$$f_{i+j} = \min(f_{i+j}, f_i + \text{exp}_{i,j}),$$

где j – это длина цепочки, $\text{exp}_{i,j}$ – это оптимальная стоимость цепочки длины j , которая начинается из города i .

СВЕДЕНИЕ К ИТЕРАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Серьезным преимуществом предыдущего подхода было получение оптимальных подотрезков маршрута. Однако оптимизация была применима только для отрезков небольшой длины.

Теперь же подойдем к оптимизации с другой стороны: будем оптимизировать не короткие подотрезки маршрута, а расположение длинных подотрезков относительно друг друга.

Для этого разобьем маршрут на 10-20 длинных цепей городов случайным образом. Пусть S – множество ребер, которые соединяют соседние со-

седние города в полученных цепочках. Теперь запустим алгоритм Кристофидеса на нашем графе, но передадим ему на вход множество S . Ребра из этого множества потребуем включить в минимальное остовное дерево.

Полученный в результате выполнения измененного алгоритма Кристофидеса маршрут также подвергнем оптимизации локальных ветвлений. Из-за особенностей строения дерева, имеем небольшое количество вершин нечетной степени, следовательно, время вычисления совершенного паросочетания значительно сократится. Повторим данный процесс некоторое (заранее фиксированное) число итераций.

Отметим, что в результате выполнения нескольких итераций, мы могли найти локально оптимальное решение, которое невозможно улучшить лишь с использованием предложенных выше оптимизаций. В таком случае, можем изменить найденное решение, намеренно ухудшив его стоимость. Например, на каждой пятой итерации, можем случайным образом перестроить найденное MST. В результате итерации мы получим решение заведомо худшее, чем оптимальное из ранее найденных, но также оно теперь не является локальным оптимумом, и следующие итерации смогут привести нас к новым (возможно более оптимальным) решениям.

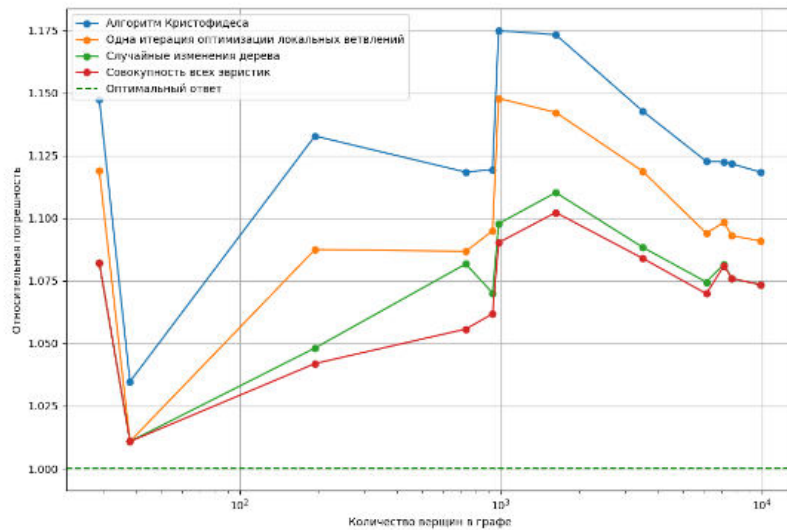
ТЕСТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для тестирования практических улучшений алгоритма Кристофидеса необходимо было собрать тестовую выборку. В качестве таковой были выбраны карты городов различных стран мира [1]. В выборке были представлены карты из десятков (Западная Сахара, Джибути), сотен (Катар, Уругвай) и тысяч городов (Япония, Греция). Итоговые результаты применения предложенных улучшений отображены на рисунке 1.

Отметим, что до применения каких-либо оптимизаций, маршруты, полученные в результате выполнения алгоритма Кристофидеса, имели в среднем стоимость на 11-18% дороже оптимальных маршрутов коммивояжера.

После же применения 100 итераций оптимизаций длинных цепочек, в совокупности с оптимизацией локальных ветвлений, полученные маршруты стоили в среднем на 5-12% дороже оптимальных маршрутов коммивояжера. Оптимизация со случайными изменениями MST улучшений не привнесла.

Наиболее оптимальные маршруты коммивояжера, которые были получены объединением всех подходов с различным числом итераций, стоили в среднем на 5-10% дороже оптимальных маршрутов коммивояжера.



Отношение длин найденных решений к оптимальным,
после применения предложенных улучшений

Библиографические ссылки

1. William Cook. National traveling salesman problems [Electronic resource]. URL: <https://www.math.uwaterloo.ca/tsp/world/countries.html>. Date of access: 19.06.2024.

СОЗДАНИЕ САЙТА ДЛЯ ФАКУЛЬТЕТА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ БГУ С МИГРАЦИЕЙ ДАННЫХ ИЗ СТАРОЙ ВЕРСИИ САЙТА

М. Д. Мальцев¹⁾, Я. В. Темняков²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, malsef.maks@gmail.com

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, malsef.maks@gmail.com

Научный руководитель – О. Г. Казанцева, старший преподаватель

Работа посвящена разработке нового сайта факультета прикладной математики и информатики БГУ. Создание сайта факультета включает в себя несколько этапов: проектирование структуры сайта, анализ современных CMS (content management system), выбор CMS для сайта, анализ и экспорт данных из бэкапа старой версии сайта факультета, импорт данных в CMS Drupal, разработка дизайна, создание пользовательской темы, настройка маршрутизации и добавление статического контента.

Ключевые слова: CMS; Drupal, сайт.

ВВЕДЕНИЕ

Веб-сайт для университетов и их факультетов является важным ресурсом, причем область его применения не ограничивается лишь привлечением новых учащихся и предоставлением им необходимых для ознакомления и поступления сведений. Студенты и сотрудники факультета также пользуются информацией, представленной на сайте ежедневно, например, новости, расписание занятий, учебные планы и др.

Для успешного выполнения своих функций, сайт должен соответствовать ряду требований: содержать актуальную информацию; иметь дизайн, проработанный как с эстетической точки зрения, так и в отношении UX/UI; обеспечивать достойный уровень производительности и надежности.

Основная цель работы – осовременить сайт факультета, переработав его архитектуру и разработав новый дизайн с применением современного технологического стека.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ БЭКАПА БАЗЫ ДАННЫХ И ЭКСПОРТ ДАННЫХ

Факультет прикладной математики и информатики имел веб-сайт с 2012 года, дальнейшая поддержка которого оказалась невозможной в связи с тем, что компания Microsoft прекратила поддержку браузера Internet

Explorer. За время работы сайта в базе данных SQL Server накопилось много информации. База данных представляет собой базу данных состоящую из 45 таблиц суммарным размером 6 гигабайт. При проведении анализа данных было обнаружено отсутствие ограничений (constraints) на таблицах, как внешних ключей, так и других типов связей. Это может быть объяснено тем, что доступ к модификации данных осуществляется через специальный пользовательский интерфейс системы управления контентом, который самостоятельно выполняет обработку данных и их вставку в таблицы. Однако, в ходе ручного анализа удалось распознать ключевые сущности, их атрибуты, зависимости и иерархические связи.

Также в процессе анализа бэкапа было установлено, что файлы и изображения хранились как содержимое в базе данных, что увеличивало размер базы данных.

Экспорт данных текстового формата был произведен в формат yaml, как наиболее удобный формат для сериализации данных (рис.1). Экспорт данных графического формата и документов производился путем расшифровки двоичных данных с сохранением их в файловую систему. Для выполнения экспорта данных была разработана программы на Java и Python.

В результате экспорта мы получили 1400 записей новостей, более 5840 графических файлов, более 1300 документов.

```
1  uuid: 9cfeca29-a549-450f-ae3b-2c0e8fed6b27
2  entity_type: node
3  bundle: article
4  base_fields:
5    title: 'Победителей финала чемпионата мира по программированию поздравил министр образования Сергей Маскевич.'
6    status: true
7    langcode: ru
8    created: '1338148800'
9    author: malsef.maks@yandex.ru
10   url: null
11  custom_fields:
12    body:
13      -
14        value: '<p align="justify"> <table border="0" cellpadding="3" cellspacing="3" width="450" align="left">
15        summary: null
16        format: basic_html
17      field_create_time:
18        -
19          value: '1338148800'
20    field_images_gallery: null
21    field_main_image: null
22    field_tags: null
23    field_video_local: null
24    field_video_youtube: null
```

Рис. 1. Пример экспортированной новости в формат yaml

ВЫБОР CMS И РАЗРАБОТКА КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ САЙТА

При выборе CMS были рассмотрены различные варианты и самым оптимальным показал себя Drupal. Одно из главных преимуществ Drupal заключается в его гибкости и расширяемости. Базовая версия, Drupal Core,

предоставляет множество инструментов для разработки и кастомизации сайтов, при этом позволяя добавлять сторонние модули для расширения функционала. Также Drupal известен своей надежной системой безопасности, встроенной поддержкой SEO оптимизации и активным сообществом разработчиков [1].

Процесс работы с Drupal можно разбить на несколько больших разделов: разработка структуры сайта, стилизация и наполнение контентом.

Разработка структуры подразумевает настройку окружения, создание типов материалов, медиа и тегов, установку и конфигурацию дополнительных модулей, работу с навигацией и представлениями, определение регионов для их последующей стилизации и наполнения содержимым.

Для создания и хранения конфигурируемых блоков и страниц в Drupal используются типы материалов. Тип материала является структурой, имеющей поля, способные принимать значения различных типов, и параметры отображения, позволяющие изменять то, как данные из полей отображаются на сайте. По умолчанию в Drupal присутствуют два типа материалов – страница и статья. В зависимости от задач ресурса можно создавать собственные типы материалов. На рисунке 2 представлен фрагмент типа материала «Новость».

Метка	Машинное имя	Тип поля	Operations
Галерея изображений	field_images_gallery	Entity reference	Edit ▾
Главное изображение	field_main_image	Entity reference	Edit ▾
Дата публикации	field_create_time	Время	Edit ▾

Рис. 2. Некоторые поля типа материала «Новость»

Для стилизации в CMS Drupal используются пользовательские темы. Они предоставляют возможность полностью кастомизировать внешний вид и стиль сайта. Структура пользовательской темы может включать файлы для шаблонов, стилей, изображений, JavaScript-скриптов и других ресурсов.

Для упрощения написания стилей, было решено использовать CSS-препроцессор SCSS, он позволяет использовать переменные, вложенные стили, миксины и другие продвинутое функции, которых нет в обычном CSS. Это сокращает объем кода, повышает его читаемость и облегчает его обслуживание. Пример стилизации представлен на рисунке 3.

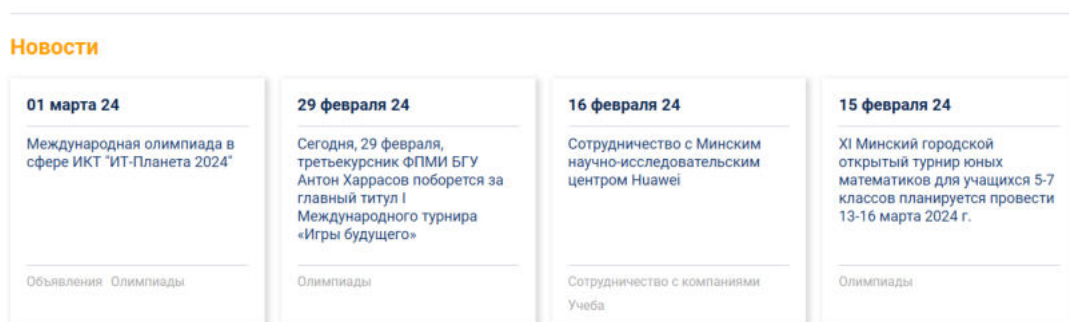


Рис. 3. Блок «Последние новости», стилизованный с помощью пользовательской темы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая версия сайта размещена на ресурсе <https://fpmi.bsu.by>. Она разработана с помощью мощной системы управления содержимым Drupal. Сайт предоставляет администраторам современные средства для размещения различной информации о жизни факультета.

Библиографические ссылки

1. Официальная документация Drupal [Электронный ресурс]. - 2024 URL: https://www.drupal.org/docs/user_guide/en/index.html (дата образования 29.04.2024).

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ «ДОРОГАМИ УЧЁНЫХ» ДЛЯ ПРОЕКТА «ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА БГУ»

И. А. Матюхин

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ivanmatuyhin@gmail.com
Научный руководитель — О. Г. Казанцева, старший преподаватель*

Дальнейшим развитием проекта «Интерактивная карта БГУ» стала разработка модуля «Дорогами учёных». Этот модуль предоставляет информацию пользователям о известных учёных БГУ. Особенностью является то, что на интерактивной карте размещаются метки с указанием локаций, где проживали и работали учёные. Разработка выполнена с использованием современных фреймворков ASP.NET Core и React. Приложение представляет собой клиент-серверное веб-приложение.

Ключевые слова: дорогами учёных; интерактивная карта; ASP.NET Core; React.

ВВЕДЕНИЕ

Модуль «Дорогами учёных» является дальнейшим развитием проекта «Интерактивная карта БГУ» [1]. Он дополняет существующее веб-приложение информацией о знаменитых учёных БГУ. Информация об учёных (биография, фотоматериалы) предоставлена Музеем истории БГУ. На интерактивной карте отображаются метки, с подробным описанием мест, позволяющих проследить за жизненным путем каждого ученого. Работа нацелена на популяризацию истории Белорусского государственного университета среди абитуриентов, белорусских и иностранных студентов, преподавателей и гостей университета, что способствует повышению и поддержанию имиджа университета.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА

Приложение имеет клиент-серверную архитектуру. Серверная часть представлена слоями бизнес-логики, разработанной на ASP.NET Core и базы данных [2]. База данных пополнилась шестью новыми таблицами, что представлено на рисунке 1. Две из которых отвечают за основную информацию по учёным и памятным местам. Остальные четыре таблицы содержат вспомогательную информацию по документам и фотографиям для первых двух.

Клиентская часть приложения задействует стек технологий, предназначенных для запуска приложения из веб-браузера. Помимо JavaScript и библиотеки React для веб-клиента используется библиотека leaflet в совокупности с картографическим проектом OpenStreetMap для создания собственных интерактивных карт, пример экрана на рисунке 2 [3, 4, 5].

Приложение имеет мультязычный интерфейс на 2 языках: русском, английском. Оно также включает в себя редактор зданий и учёных. Доступ к функционалу редактирования данных ограничен посредством авторизации, использующей механизм JWT токенов.

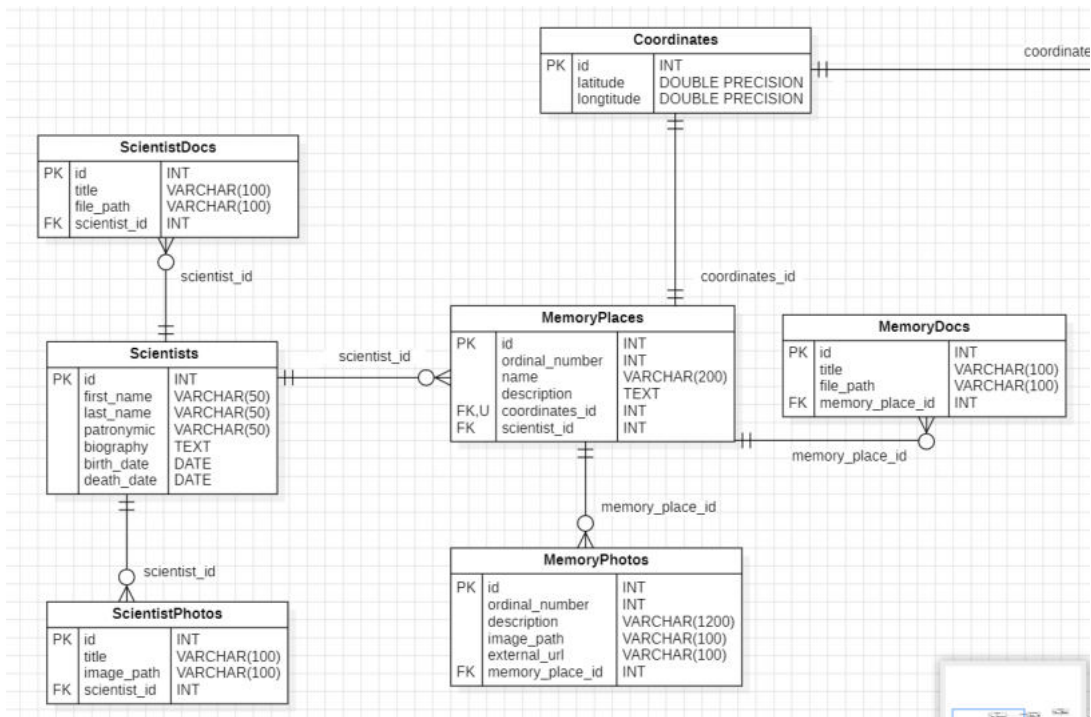


Рис. 1. Схема базы данных

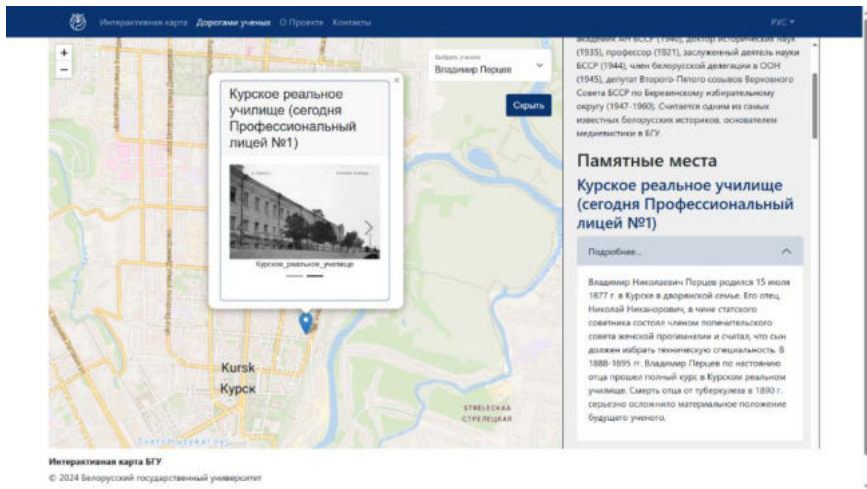


Рис. 2. Страница с учёными

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приложение размещено на ресурсе <https://map.bsu.by>. Оно основано на клиент-серверной архитектуре и разрабатывается не только как веб-клиент,

но и как мобильное приложение под Android. Приложение предоставляет информацию о зданиях и учёных БГУ. Его цель – популяризация истории БГУ среди абитуриентов, белорусских и иностранных студентов, преподавателей и гостей университета, что способствует повышению и поддержанию имиджа университета.

Библиографические ссылки

1. *Модзольский В. В.* Разработка интерактивной карты становления БГУ / В. В. Модзольский, Ю. В. Тамкович, К. Г. Арабчик // 78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета: материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 10–21 мая 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2021. С. 48-51.
2. Техническая документация ASP.NET [Электронный ресурс] // Microsoft. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/docs/> (дата обращения: 30.03.2024)
3. Документация по React [Electronic resource] // React сайт. URL: <https://react.dev/> (дата обращения: 02.04.2024)
4. Leaflet – an open-source JavaScript library for interactive maps [Electronic resource] // URL: <https://leafletjs.com/> (date of access: 03.04.2024)
5. Картографический сервис OpenStreetMap [Электронный ресурс] // OpenStreetMap сайт. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 03.04.2024)

УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ В МИНИМАКСНОЙ ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ТИПА ЛАГРАНЖА

Э. В. Метельская

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, emi-metels@yandex.ru
Научный руководитель — В. В. Альсевич, кандидат физико-математических наук,
профессор*

В статье приведены условия оптимальности для минимаксной задачи типа Лагранжа в классах кусочно-непрерывных и дискретных управлений.

Ключевые слова: минимаксная задача; условия оптимальности.

Задача управления с минимаксным функционалом представляет собой одну из негладких задач в теории управления. В предлагаемой статье указанная задача рассмотрена в контексте класса не только кусочно-непрерывных, но и дискретных управлений. Дискретные управления широко используются в различных областях, таких как робототехника, автоматизация производства, управление технологическими процессами и другие.

Как известно, основным результатом классической теории оптимального управления является принцип максимума Л. С. Понтрягина [1]. Однако, как правило, задачи рассматриваются в классах кусочно-непрерывных или измеримых управляющих воздействий.

В последние годы внимание многих исследователей обращено на оптимизацию непрерывных систем управления в классе дискретных управляющих воздействий. Отличие состоит в том, что их переключение может происходить не в любой момент времени, как у кусочно-непрерывных, а только в заданные моменты. С практической точки зрения такие управляющие воздействия более реальны. Тем более, что при численной реализации на вычислительных устройствах непрерывная задача сводится к дискретной. При этом может искажаться истинный результат.

Для задачи терминального управления обыкновенными системами в классе дискретных управлений в [2] доказано условие оптимальности в виде принципа квазимаксима. Для задачи со специальной правой частью системы управления в [2] доказано условие оптимальности в виде дискретного принципа максимума.

Следует отметить, что исследование задач оптимального управления в классе дискретных управлений было инициировано Р.Ф. Габасовым и Ф.М. Кирилловой. И оба указанные выше результаты были получены при

их непосредственном участии. Впоследствии дискретный принцип максимума был доказан для других задач.

В предлагаемой статье для рассматриваемой минимаксной задачи предварительно получены условия оптимальности в классе кусочно-непрерывных управляющих воздействий, а затем получены результаты в классе дискретных управлений.

Пусть на траекториях n -мерной системы

$$\dot{x} = f(x, u), \quad x(0) = x_0, \quad t \in T = [0, t^*], \quad (1)$$

минимизируется функционал

$$J(u) = \max_{y \in Y} \int_0^{t^*} g(x(t), u(t), y) dt. \quad (2)$$

Здесь x – n -вектор состояния системы, u – r -вектор управления, t – время, y – некоторый m -мерный параметр с областью задания Y , где Y – конечное множество векторов. Предполагается, что функции f , g , $\partial f / \partial x$, $\partial g / \partial x$ непрерывны по своим аргументам, момент t^* фиксирован. В качестве допустимых управлений рассматриваются кусочно-непрерывные r -мерные функции со значениями из заданного множества U :

$$u(t) \in U, \quad t \in T. \quad (3)$$

В дальнейшем предполагается, что все вектора понимаются как вектор-столбцы, ' (штрих) – знак транспонирования.

Сведя сначала задачу (1)–(3) к эквивалентной минимаксной задаче терминального управления и доказав условия оптимальности для этой задачи, которые здесь не приводятся, запишем эти условия для исходной задачи (1)–(3).

Считаем, что в задаче (1)–(3) существует управление $u^0(t)$ и соответствующее семейство решений $x^0(t, y)$, $y \in Y \in \mathbb{R}^m$, системы (1), доставляющие минимум функционалу (2). Введем множество

$$Y^0 = \{y \in Y : \int_0^{t^*} g(x^0(t), u^0(t), y) dt = \max_{\bar{y} \in Y} \int_0^{t^*} g(x^0(t), u^0(t), \bar{y}) dt\}.$$

Очевидно, Y^0 – конечное множество, состоящее из k векторов. Справедливо следующее утверждение.

Теорема 1. *Оптимальное управление $u^0(t)$ в задаче (1)–(3) удовлетворяет при всех $t \in T$ условию*

$$\max_{u \in U} \min_{y \in Y^0} \Delta_u H(x^0(t), \psi^0(t, y), u^0(t), y) = 0,$$

где $H(x, \psi, u, y) = \psi' f(x, u) - g(x, u, y)$, $\Delta_u H(x^0, \psi^0, u^0, y) = H(x^0, \psi^0, u, y) - H(x^0, \psi^0, u^0, y)$, $\psi^0(t, y)$ – решение сопряженной системы

$$\dot{\psi} = -\frac{\partial f'(x^0(t), u^0(t))}{\partial x} \psi + \frac{\partial g(x^0(t), u^0(t), y)}{\partial x}, t \in T, \psi(t^*, y) = 0. \quad (4)$$

Рассмотрим теперь задачу вида (1)–(3) в классе дискретных управлений.

Управляющее воздействие $u(t) \in U$, $t \in T$, называется дискретным (с периодом квантования $h > 0$), если

$$u(t) \equiv u(\tau), t \in [\tau, \tau + h[, \tau \in T_h = \{0, h, 2h, \dots, t^* - h\},$$

где $h = t^* / N$, N – натуральное число.

В отличие от задачи (1)–(3) рассмотрим ее измененную форму. В классе дискретных управляющих воздействий минимизируется функционал

$$J(u) = \max_{y \in Y} \int_0^{t^*} (g_0(x(t)) + d'(x(t), y)u(t))dt \quad (5)$$

на траекториях системы

$$\dot{x} = f_0(x) + B(x)u, x(0) = x_0, t \in T = [0, t^*], \quad (6)$$

при условии (3) на управление, в котором U – выпуклый компакт. В уравнении (6) $f_0(x)$ – n -мерная вектор-функция, $B(x)$ – $(n \times r)$ -матричная функция, в (5) $g_0(x)$ – скалярная функция, $d(x, y)$ – r -мерная вектор-функция.

Для задачи (3), (5), (6) справедливо следующее утверждение.

Теорема 2 (дискретный принцип минимакса). *Оптимальное управление $u^0(t)$, $t \in T$, вместе с соответствующими решениями $x^0(t)$, $\psi^0(t, y)$, $t \in T$, систем (6) и (4), удовлетворяет условию минимакса*

$$\begin{aligned}
& \left(\min_{y \in Y^0} \int_t^{t+h} \left(\psi^{0'}(s, y) B(x^0(s)) - d'(x^0(s), y) \right) ds \right) u^0(t) = \\
& = \max_{u \in U} \left(\min_{y \in Y^0} \int_t^{t+h} \left(\psi^{0'}(s, y) B(x^0(s)) - d'(x^0(s), y) \right) ds \right) u, \quad t \in T_h.
\end{aligned} \tag{7}$$

Заметим, что в уравнении (4) $f(x, u) = f_0(x) + B(x)u$, $g(x, u, y) = g_0(x) + d'(x, y)u$.

Поскольку Y^0 состоит из конечного числа векторов $y^{(i)}$, $i=1, \dots, k$, то существует набор чисел $\alpha_i \geq 0, i = \overline{1, k}$, $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$, таких, что условие (7) равносильно соотношению

$$\begin{aligned}
& \left(\sum_{i=1}^k \alpha_i \int_t^{t+h} \left(\psi^{0'}(s, y^{(i)}) B(x^0(s)) - d'(x^0(s), y^{(i)}) \right) ds \right) u^0(t) = \\
& = \max_{u \in U} \left(\sum_{i=1}^k \alpha_i \int_t^{t+h} \left(\psi^{0'}(s, y^{(i)}) B(x^0(s)) - d'(x^0(s), y^{(i)}) \right) ds \right) u, \quad t \in T_h.
\end{aligned}$$

Библиографические ссылки

1. Понтрягин Л. С. [и др.] Математическая теория оптимальных процессов. М.: Физматлит, 1983.
2. Габасов Р. [и др.] Методы оптимизации: учеб. пособие. Минск: Четыре четверти, 2011.

ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ПРОСТРАНСТВЕ МП-ОЦЕНОК КОЭФФИЦИЕНТОВ АВТОРЕГРЕССИИ

Г. В. Микулич

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, aragorniguga@gmail.com
Научный руководитель — Е. Е. Жук, доктор физико-математических наук,
профессор

Рассматривается проблема статистической классификации реализаций стационарных в широком смысле временных рядов, различающихся по классам значениями коэффициентов авторегрессии. Для данной проблемы приводится алгоритм дискриминантного анализа и оценка его эффективности.

Ключевые слова: авторегрессия; дискриминантный анализ; оценка максимального правдоподобия.

Пусть наблюдается выборка $\tilde{X}^n = \{X_1, \dots, X_n\}$ размера n , состоящая из наблюдений из $L \geq 2$ классов $\{\Omega_1, \dots, \Omega_L\}$. Наблюдение X_t принадлежит к классу со случайным индексом $d_t^0 \in S$, $S = \{1, 2, \dots, L\}$ ($t = \overline{1, n}$).

При фиксированном значении индекса $d_t^0 = i$ ($i \in S$) наблюдение $X_t = (x_{t1}, \dots, x_{tT_t})' \in R^{T_t}$ является реализацией длины T_t временного ряда авторегрессии порядка $p \geq 1$ (АР(p)):

$$x_t^i + \theta_{i1}^0 x_{t-1}^i + \dots + \theta_{ip}^0 x_{t-p}^i = u_t^i, l \in Z = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}, \quad (1)$$

где $\theta_i^0 = (\theta_{i1}^0, \dots, \theta_{ip}^0)' \in R^p$ — вектор коэффициентов авторегрессии для i -го класса; $\{u_t^i\}_{t=-\infty}^{+\infty}$ — независимые в совокупности нормальные (гауссовские) случайные величины:

$$E\{u_t^i\} = 0, D\{u_t^i\} = E\{(u_t^i)^2\} = \sigma^2, l \in Z, i \in S. \quad (2)$$

Также классы $\{\Omega_i\}_{i \in S}$ характеризуются априорными вероятностями:

$$\pi_i^0 = P\{d_t^0 = i\} > 0, i \in S \quad (\pi_1^0 + \dots + \pi_L^0 = 1). \quad (3)$$

Таким образом, классы $\{\Omega_i\}_{i \in S}$ однозначно определяются значениями $\{\pi_i^0, \theta_i^0\}_{i \in S}$ и дисперсией σ^2 . Предполагаем относительно значений $\{\theta_i^0\}_{i \in S}$:

$$z: z^p + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^0 z^{p-j} = 0, |z| < 1, i \in S. \quad (4)$$

Задача дискриминантного анализа состоит в следующем [1]: при известном векторе истинной классификации $D^0 = (d_1^0, \dots, d_n^0)' \in S^n$ построить оценки $\hat{d}_{n+1}, \hat{d}_{n+2} \in S$ для индексов классов, к которым принадлежат вновь поступающие наблюдения X_{n+1}, X_{n+2} по исходной выборке $\tilde{X}^n = \{X_1, \dots, X_n\}$.

Преобразуем исходную выборку $\tilde{X}^n = \{X_1, \dots, X_n\}$ в выборку $\tilde{Y}^n = \{Y_1, \dots, Y_n\}$, где $Y_t \in R^p$ ($t = \overline{1, n}$) – оценка максимального правдоподобия для p -вектора коэффициентов авторегрессии $\theta_{d_i^0}^o \in R^p$, построенная по наблюдению $X_t \in R^{T_t}$:

$$\{Y_t, \hat{\sigma}_t\} = \arg \max_{\{\bar{\theta}, \sigma\}} \ln p(X_t; \bar{\theta}, \sigma); \quad (5)$$

при фиксированном индексе класса $d_i^0 = i$ ($i \in S$):

$$p(X_t; \theta_i^0, \sigma) = n_p(X_t^p | O_p, R_p(\theta_i^0, \sigma)) (2\pi)^{-(T_t-p)/2} \sigma^{-(T_t-p)} \times \\ \times \exp \left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{l=p+1}^{T_t} \left(x_{tl} + \theta_{il}^0 x_{t, l-1} + \dots + \theta_{ip}^0 x_{t, l-p} \right)^2 \right),$$

где O_p – нулевой p -вектор;

$$X_t = (x_{t1}, \dots, x_{t, T_t})' = ((X_t^p)', x_{t, p+1}, \dots, x_{t, T_t})' \in R^{T_t}; \quad X_t^p = (x_{t1}, \dots, x_{tp})' \in R^p;$$

$n_p(y | \mu, \Sigma) = (2\pi)^{-p/2} (\det(\Sigma))^{-1/2} \exp(-\frac{1}{2}(y - \mu)' \Sigma^{-1}(y - \mu))$ – функция плотности p -мерного ($y \in R^p$) нормального распределения $N_p(\mu, \Sigma)$ с вектором средних $\mu \in R^p$ и ковариационной ($p \times p$)-матрицей Σ ($\det(\Sigma) \neq 0$);

$$R_p(\theta_i^0, \sigma) = \left(\rho_{|k-l|}(\theta_i^0, \sigma) \right)_{k,l=1}^p = E\{X_t^p (X_t^p)' | d^0 = i\}; \quad (6)$$

невыврожденная [2] ковариационная ($p \times p$)-матрица сформирована автоковариациями $\rho_k(\theta_i^0, \sigma) = E\{x_{ty} x_{t, j+k} | d^0 = i\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, определяемыми из уравнений Юла-Уокера [3]:

$$\sum_{j=1}^p \theta_{ij}^0 \rho_j(\theta_i^0, \sigma) + \rho_0(\theta_i^0, \sigma) = \sigma^2; \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^p \theta_{ij}^0 \rho_{|k-j|}(\theta_i^0, \sigma) + \rho_k(\theta_i^0, \sigma) = 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

При увеличении числа наблюдений:

$$T_t \rightarrow +\infty, \quad t = \overline{1, n},$$

оценки $\{Y_t\}_{t=1}^n$ могут быть заменены на среднеквадратичные:

$$Y_t = - \left(\sum_{l=p+1}^{T_t} X_{tl}^p (X_{tl}^p)' \right)^{-1} \sum_{l=p+1}^{T_t} x_{tl} X_{tl}^p,$$

$$X_{tl}^p = (x_{t,l-1}, \dots, x_{t,l-p})' \in R^p, \quad t = \overline{1, n},$$

или на оценки Юла-Уокера:

$$Y_t = -(\hat{R}_t^p)^{-1} \hat{r}_t^p, \quad \hat{R}_t^p = (\hat{\rho}_{|k-l|}^t)_{k,l=1}^p, \quad \hat{r}_t^p = (\hat{\rho}_1^t, \dots, \hat{\rho}_p^t)', \quad t = \overline{1, n},$$

где $\hat{\rho}_j^p = \sum_{s=1}^{T_t-j} x_{ts} x_{t,s+j} / (T_t - j)$ — оценка для автоковариации $\rho_j(\theta_{d_t^0}^0, \sigma)$, $j = 0, 1, \dots, p$, построенная по реализации X_t длины T_t .

Пусть в условиях модели (1)–(3) выполняется условие стационарности (4). Тогда при фиксированном векторе $D^0 = (d_1^0, \dots, d_n^0)' \in S^n$ оценки максимального правдоподобия $Y_1, \dots, Y_n$ из (5) являются состоятельными оценками соответствующих коэффициентов авторегрессии ($t = \overline{1, n}$):

$$Y_t \xrightarrow{P} \theta_{d_t^0}^0, \quad T_t \rightarrow +\infty,$$

и имеют асимптотически нормальное распределение:

$$\sqrt{T_t} (Y_t - \theta_{d_t^0}^0) \sim N_p(O_p, \sigma^2 R_p^{-1}(\theta_{d_t^0}^0, \sigma)), \quad T_t \rightarrow +\infty,$$

где ковариационные матрицы $\{R_p(\theta_i^0, \sigma)\}_{i \in S}$ из (6), (7).

Для построения классификации вновь поступающих наблюдений можно использовать следующий алгоритм дискриминантного анализа:

1. По преобразованной выборке $\tilde{Y}^n = \{Y_1, \dots, Y_n\}$ и вектору истинной классификации $D^0 = (d_1^0, \dots, d_n^0)' \in S^n$ оцениваются «центры» классов $\{\theta_i^0\}_{i \in S}$:

- 2.

$$\hat{\theta}_i = \left(\sum_{t=1}^n \delta_{d_t^0, i} \right)^{-1} \sum_{t=1}^n \delta_{d_t^0, i} Y_t, \quad i \in S, \quad (8)$$

где $\delta_{ij} = \{1, j = i; 0, j \neq i\}$ – символ Кронекера.

3. Классифицируется новое наблюдение Y (оценка, построенная по $X \in \{X_{n+1}, X_{n+2}, \dots\}$):

- 4.

$$\hat{d} = d(Y; \hat{\theta}) = \arg \min_{i \in S} |Y - \hat{\theta}_i|. \quad (9)$$

Исследуем теперь эффективность процедуры (8), (9). Алгоритм построен на следующем решающем правиле (РП):

$$d = d(Y; \theta^0) = \arg \min_{i \in S} |Y - \theta_i^0|, \quad Y \in R^p, \quad (10)$$

и на подстановочном РП $\hat{d}_t = d(Y_t; \hat{\theta}) = \arg \min_{i \in S} |Y_t - \hat{\theta}_i|$, $t = 1, n, n+1, n+2, \dots$, полученном из РП (10) подстановкой статистической оценки $\hat{\theta} = (\hat{\theta}_1', \dots, \hat{\theta}_L')'$ вместо неизвестного вектора $\theta^0 \in R^{Lp}$ коэффициентов авторегрессии $\{\theta_i^0\}_{i \in S}$. Оценим риск (вероятность ошибочной классификации) РП (10):

$$r_T = P\{d(Y; \theta^0) \neq d^0\},$$

при увеличении числа наблюдений ($T \rightarrow +\infty$). Это можно сделать, используя следующие соотношения:

$$r_T / r_T^* \rightarrow 1, \quad T \rightarrow +\infty;$$

где $U(\omega) = \{1, \text{if } \omega \geq 0; 0, \text{if } \omega < 0\}$ – единичная функция.

Таким образом, для оценки риска может использоваться значение r_T^* . В случае двух классов ($L=2$):

$$r_T^* = \pi_1^0 \Phi \left(-\sqrt{T} \frac{|\theta_1^0 - \theta_2^0|^2}{2\sigma\Delta(\theta_1^0, \theta_2^0)} \right) + \pi_2^0 \Phi \left(-\sqrt{T} \frac{|\theta_1^0 - \theta_2^0|^2}{2\sigma\Delta(\theta_2^0, \theta_1^0)} \right),$$

где $\Delta(\theta_i^0, \theta_j^0) = \sqrt{(\theta_i^0 - \theta_j^0)' R_p^{-1}(\theta_i^0, \sigma)(\theta_i^0 - \theta_j^0)}$; $\Phi(\cdot)$ – функция стандартного нормального распределения $N_1(0,1)$.

Библиографические ссылки

1. Харин Ю. С., Зуев Н. М., Жук Е. Е. Теория вероятностей, математическая и прикладная статистика: учебник. – Мн. : БГУ, 2011. – 463 с.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1 М., 1974.
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. М. : Мир, 1976.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА МЕСТНОСТИ НА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОМ ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВАРИАЦИОННЫХ МАТРИЦ

А. А. Недзведь

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, artiom.nedzved@gmail.com
Научный руководитель — В. В. Казаченок, доктор педагогических наук, профессор*

В данной статье проведено исследование спутниковых мультиспектральных изображений и спектральных данных местности, а также представлен метод определения принадлежности изображений к классам местности с использованием семантического анализа вектора собственных значений ковариационной матрицы спутникового мультиспектрального изображения.

Ключевые слова: мультиспектральные изображения; ковариация; вектор; семантическая разность; Word2vec.

Мультиспектральное изображение включает использование различных полос электромагнитного спектра, выходящих за пределы видимого диапазона (RGB). Это могут быть инфракрасные, ультрафиолетовые и многие другие излучения или их комбинации, что позволяет захватывать сразу несколько диапазонов длин волн для каждого пикселя изображения. Мультиспектральное дистанционное зондирование использует изображения в видимом, ближнем и коротковолновом инфракрасном диапазонах, захватывая данные в широких спектральных диапазонах. Различные поверхности отражают и поглощают лучи по-разному, что позволяет отличать их по спектральным характеристикам на спутниковых изображениях.

Одним из приоритетных направлений обработки мультиспектральный изображений является исследование, направленное на повышение эффективности обработки и декодирования спектральных данных дистанционного зондирования. Это требует разработки новых и улучшения существующих методов и алгоритмов анализа информации, а также специальных математических, алгоритмических и программных средств для обработки данных и систем принятия решений. Основные проблемы включают недостаточную точность и надежность существующих алгоритмов, несоответствие алгоритмов кластеризации качественным требованиям и низкую эффективность новых алгоритмов по сравнению с улучшенными существующими методами. Кроме того, измерение степени сходства объектов наблюдения намного проще, чем формирование описаний признаков.

Кроме того, системы дистанционного зондирования постоянно совершенствуются, обеспечивая более высокое спектральное и пространственное разрешение. Современные системы позволяют съемку в сотнях спектральных диапазонов, а разрешение изображений улучшилось с 80 метров на пиксель в 70-х годах до 1 метра и лучше в настоящее время. Старые методики не извлекают всю полезную информацию из таких высококачественных изображений, что требует новых методов интерпретации, учитывающих преимущества современных мультиспектральных данных. Обычно цветные спутниковые изображения формируются на основе поглощения или отражения радиационных волн спектра, но разложение по координатам цветовых систем не позволяет получить линейную зависимость между концентрацией красителя и поглощением в полихроматических условиях, что усложняет точное определение спектральных значений для мониторинга поверхности Земли.

В [1] предлагается набор мультиспектральных изображений, полученных с помощью спутникового обзора Sentinel-2. Изображения спутника Sentinel-2 общедоступны и бесплатно доступны благодаря программе наблюдения за Землей Copernicus. В [2] представлен новый набор данных, основанный на мультиспектральных изображениях спутника Sentinel-2, охватывающий 13 спектральных полос и состоящий из 10 классов, включающих в себя общее количество 27 000 помеченных и геореференцированных изображений. Пример изображения класса Industrial с отображенными спектральными полосами Красный, Зеленый, Синий можно увидеть на рисунке 1. Из них мы выбрали 8 наиболее информативных полос.

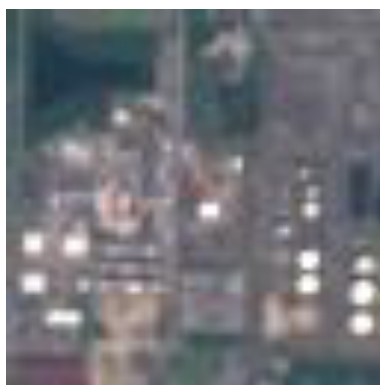


Рис. 1. Industrial-1011 в RGB отображении

Для классификации изображений по 8 спектральным каналам предлагается использовать алгоритм вычисления ковариационной матрицы, где каждая ячейка i,j будет обозначать ковариацию i -го спектрального слоя и j -го слоя, как показано на рисунке 2.

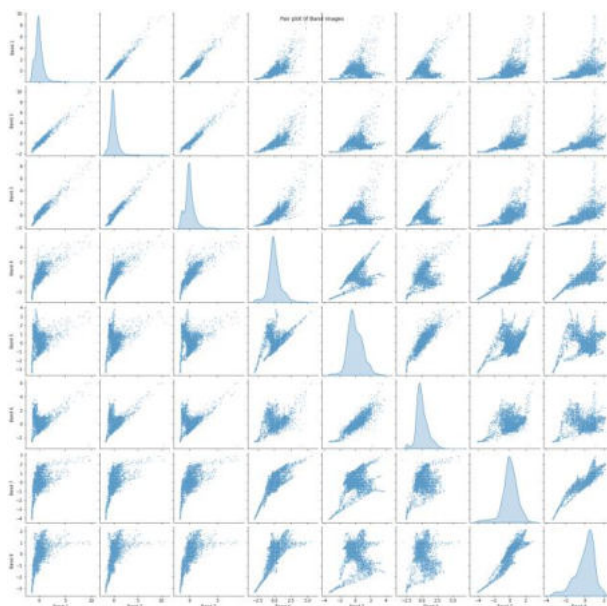


Рис. 2. Визуализация ковариационной матрицы изображения с 8-ю спектральными каналами

Метод главных компонент решает задачи приближения данных линейными многообразиями меньшей размерности, максимизации разброса (дисперсии выборки) в ортогональной проекции и максимизации среднеквадратичного расстояния между парами точек. Он включает вычисление собственных векторов и значений ковариационной матрицы данных, после чего проекция строится так, что направление максимального разброса совпадает с собственным вектором с максимальным собственным значением. В случае мультиспектральных изображений снижение размерности данных не является обязательным шагом; вместо этого можно работать с наиболее информативной проекцией, полученной из алгоритма. Различные изображения одного и того же класса будут иметь почти идентичные спектральные соотношения данных. Действительно, для изображений класса Forest частоты 560 нм и 842 нм будут преобладать, в то время как для класса SeaLake 490 нм и 945 нм. Следовательно, поскольку каждая ячейка ковариационной матрицы обозначает либо дисперсию определенного слоя мультиспектрального изображения, если эта ячейка лежит на диагонали, либо ковариацию двух конкретных слоев, если она не лежит на диагонали, ковариационные матрицы для каждого класса будут иметь одинаковые закономерности доминирующих взаимосвязей.

Таким образом, изображение преобразуется в вектор коэффициентов ковариации, где каждая ячейка уникальным образом определяет ковариацию двух спектральных слоев. Следовательно, если для каждого класса мы

выберем определяющие векторы, то по разнице между векторами векторного пространства размерностью n^2 , где n - количество спектральных полос на изображении, можно предсказать, к какому классу принадлежит изображение по семантической разнице векторов.

На основе результатов расчета для изображения Industrial-1011 квадратичное расстояние между вектором изображения и вектором класса Industrial составляет 0.482, для класса Forest - 0.662, и для класса SeaLake - 1.839. Для ясности расстояния округляются до третьего десятичного знака. Вероятность принадлежности изображения к классу Industrial составляет 84%, к классу Forest - 78%, к классу SeaLake - 38%. Таким образом, мы можем сделать вывод, что изображение принадлежит классу Industrial, но стоит отметить наличие местной растительности на изображении.

Библиографические ссылки

1. *Patrick Helber [et al.]*. Eurosat: a new dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. // IEEE Journal on Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2019.
2. *Patrick Helber, Benjamin Bischke, Andreas Dengel*. Introducing EuroSAT: a new dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. // 2018 IEEE International Symposium on Geosciences and Remote Sensing.
3. *G. Csurka, F. Perronnin*. An efficient approach to semantic segmentation // IJCV 95, 2011.
4. *J. Verbeek, B. Triggs*. Region classification with markov field aspects models // CVPR, 2007.
5. *Santosh Kumar R*. Principal Component Analysis: Drilling Insight through Image Visualization // 2020.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

А. Д. Петько

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, frp.petko@bsu.by*

Научный руководитель — Е. С. Чеб, кандидат физико-математических наук, доцент

Данная работа исследует применимость вейвлет-преобразований как инструмента для работы с временными рядами. Исследуется возможность применения вейвлетов для очистки временного ряда от шума и предсказания будущих значений временного ряда.

Дадзеная праца даследуе дастасавальнасць вейвлет-пераўтварэнняў як прылады для працы з часавымі шэрагамі. Даследуецца магчымасць ужывання вейвлетаў для ачысткі часовага шэрагу ад шуму і прадказання будучых значэнняў часовага шэрагу.

Ключевые слова: дискретное вейвлет-преобразование, кратномасштабный анализ, нейронные сети, LSTM, WNN.

В мире обработки сигналов и анализа данных возникает необходимость в методах, способных обеспечить эффективную и точную локализацию как во временной, так и в частотной областях. Преобразование Фурье, несомненно, является мощным инструментом для анализа сигналов, но его недостатком является невозможность точной локализации сигналов во времени из-за неразрешимости во временной области. Эта проблема, известная как “размытость” в преобразовании Фурье, приводит к потребности в разработке методов, которые могут обеспечить более точную частотно-временную локализацию.

Принцип Гейзенберга формализует эту проблему, утверждая, что нельзя одновременно достичь точной локализации во времени и частоте для сигнала. В преобразовании Фурье точность локализации во времени обратно пропорциональна точности в частотной области, и наоборот. Это ограничение стимулировало развитие альтернативных методов анализа, включая вейвлет-анализ.

Вейвлет-анализ представляет собой метод, который позволяет анализировать сигналы на различных временных и частотных масштабах с высокой точностью локализации. Он использует вейвлеты -- наборы функций, которые могут быть масштабированы и сдвинуты, чтобы анализировать сигналы с различными временными и частотными характеристиками. Применение вейвлет-анализа вместо преобразования Фурье позволяет более точно определять временные характеристики сигнала, сохраняя при этом хорошее разрешение в частотной области.

Вейвлет функция должна иметь среднее нуль, а также единичную норму.

Функцию $\psi(x)$ называют материнским вейвлетом, а функции вида $\psi_{a,b}(x) = a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m}t - nb_0)$, $m, n \in \mathbb{Z}, a_0 > 1, b_0 \neq 0$ — дочерними вейвлетами.

Вейвлеты можно успешно использовать для очистки сигнала от шума, так как разложение по вейвлетному базису позволяет убрать самые высокочастотные компоненты временного ряда, например, имеющие периодичность в 2 отсчета. Для этого используется алгоритм пороговой обработки, состоящий из трех шагов

1. Вычисление дискретного вейвлет преобразования для зашумленных данных.
2. Пороговая обработка полученных коэффициентов.
3. Вычисление обратного дискретного преобразования вейвлета для получения очищенного от шума сигнала.

При проведении эксперимента по очистке временного ряда от шума использовался искусственно зашумленный временной ряд индекса S&P500, в качестве метрики для оценки очистки использовалось отношение пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR). Результаты очистки при различных порогах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение метрики при различных порогах очистки

Порог	PSNR
5	47.8
10	47.1
15	46.5
20	46
25	45.5
30	45.1
35	44.7
40	44.4
28	48.7

В таблице жирным выделен универсальный порог, который лучше всего подходит для очистки временных рядов при условии наличия в них белого шума.

Немаловажной задачей в области анализа временных рядов является предсказание нескольких будущих значений временного ряда, применяемая, например, в метеорологии, транспорте, финансах.

В данной работе сравнивается качество предсказания временного ряда классических нейронных сетей и некоторых гибридов, основанных как на классических методах, так и на инструментах вейвлет-анализа.

Одной из чисто вейвлетных моделей является вейвлетная нейронная сеть (WNN), которая представляет собой трехслойную нейронную сеть с одним скрытым слоем, математическая модель которой задается по формуле

$$\bar{f}(x) = b + \sum_{j=1}^{\lambda} w_j^{[2]} \prod_{i=1}^m \psi \left(\frac{x_i - w_{(\xi)ij}^{[1]}}{w_{(\varsigma)ij}^{[1]}} \right) + \sum_{i=1}^m w_i^{[0]} x_i,$$

Для сравнения выбрана классическая рекуррентная нейронная сеть длинной краткосрочной памяти (LSTM), выходы которой подаются на вход линейному слою для трансляции в нужное по размерности пространство, а также две гибридные модели, одна из которых делит входной временной ряд на несколько детализирующих и аппроксимирующий коэффициенты и предсказывает каждую из этих компонент (LSTM + MRA), а другая — LSTM модель, однако выход её блока подается на вход вейвлетной нейронной сети WNN.

В качестве метрик для сравнения моделей были выбраны корень среднеквадратичного отклонения (RMSE), среднее абсолютное отклонение в процентах (MAPE). Данные были поделены на обучающую и тестовую выборку в пропорциях 4 : 1. Для обучения произведена минимаксная нормализация входных данных в отрезок [0; 1]. Длина последовательности, используемая в качестве входа в нейронную сеть, — 10, что соответствует данным за предыдущие 10 дней.

Результаты работы моделей на тестовой выборке продемонстрированы в табл. 2.

Таблица 2

Результаты моделей для предсказания

Модель	Количество параметров	MAPE	RMSE
WNN	2500	1.14	59.89
LSTM	37000	1.25	64.66
LSTM + MRA	1110000	0.98	54.02
LSTM + WNN	35000	1.01	53.79

Предсказания двух лучших моделей показаны на рисунке.



Предсказания LSTM+MRA и LSTM+WNN моделей

Библиографические ссылки

1. Кулаичев А. П. Критика вейвлет анализа ЭЭГ / А. П. Кулаичев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. Изд. 12, № 1. с. 47-57.
2. Vogl, M. Forecasting performance of wavelet neural networks and other neural network topologies: A comparative study based on financial market data sets / M. Vogl, P. G. Rotzel, S. Homes // Machine Learning with Applications. 2022. Vol.8. P. 100302.
3. Егорова, Е. В. Методы повышения эффективности вейвлет-преобразований при обработке, сжатии и восстановления радиотехнических сигналов. / Е. В. Егорова, М. Х. Аксаятов, А. Н. Рыбаков. — Тамбов: Консалтинговая компания Юком. 2019. 84 с.
4. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.

5. Кандидов, В. П. Дискретное преобразование Фурье. / В. П. Кандидов и др. — Москва: физический факультет МГУ. 2019. 88 с.
6. Mallat S. G. Multiresolution Approximations and Wavelet of orthonormal Bases of $L_2(\mathbb{R})$ / S. G. Mallat // Transactions of the American Mathematical Society. 1989. Vol. 315, № 1. P. 69-87.
7. Mallat, S. G. A wavelet tour of signal processing / S. G. Mallat. — Academic Press, 1999. Vol 2. 629p.
8. Percival, D. B. Wavelet Methods for Time Series Analysis / D.B. Percival, A.T. Walden. — Cambridge University Press, 2000. 629 p.
9. Vettirli, M. Wavelets and Filter Banks: Theory and Design / M. Vettirli // IEEE Transactions on Signal Processing. 1992. Vol. 40, №9. P. 2207-2232
10. Torrence, C. A Practical Guide to Wavelet Analysis / C. Torrence, G.P. Compo // Bulletin of the American Meteorological Society. 1998. Vol. 79, № 1. P. 61-78.
11. Смоленцев, Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев — Москва: Издательство «ДМК Пресс», 2014. 628 с.

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДВУХБАШЕННОЙ АРХИТЕКТРЫ

А. В. Сергеев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, akvise@gmail.com
Научный руководитель – В. И. Малюгин, доктор экономических наук, доцент*

Данная статья посвящена разработке модели персонализированной рекомендательной системы с двухбашенной архитектурой на основе контентных признаков.

Ключевые слова: рекомендательные системы, персонализированные рекомендации, двухбашенная архитектура, машинное обучение, глубокое обучение, PyTorch.

1. Введение в рекомендательные системы, цели исследования

Рекомендательные системы стали ключевым элементом в сфере информационных технологий, изменяя способы взаимодействия пользователей с контентом. Их развитие началось с конкурса Netflix в 2006 году, где за улучшение алгоритма рекомендаций был предложен приз в миллион долларов. Это событие стимулировало появление новых методов, в частности, матричной факторизации и алгоритмов SVD++. С ростом интернета и объемов информации, рекомендательные системы нашли применение в различных областях, таких как электронная коммерция, социальные сети и стриминговые сервисы, что способствовало бурному развитию технологий в этой сфере.

В работе решаются следующие основные задачи:

1. Подготовка обзора по принципам организации и методам построения рекомендательных систем для моделей с двухбашенной архитектурой.
2. Разработка общей схемы алгоритма, реализующего модель рекомендательной системы на основе двухбашенной архитектуры с применением нейронных сетей.
3. Проведение экспериментальных исследований на реальных данных предложенной модели для оптимизации и актуализации параметров нейронной сети.
4. Разработка программы для обучения нейронной сети, реализующей рекомендательную систему с двухбашенной архитектурой.

2. Описание архитектуры двухбашенной модели

В моей работе рассматривается реализация двухбашенной модели с использованием библиотеки PyTorch. Модель включает две независимые нейронные сети: одна обрабатывает данные пользователей, другая — данные элементов (например, фильмов). Каждая сеть преобразует входные данные в

эмбединги (векторное представление чего-либо) фиксированного размера, которые затем объединяются для предсказания рейтинга, который пользователь может поставить элементу.

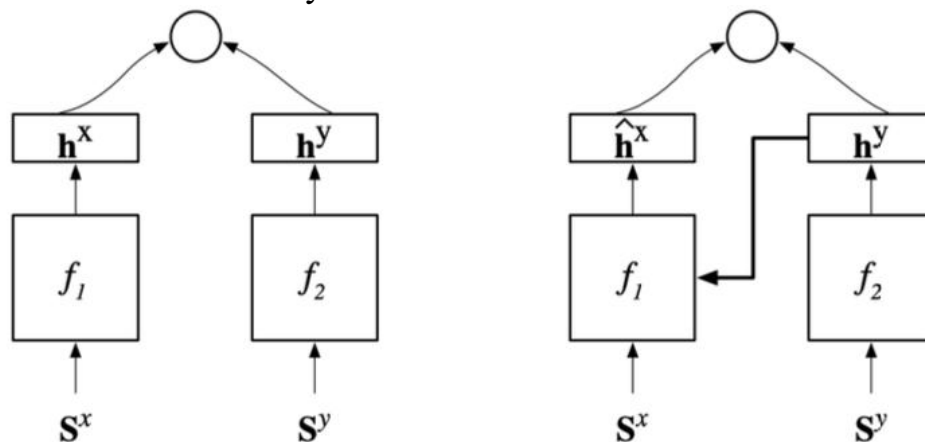


Рис. 1. Пример архитектура DSSM

Класс UserTower создает эмбединги пользователей и обрабатывает их через три полносвязных слоя с функцией активации ReLU, что позволяет уловить сложные зависимости в данных. Аналогично, класс ItemTower преобразует идентификаторы элементов в эмбединги и пропускает их через три слоя с ReLU, кодируя значимые характеристики элементов. Объединенная модель извлекает эмбединги пользователей и элементов, вычисляя их скалярное произведение для предсказания рейтинга. Считаем функцию потерь, которая оценивает разницу между предсказанными и реальными рейтингами, а оптимизатор Adam обеспечивает эффективное обновление весов модели, улучшая точность предсказаний.

3. Подбор гиперпараметров

Гиперпараметры — это характеристики модели, которые фиксируются до начала обучения, такие как глубина решающего дерева, значение силы регуляризации в линейной модели и learning rate для градиентного спуска. В отличие от параметров модели, которые настраиваются в процессе обучения, гиперпараметры задаются разработчиком заранее. Optuna — это фреймворк для автоматизированного поиска оптимальных гиперпараметров для моделей машинного обучения, который подбирает эти параметры методом проб и ошибок.

Ключевые особенности Optuna:

1. *Настраиваемое пространство поиска гиперпараметров:* Разработчик может самостоятельно задать пространство для поиска гиперпараметров, используя базовый синтаксис Python (циклы, условия).

2. *Алгоритмы SoTA для выбора гиперпараметров и ранней остановки:* Optuna предоставляет различные алгоритмы для семплирования гиперпараметров (samplers) и прунинга (pruners), позволяя разработчику выбрать дефолтный алгоритм, использовать конкретный или создать свой собственный.
3. *Легкость распараллеливания процесса поиска гиперпараметров:* Optuna поддерживает параллельный поиск гиперпараметров и может быть дополнена dashboard для визуализации обучения в реальном времени.

4. Обучение модели

Оптимизация гиперпараметров позволила выявить, что наиболее значимыми параметрами для улучшения производительности модели оказались размер эмбедингов и скорость обучения. Наилучшие результаты были достигнуты при следующих значениях гиперпараметров:

1. Размер эмбедингов: 32.
2. Количество нейронов в скрытых слоях: 64.
3. Скорость обучения: 0.001.

После завершения обучения модели с двухбашенной архитектурой и логирования метрик в WandB, я приступил к оценке модели на проверочной выборке. Для этого я загрузил сохраненную модель и прогнал проверочные данные через нее. Метрика NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain) измеряет качество ранжирования элементов по их релевантности. Она широко используется в задачах рекомендательных систем, где важно правильно упорядочить рекомендации для пользователя.

Метрика NDCG вычисляется путем суммирования релевантностей элементов с учетом их позиции в ранжированном списке и применения дисконтирования. В данном случае, метрика NDCG@10 означает, что мы оцениваем качество ранжирования для первых 10 рекомендаций за сессию пользователя.

Финальные метрики были получены после нескольких итераций улучшения модели. Была выбрана модель, которая показывала наилучшую производительность в ранжировании рекомендаций по метрике NDCG@10. Эти финальные метрики отражали качество и эффективность модели в решении задачи рекомендации.

В работе [7] сравнили лучшую версию DSSM (строка 12) с тремя наборами базовых моделей. Первый набор включает методы лексического сопоставления, такие как TF-IDF (строка 1) и BM25 (строка 2). Второй набор представлен моделью перевода слов (WTM в строке 3), предназначенной для решения проблемы несоответствия языка запроса и документа

путем изучения лексического соответствия между словами запроса и документа. Третий набор включает современные латентные семантические модели, изучаемые на документах либо в неконтролируемом режиме (LSA, PLSA, DAE, строки 4-6), либо в контролируемом режиме (BLTM-PR, DPM, строки 7-8). Для сопоставимости результатов мы переопределили эти модели, обучив LSA и DPM с использованием словаря из 40 тысяч слов, а остальные модели — с использованием словаря из 500 тысяч слов. Полученные результаты анализа для различных метрик представлены в таблице на рис. 12

#	Models	NDCG@1	NDCG@3	NDCG@10
1	TF-IDF	0.319	0.382	0.462
2	BM25	0.308	0.373	0.455
3	WTM	0.332	0.400	0.478
4	LSA	0.298	0.372	0.455
5	PLSA	0.295	0.371	0.456
6	DAE	0.310	0.377	0.459
7	BLTM-PR	0.337	0.403	0.480
8	DPM	0.329	0.401	0.479
9	DNN	0.342	0.410	0.486
10	L-WH linear	0.357	0.422	0.495
11	L-WH non-linear	0.357	0.421	0.494
12	L-WH DNN	0.362	0.425	0.498

Рис. 2. Результаты анализа для различных метрик

Заключение

В работе освещаются различные архитектуры рекомендательных систем, включая алгоритмы с основным вниманием на двухбашенной архитектуре. Анализируются достоинства и недостатки этой архитектуры, а также охватываются эксперименты, которые включают весь процесс построения рекомендательной системы от предобработки данных до обучения модели и её оптимизации по гиперпараметрам. В результате был выбран окончательный вариант модели, продемонстрировавший наилучшее качество среди других моделей.

Библиографические ссылки

1. Koren Y. Matrix factorization techniques for recommender systems / Y. Koren, R. Bell, C. Volinsky // Computer. No42. 2009. P. 30-37.

2. Sarwar B. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms / B. Sarwar [et al.] // Proceedings of the 10th International Conference on World Wide Web. 2001. P. 285-295.
3. Herlocker J. L. Evaluating collaborative filtering recommender systems / J. L. Herlocker [et al.] // ACM Transactions on Information Systems. No 22. 2004. P. 5-53.
4. Kumar, V. Deep Neural Architecture for News Recommendation [Electronic resource] - Mode of access: https://ceur-ws.org/Vol-1866/paper_85.pdf. - Date of access: 23.04.2024
5. Adomavicius, G. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions / G. Adomavicius, A. Tuzhilin // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. No 17. 2005. P. 734- 749.
6. Zhang Y. Deep learning for recommender systems: A rigorous survey. arXiv preprint arXiv:1707.07435. 2016.
7. Huang P. Learning Deep Structured Semantic Models for Web Search using Click-through Data [Electronic resource] - Mode of access: https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/cikm2013_DSSM_fullversion.pdf. - Date of access: 2013

МОБИЛЬНЫЙ КЛИЕНТ ПРИЛОЖЕНИЯ «ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА БГУ»

И.С. Сергиенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, serhiyenkailya@gmail.com
Научный руководитель — О. Г. Казанцева, старший преподаватель*

Разработка мобильного приложения «Интерактивная карта БГУ» направлена на интеграцию современных технологий разработки в образовательный процесс. Приложение позволяет пользователям визуализировать и изучать исторически значимые места Белорусского государственного университета, а также места, связанные с деятельностью знаменитых учёных БГУ, связанных с университетом, обеспечивая доступ к детальной информации в реальном времени.

Ключевые слова: интерактивная карта; дорогами учёных; мобильная разработка; Android; Kotlin; Retrofit, RoomDB, Kotlin Coroutines, Koin, OpenStreetMap.

ВВЕДЕНИЕ

Мобильные технологии играют ключевую роль в современном образовании, предоставляя инструменты для удобного доступа к информационным ресурсам. Проект «Интерактивная карта БГУ» разрабатывается как часть этой тенденции, с целью предоставления студентам, преподавателям, гостям университета и другим заинтересованным лицам удобный инструмент для знакомства с университетом и его историей посредством интерактивной карты, на которой представлена информация о исторических и современных зданиях комплекса зданий Белорусского государственного университета, а также местах, связанные с деятельностью знаменитых учёных университета [1].

Разрабатываемое мобильное приложение является одним из клиентских приложений проекта «Интерактивная карта БГУ» (<https://map.bsu.by>) и обеспечивает как базовый функционал, аналогичный функционалу веб-приложения, так и дополнительный функционал, который учитывает небольшой экран пользователя, сенсорное управление, а также геолокацию пользователя. Для удобства пользователя мобильное приложение может работать как в онлайн, так и в офлайн режиме [2].

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ

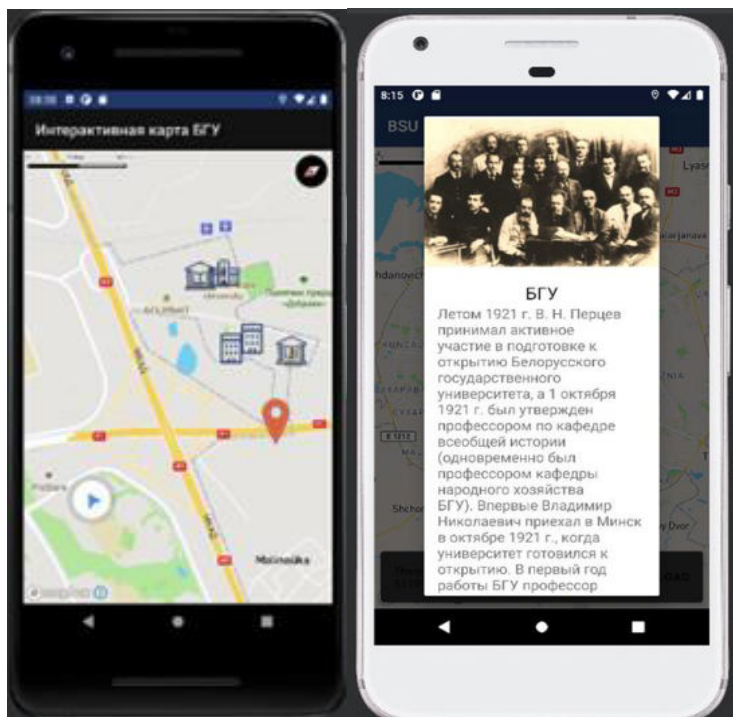
Анализ пользовательских и функциональных требований к приложению позволил определить ключевые функции, такие как просмотр информации о зданиях и знаменитых учёных университета на интерактивной карте.

Используя метод фокус-группы, на основе анализа пожеланий представителей целевой аудитории приложения (студенты, преподаватели, сотрудники Музея истории БГУ, гости университета) были составлены функциональные и нефункциональные требования к приложению:

- функциональные требования – что именно приложение должно делать. В нашем случае: отображение интерактивной карты, с метками зданий комплекса БГУ (исторических и современных); местах, связанных с деятельностью известных ученых; отображение информации о зданиях и информации об учёных, с описанием и фотогалереей; отображение метки на карте с текущей геолокацией пользователя.

- нефункциональные требования – качество и удобство использования приложения. В нашем случае: время отклика, удобство и простота пользовательского интерфейса, актуальность данных, безопасность данных, обновление данных.

При работе с геолокацией пользователя сценарий действий таков: при входе в приложение запрашивается геолокация пользователя и если он согласен на использование данных о своём местоположении, то на карте отображается маркер его текущей геопозиции, что позволяет ему понимать его текущее местоположение относительно достопримечательностей. При передвижении пользователя маркер его геопозиции перемещается по карте, показывая реальную геолокацию пользователя. Пример экранов пользователя представлен на рисунке:



Пример экранов пользователя с картой и указанием текущей геолокации пользователя

На рисунке представлена карта с иконками-маркерами, которые отвечают за отображение информации, а также пример открытия одного из маркеров, на котором отображена информация об одном из учёных. Также на рисунке с помощью маркера показана текущая геолокация пользователя, благодаря которой можно видеть свое положение относительно ближайших мест, связанных с университетом.

РАЗРАБОТКА

Приложение разработано на языке программирования Kotlin с использованием программных средств разработки и библиотек Retrofit, RoomDB, Kotlin Coroutines, Koin, OpenStreetMap, WorkManager. При проектировании архитектуры приложения использовалось архитектурное решение MVVM.

Благодаря применению вышеуказанных технологий была достигнута реализация всех требований и задач, поставленных в ходе разработки.

Используя язык программирования Kotlin, архитектуру MVVM и библиотеку Koin был реализован понятный и доступный для чтения код, а также архитектурно верный, в тенденции мобильной разработки, проект, что упрощает процесс дальнейшей разработки для людей, которые в дальнейшем будут участвовать в разработке проекта.

Актуальность, безопасность и обновление данных были достигнуты благодаря библиотекам RoomDB, Retrofit и Kotlin Coroutines. Применение библиотеки Retrofit способствовало упрощению сетевого взаимодействия, то есть загрузки данных с сервера, а RoomDB обеспечила эффективное управление локальной базой данных и безопасное их хранение. Благодаря Kotlin Coroutines происходит выгрузка данных с сервера в локальную базу данных мобильного приложения асинхронно, что обеспечивает быструю загрузку приложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект «Интерактивная карта БГУ» представляет собой значительный шаг в направлении цифровизации университетской среды и улучшения взаимодействия для всех заинтересованных сторон. Разработка данного мобильного приложения не только позволяет улучшить доступность информации о Белорусском государственном университете, но и создает новые возможности для обучения, исследований и ориентации на территории университета.

Мобильное приложение позволяет пользователям взаимодействовать с картой: визуализировать текущее положение пользователя, масштабировать карту, выбирать интересующие пользователя объекты и получать детальную информацию о них. При работе с приложением пользователь знакомится с историческими фотографиями и фактами, связанными со зданиями БГУ и местами, связанными с учёными БГУ.

Библиографические ссылки

1. *Модзолевский В. В.* Разработка интерактивной карты становления БГУ / В. В. Модзолевский, Ю. В. Тамкович, К. Г. Арабчик // 78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета : материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 10–21 мая 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. С. 48-51.

2. *Сергиенко И.С.* Разработка мобильного приложения для представления на интерактивной карте значимых мест БГУ / И. С. Сергиенко, О.Г. Казанцева // Научные исследования XXI века [Электронный ресурс]. 2024. №2 (28). С. 49-53. URL: <http://scientific-research.ru/files/JOURNAL--2--28-.pdf> (дата обращения 29.04.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГА МОДЕЛИ КУРНО С НЕГЛАДКОЙ ФУНКЦИЕЙ ЦЕНЫ

Я. А. Слаук

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, yana_slauk@mail.ru*

*Научный руководитель — В. В. Альсевич, кандидат физико-математических наук,
профессор*

В статье исследуется аналог модели дуополии Курно, в которой в качестве функции цены на продукцию взята любая убывающая кусочно-гладкая функция.

Ключевые слова: аналог модели дуополии Курно; негладкая функция цены.

Одной из важнейших рыночных структур является олигополия. Ей принадлежат отрасли, функционирующие на гребне научно-технического прогресса: отрасль, производящая оборудование для компьютерных систем, аэрокосмическая отрасль, автопром. Относят к рынку олигополии отрасли топливно-энергетического комплекса, черной и цветной металлургии.

Олигополия – это тип строения рынка, при котором сторона предложения состоит из небольшого числа сравнительно крупных предприятий-продавцов однородной продукции.

Так как результаты соперничества зависят от характера допущений о реакции соперников на действия друг друга, а они могут быть существенно разными, то не существует единой модели олигополии. Вместо этого известно несколько моделей олигополии, различающихся характером предположений олигополистов и особенностями их взаимоотношений.

Одной из разновидностей олигополии является дуополия. Дуополия – это рынок однородного продукта, на котором выделяются две крупные фирмы, конкурирующие между собой. Для описания олигополии и дуополии существует множество разнообразных моделей. Одной из самых знаменитых является модель Курно [1], позволяющая обосновать меры антимонопольного регулирования.

При несовершенной конкуренции цена p_0 однородной продукции является функцией выпуска Q : $p_0 = p_0(Q)$, причем невозрастающей – с возрастанием выпуска цена может только снижаться: $dp_0 / dQ \leq 0$.

Согласно Курно, цена на выпускаемую продукцию линейна:

$$p_0(Q) = a - bQ, \quad a > 0, \quad b > 0,$$

где $Q=Q_1+Q_2$ – объем выпускаемой продукции двумя фирмами-конкурентами. Кроме того, каждый дуополист стремится к максимизации своей прибыли, исходя из предположения, что другой дуополист не будет изменять выпуска, каким бы ни был его собственный выпуск. Иными словами, предположительные вариации каждого имеют нулевую оценку: $\partial Q_1/\partial Q_2=0$, $\partial Q_2/\partial Q_1=0$. Кроме того, предполагается, что издержки C_i обеих фирм линейны, причем предельные издержки фирм одинаковы и равны c . Следовательно, задача максимизации прибыли каждого дуополиста имеет вид:

$$\Pi_i(Q_1, Q_2) = R_i(Q_1, Q_2) - C_i(Q_i) = aQ_i - bQ_i^2 - bQ_1Q_2 - cQ_i - \alpha_i \rightarrow \max, \\ Q_i \geq 0, i = 1, 2.$$

Условием максимизации прибыли будет выступать равенство нулю первых частных производных от функции прибыли для каждого из участников. С учетом нулевых предположительных вариаций получим:

$$\frac{\partial \Pi_i}{\partial Q_i} = a - 2bQ_i - bQ_j - c = 0, i, j = 1, 2, i \neq j. \quad (1)$$

Не приводя подробных вычислений при решении системы (1), запишем лишь окончательный результат:

$$Q_1^0 = Q_2^0 = \frac{a-c}{3b}, Q^0 = Q_1^0 + Q_2^0 = \frac{2(a-c)}{3b}, p_0 = \frac{a+2c}{3}.$$

А теперь рассмотрим негладкую функцию цены p_0 , которая предложена в [2]. Используем одну из следующих (результат будет одинаковым):

$$p_0(Q) = p_0^{(s)} + \frac{\alpha_s}{Q}, Q \in [Q_{s-1}, Q_s], s = \overline{1, k}, \quad (2)$$

$$p_0(Q) = \min_{s=1, k} \left(p_0^{(s)} + \frac{\alpha_s}{Q} \right), Q > 0.$$

Здесь $\alpha_s > 0$, $p_0(Q_s + 0) = p_0(Q_s - 0)$. Во втором случае будем считать, что в некоторых точках Q_s минимум достигается не более чем для двух функций. Заметим, что из вида указанных функций следует их недифференцируемость в точках Q_s .

Так как в изначальной модели предполагается наличие дуополии, то итоговый выпуск будет равен $Q = Q_1 + Q_2$. Тогда для модели Курно первая функция цен (2) будет иметь вид

$$p_0(Q) = p_0^{(s)} + \frac{\alpha_s}{Q_1 + Q_2}, Q_i \in [Q_{s-1}, Q_s], s = \overline{1, k}, i = 1, 2.$$

При этом функции прибыли примут вид

$$\Pi_i(Q_i) = p_0 Q_i - c Q_i = p_0^{(s)} Q_i + \frac{\alpha_s Q_i}{Q_1 + Q_2} - c Q_i, Q_i \in [Q_{s-1}, Q_s], s = \overline{1, k}, i = 1, 2. \quad (3)$$

В силу того, что функции имеют кусочную структуру, будем рассматривать оптимальные значения выпуска, попадающее либо внутрь отрезка, либо попадающее на концы отрезка. Сначала рассмотрим более простой случай, когда существует $s_0 \in \{1, \dots, k\}$, что $Q_i^0 \in (Q_{s_0-1}, Q_{s_0})$, $i = 1, 2$. В этом случае оптимальный выпуск каждой фирмы найдем из уравнений:

$$\frac{\partial \Pi_i(Q_i)}{\partial Q_i} = p_0^{(s_0)} + \frac{\alpha_{s_0} Q_j}{(Q_1 + Q_2)^2} - c_i = 0, Q_i \in (Q_{s_0-1}, Q_{s_0}), i, j = 1, 2.$$

Решая данную систему получим:

$$Q_1^0 = Q_2^0 = \frac{\alpha_{s_0}}{4(c - p_0^{(s_0)})}, Q^0 = Q_1^0 + Q_2^0 = \frac{\alpha_{s_0}}{2(c - p_0^{(s_0)})}, p_0^0 = p_0^{(s_0)} + \frac{\alpha_{s_0}}{Q^0} = 2c - p_0^{(s_0)}.$$

Обратимся к более сложной ситуации, когда оптимальный выпуск попадает на границу какого-либо отрезка, т.е. существует $s_0 \in \{1, \dots, k\}$, что $Q_i^0 = Q_{s_0}$, $i = 1, 2$.

В таком случае классическая производная для функций прибыли (3) не существует в точке Q_{s_0} . Однако согласно теории выпуклого анализа [3] существует обобщенная производная (суперградиент) $M^* \Pi_i(Q_{s_0})$ (некоторое выпуклое компактное множество), причем, если Q_{s_0} – оптимальный выпуск, то согласно условиям оптимальности существует $M^0 \Pi_i(Q_{s_0}) \in M^* \Pi_i(Q_{s_0})$, причем $M^0 \Pi_i(Q_{s_0}) = 0$, $i = 1, 2$. Другими словами, $\exists \beta_1, \beta_2 \geq 0, \beta_1 + \beta_2 = 1$, что выполняются условия

$$M^0 \Pi_i(Q_i) = (\beta_1 p_0^{(s_0)} + \beta_2 p_0^{(s_0+1)}) + \frac{(\beta_1 \alpha_{s_0} + \beta_2 \alpha_{s_0+1}) Q_j}{(Q_1 + Q_2)^2} - c_i = 0, \quad i, j = 1, 2, i \neq j.$$

Решая данную систему, получим, что

$$Q_1^0 = Q_2^0 = \frac{\beta_1 \alpha_{s_0} + \beta_2 \alpha_{s_0+1}}{4(c - (\beta_1 p_0^{(s_0)} + \beta_2 p_0^{(s_0+1)}))}, \quad Q^0 = Q_1^0 + Q_2^0 = \frac{\beta_1 \alpha_{s_0} + \beta_2 \alpha_{s_0+1}}{2(c - (\beta_1 p_0^{(s_0)} + \beta_2 p_0^{(s_0+1)}))}.$$

Следует отметить, что можно рассматривать и более сложные ситуации, в частности, когда предельные издержки тоже не являются линейными функциями (см. [2]). Этот случай также исследован. Однако из-за ограниченности объема статьи результаты здесь не приводятся.

Библиографические ссылки

1. Cournot A. Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses. Paris, 1938.
2. Альсевич В. В. Введение в математическую экономику. Конструктивная теория: Учебное пособие. М.: ЛЕНАНД, 2021.
3. Демьянов В. Ф., Малоземов В. Н. Введение в минимакс. М.: Наука, 1972.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВИСА МАШИННОГО ПЕРЕВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА ВНИМАНИЯ

А. С. Соломевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, alexandr.solomevich@gmail.com
Научный руководитель – В. И. Малюгин, доктор экономических наук, доцент*

Данная работа посвящена экспериментальному сравнению различных моделей и методов работы с текстами в рамках задачи машинного перевода, оценке эффективности и выявлению их преимуществ и недостатков. По результатам экспериментов отобрана лучшая из версий моделей и интегрирована в веб-сервис, который предоставит возможность каждому пользователю удобно и быстро получать переводы.

Ключевые слова: обработка искусственного языка; машинный перевод текста; рекуррентная нейронная сеть; долгая краткосрочная память; механизм внимания; трансформер; PyTorch.

1. Введение в машинный перевод, цели исследования

Машинный перевод представляет собой важную область исследований, цель которой – автоматизировать процесс перевода текстов и речи с одного языка на другой. Этот процесс играет ключевую роль в устранении языковых барьеров и способствует улучшению глобальной коммуникации.

Целями данной работы являются практическое сравнение различных методологий и подходов для задачи машинного перевода, а также получение готового сервиса для перевода, которым смогут использовать для общения разные языковые группы.

Для достижения цели исследования решались следующие задачи:

- 1) формулировка актуальных технологий подготовки и обработки текстовых данных для решения задачи машинного перевода;
- 2) сбор и подготовка данных для обучения моделей, а также проведение сравнительного анализа различных архитектур нейронных сетей;
- 3) проектирование веб-сервиса, для доступа к разработанным моделям перевода.

2. Представление и обработка текста

Первым этапом решения задачи машинного перевода является получение так называемых эмбедингов из токенов текста, то есть их векторных представлений. **Word2Vec** – это метод, используемый для преобразования слов в числовые векторы в многомерном пространстве. Основная идея заключается в том, что семантически близкие слова будут иметь близкие векторы. Continuous Bag of Words (CBOW) и Skip-Gram [1] – две основные модели, используемые

в Word2Vec. Целевая функция CBOW определяет вероятность появления целевого слова при условии контекстных слов, а Skip-Gram отличается тем, что предназначен для предсказания окна контекстных слов по заданному целевому слову.

Как и в любой задаче машинного обучения, важным этапом является подготовка данных [2]. Ключевыми компонентами данного этапа можно выделить токенизацию, управление стоп-словами и фильтрацию шума.

Токенизация представляет собой процесс разбиения текста на отдельные единицы, называемые токенами. Токенизацию можно рассматривать как процесс разбиения предложений в тексте на осмысленные единицы. На сегодняшний день существует множество способов токенизации, в сравнительном анализе были использованы токенизация по отдельным словам и BPE (Byte Pair Encoding) токенизация.

Стоп-слова подразумевают часто встречающиеся слова, которые, как правило, не несут значительной смысловой нагрузки и могут быть удалены из текста без потери его глобального смысла. Исключение стоп-слов позволяет моделям сосредоточиться на более значимых терминах, что улучшает точность перевода.

Фильтрация шума включает удаление ненужных символов, специальных знаков, цифр и других элементов, которые могут вызвать путаницу в процессе обучения. Это особенно актуально при работе с текстом, полученным из интернета, где часто встречается множество шумовых элементов.

3. Архитектуры нейронных сетей для задач Seq2Seq и их сравнительный анализ

Задача машинного перевода подразумевает работу с последовательными данными. Для данного типа задач существует множество вариантов архитектур нейросетей, таких как рекуррентные нейронные сети [3], LSTM (Long Short-Term Memory) сети [4], GRU (Gated Recurrent Unit). Помимо данных классических архитектур особое внимание было уделено механизму внимания и использующей данный механизм архитектуре трансформер [5].

Для проведения обучения моделей [6] и их сравнительного анализа был собран датасет, представляющий параллельные корпуса текстов на русском и английском языках, в размере 2-х миллионов записей. Далее данные были подвергнуты обработке, которая помогла снизить размерность данных и улучшить качество перевода, так как модели стали обрабатывать более чистый и структурированный текст. После тщательной фильтрации, размер датасета уменьшился до 505-ти тысяч пар, которые оказались наиболее пригодными для обучения и валидации моделей.

Для оценки качества перевода использовалась метрика BLEU. BLEU вычисляет сходство машинного перевода с эталонными переводами на основе подсчета n-грамм (последовательностей слов).

По результатам проведенных исследований была составлена таблица, демонстрирующая финальные характеристики для пула лучших моделей на основе каждого из видов архитектур.

Результаты различных моделей на тестовой выборке

Model	Tokenization	BLEU Score	Epoch Training Time (sec)
RNN	Words	0,09	951
RNN	BPE	0,12	964
GRU	Words	0,14	937
GRU	BPE	0,175	996
LSTM	Words	0,18	989
LSTM	BPE	0,19	1045
Transformer	Words	0,24	1337
Transformer	BPE	0,28	1396

В результате сравнения метрик качества видно, что трансформеры превосходят рекуррентные архитектуры в большинстве случаев. Их способность эффективно обрабатывать длинные последовательности и улавливать долгосрочные зависимости в тексте привела к значительному улучшению качества перевода [7].

Немаловажно отметить влияние механизма внимания. Благодаря данной технологии модель фокусируется на ключевых элементах исходного текста при формировании соответствующего перевода. Пример работы механизма внимания показан на Рисунке 1:

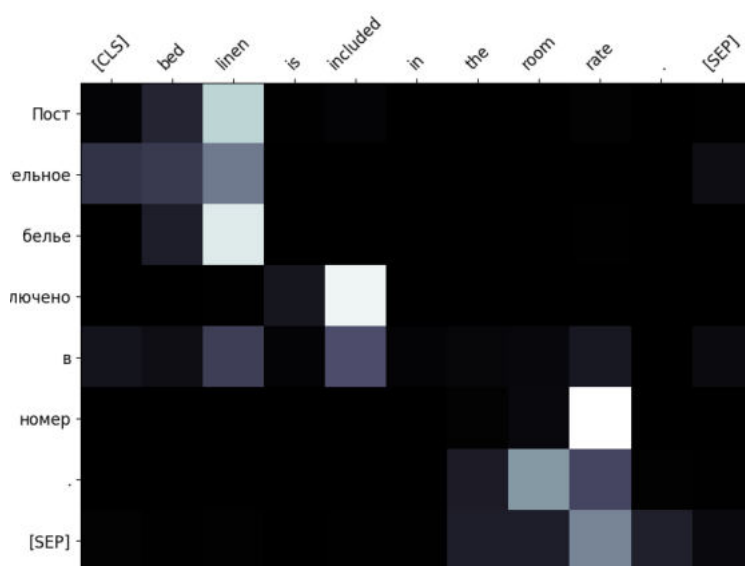


Рис. 1. Влияние механизма внимания

4. Проектирование веб-сервиса

В качестве веб-сервиса было принято решение реализовать Telegram-бот, который предоставит пользователям удобный интерфейс и позволит им получать переведенные результаты напрямую в мессенджере. Пример работы бота, а также результаты простейших запросов на разных языках показаны на Рисунке 2:



Рис. 2. Интерфейс разработанного бота

Одним из преимуществ разработанного бота является то, что его можно добавить в группы. Так участники могут отправлять текст для перевода прямо в чат, и бот будет предоставлять переводы, которые сразу же доступны всем членам группы. Это особенно полезно для международных команд, образовательных групп или любых других сообществ, где важно быстро переводить информацию между различными языками.

5. Заключение

В работе рассмотрены различные аспекты задачи машинного перевода. Проведён сравнительный анализ различных архитектур и методов, а также их производительности в разных сценариях машинного перевода. В результате этих экспериментов, трансформер с BPE токенизацией показал наилучшие результаты, достигнув 28.46 по метрике BLEU на тестовой выборке. Этот результат продемонстрировал превосходство трансформерной архитектуры в задачах машинного перевода. Финальная архитектура была внедрена в веб-сервис в виде телеграм-бота, который предоставляет удобный интерфейс для взаимодействия пользователей с моделью.

Таким образом, в работе получены следующие основные результаты:

- 1) проведен анализ теоретических аспектов и современных подходов в области машинного перевода;
- 2) на основе экспериментальных исследований продемонстрирована работа различных архитектур, а также выявлена лучшая из них;

3) разработаны алгоритмические и программные средства для возможности обучения, тестирования и эксплуатации моделей машинного перевода.

Библиографические ссылки

1. *Brown P. F.* The Mathematics of Statistical Machine Translation: Parameter Estimation / P. F. Brown, S. A. Della Pietra, V. J. Della Pietra, R. L. Mercer. – Cambridge, MA, 1993. – P. 263-311.
2. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных: учеб. пособие / Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С. – М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. – 269 с.
3. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
4. Long Short-Term Memory [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Long_short-term_memory (date of access: 17.03.2024).
5. *Vaswani A.* Attention Is All You Need / N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N Gomez, Ł. Kaiser, I. Polosukhin // In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS'17): Proceedings of the 30st International Conference, December 4–9, 2017, Long Beach, CA, USA. – P. 6000-6010.
6. *Sutskever I.* Sequence to Sequence Learning with Neural Networks / O. Vinyals, Q. V. Le // In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS'14): Proceedings of the 27th International Conference, December 8–13, 2014, Montreal Convention Center, Montreal, Canada. – Vol. 2. – P. 3104-3112.
7. G. Foster // In Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2017, Copenhagen, Denmark. – P. 2486-2496.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ГРАФОВ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ МЕТРИК ЗАГРЕБСКОГО ТИПА

Е. Н. Савенок

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, savenokegorka7@gmail.com
Научный руководитель — Ю. Л. Орлович, кандидат физико-математических наук,
доцент

В работе изучаются свойства графов с максимальными значениями метрик Загребского типа, которые по своему строению схожи с пороговыми графами, которые активно изучаются в геномной эпидемиологии. Главным результатом является получение общего вида графа с максимальным значением второй метрики Загребского типа.

Ключевые слова: метрики Загребского типа; s -метрика; m -метрика; пороговые графы.

Вторым Загребским индексом [1] (далее s -метрикой) графа G будем называть величину

$$s(G) = \sum_{\{u,v\} \in E(G)} \deg_G u \deg_G v$$

Лемма 1. Среди всех деревьев на n вершинах, максимальную s -метрику имеет звезда, а минимальную - цепь. Т.е. для любого дерева T , неизоморфного цепи или звезде выполняется

$$s(P_n) < s(T) < s(K_{1,n-1})$$

Теорема 1. Для (n, m) -графа G с максимальной s -метрикой выполняется $N_G(u) \subseteq N_G(v) \cup \{v\}$ или $N_G(v) \subseteq N_G(u) \cup \{u\}$, для любых $u, v \in V(G)$.

Доказательство. Предположим противное. Пусть G -(n, m)-граф с максимальной s -метрикой, но для него не выполняется условие теоремы, т.е. $N_G(u) \not\subseteq N_G(v) \cup \{v\}$ и $N_G(v) \not\subseteq N_G(u) \cup \{u\}$ для каких-то вершин u, v . Обозначим $Y = N_G(u) \cap N_G(v)$, $X = N_G(u) / Y$, $Z = N_G(v) / Y$. Также положим $t = 1$, если $\{u, v\} \in E(G)$, $t = 0$ иначе.

Рассмотрим также случай, когда $\deg_G u \geq 2$ или $\deg_G v \geq 2$. Не нарушая общности, положим $\deg_G u \geq 2$. Тогда

$$s(G) = \deg_G u \sum_X \deg_G w + \deg_G u \sum_Y \deg_G w + \deg_G v \sum_Y \deg_G w + \\ \deg_G v \sum_Z \deg_G w + t \deg_G u \deg_G v + \sum_{\{w, w'\} \notin u \times v} \deg_G w \deg_G w'$$

Заметим, что $X \neq \emptyset$ и $Z \neq \emptyset$ по предположению. Наряду с G , рассмотрим граф G' , такой что $V(G') = V(G)$, $E(G') = E(G) - uw + vw, w \in X$. Заметим также, что $|E(G')| = |E(G)|$. Тогда

$$s(G') = \deg_{G'} u \sum_Y \deg_{G'} w + \deg_{G'} v \sum_X \deg_{G'} w + \deg_{G'} v \sum_Y \deg_{G'} w + \\ \deg_{G'} v \sum_Z \deg_{G'} w + t \deg_{G'} u \deg_{G'} v + \sum_{\{w, w'\} \notin u \times v} \deg_{G'} w \deg_{G'} w' = \\ (\deg_G u - |X|) \sum_Y \deg_G w + (\deg_G v + |X|) \sum_X \deg_G w + \\ (\deg_G v + |X|) \sum_Y \deg_G w + (\deg_G v + |X|) \sum_Z \deg_G w + \\ t (\deg_G u - |X|) (\deg_G v + |X|) + \sum_{\{w, w'\} \notin u \times v} \deg_G w \deg_G w'$$

Заметим также, что $\deg_G u = |X| + |Y| + t$, $\deg_G v = |Y| + |Z| + t$. С учётом этого получаем:

$$s(G') - s(G) = \deg_G v \sum_X \deg_G w + |X| \sum_X \deg_G w + |X| \sum_Z \deg_G w + \\ t|X|(\deg_G u - \deg_G v) - t|X|^2 - \deg_G u \sum_X \deg_G w + \\ (|Y| + |Z| + t) \sum_X \deg_G w + |X| \sum_X \deg_G w - (|X| + |Y| + t) \sum_X \deg_G w + \\ |X| \sum_X \deg_G w + t|X|(|X| + |Y| - |Y| - |Z|) - t|X|^2 = \\ |Z| \sum_X \deg_G w + |X| \sum_Z \deg_G w - t|X||Z| \geq |Z||X| + |X||Z| - t|X||Z| > 0$$

Получили, что G' имеет большую s -метрику. Противоречие.

Если $\deg_G u = 1$ и $\deg_G v = 1$ рассматривается аналогично (случай, когда степени хотя бы одной из вершин равны нулю очевидно невозможен,

потому что множество соседей такой вершины пустое и оно является подмножеством соседей другой вершины).

Лемма 2. Любой (n, t) -граф G с максимальной s -метрикой не содержит порождённых подграфов $2K_2, P_4, C_4$.

Доказательство. Пусть G содержит порождённый подграф $G' = 2K_2$. Обозначим $u, v, x, y \in G', \{u, v\} \in E(G'), \{x, y\} \in E(G')$ - вершины, образующие порождённый $2K_2$. Заметим, что $y \in N_G(x) \& y \notin N_G(u)$ и $v \in N_G(u) \& v \notin N_G(x)$. Получили противоречие с теоремой 1.

Аналогичные рассуждения для P_4 и C_4 .

Теорема 2. Если (n, t) -граф G с максимальной s -метрикой связный, то он содержит доминирующую вершину.

Утверждение 1. (n, t) -граф G , имеющий максимальную s -метрику связан $\Leftrightarrow t > \frac{1}{2}(n-1)(n-2)$.

Теорема 3. Пусть (n, t) -граф G , имеющий максимальную s -метрику не связан. Тогда не более одной из его компонент связности будут состоять из более чем одной вершины.

Теорема 4. Пусть на (n, t) -графе G достигается максимально возможное значение s -метрики. Тогда на графе G' , полученном из G удалением вершины максимальной степени и всех инцидентных ей рёбер, тоже достигается максимальное значение s -метрики.

Используя рассуждения выше, можем построить *общий вид графа с максимальной s -метрикой*. Если $t > \frac{1}{2}(n-1)(n-2)$, то по *утверждению 1* граф связан, и по *теореме 2*, содержит доминирующую вершину. Выберем произвольную вершину и соединим её со всеми остальными. Если же $t \leq \frac{1}{2}(n-1)(n-2)$, то по *теореме 3* граф содержит изолированную вершину. В обоих случаях отделяем эту вершину и работаем с оставшимся подграфом. На нём по *теореме 4* также достигается максимальное значение s -метрики. Далее повторяем рассуждения, пока возможно. Ясно, что такой процесс конечный.

Из построения следует, граф с максимальной s -метрикой строится однозначно.

Теперь опишем *построение графа с максимальной s -метрикой*. Будем добавлять рёбра по одному, начиная с пустого графа. Рассмотрим произвольный шаг: по *теореме 3* граф имеет единственную компоненту связности размера большего единицы. Если она образует клику, то выбираем новую вершину и соединяем с ней. Если этот подграф ещё не полный, то в нём выбираем вершину, которая была добавлена на предыдущем шаге и соединяем с одной из вершин рассматриваемой компоненты.

Такой алгоритм однозначно строит требуемый граф.

Из построения справедлива следующая лемма:

Лемма 3. Граф с максимальной s -метрикой не содержит порождённого подграфа $K_{1,3}$.

Первым Загребским индексом [1] (далее m -метрикой) графа G будем называть величину

$$m(G) = \sum_{u \in V(G)} \deg_G^2 u = \sum_{\{u,v\} \in E(G)} (\deg_G u + \deg_G v)$$

Лемма 4. Среди всех деревьев на n вершинах, максимальную m -метрику имеет звезда, а минимальную - цепь. Т.е. для любого дерева T , не изоморфного цепи или звезде выполняется

$$m(P_n) < m(T) < m(K_{1,n-1})$$

Теорема 5. Для (n, m) -графа G с максимальной m -метрикой выполняется $N_G(u) \subseteq N_G(v) \cup \{v\}$ или $N_G(v) \subseteq N_G(u) \cup \{u\}$, для любых $u, v \in V(G)$.

Из теоремы 5 следует справедливость аналога леммы 2 для графа с максимальной m -метрикой:

Лемма 5. Любой (n, m) -граф G с максимальной s -метрикой не содержит порождённых подграфов $2K_2, P_4, C_4$.

Из лемм 2 и 5, получаем, что графы с максимальным значением s - и m -метрик относятся к классу пороговых.

Библиографические ссылки

1. Scale-Free Spanning Trees and Their Application in Genomic Epidemiology / Y. Orlovich, K. Kukhareno, V. Kaibel, P. Skums // Journal of Computational Biology. 2021. Vol. 28, No 10. P. 945–960.

ОПТИМАЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ В ЛИНЕЙНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ С ПОЛИЭДРАЛЬНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Ю. Ю. Тышко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, praleska14@gmail.com
Научный руководитель — Н. М. Дмитрук, кандидат физико-математических наук, доцент*

Рассматривается задача оптимального управления линейной дискретной системой с постоянно действующими возмущениями, которую требуется за конечное время перевести с гарантией на терминальное множество и таким образом, чтобы достигался минимум терминального критерия качества. Управления и возмущения системы принимают значения из полиэдральных множеств. Определяется оптимальная стратегия управления, которая учитывает информацию о состоянии системы в будущие моменты времени.

Ключевые слова: линейная система; возмущение; оптимальное управление; стратегия; момент замыкания.

1. Введение. Задачи оптимального управления актуальны в теории систем управления с неопределенностями, которые описывают прикладные задачи в экономике, технике и т.д. [1]. Поэтому важно проектировать системы управления, способные функционировать при наличии этих неопределенностей.

В данной статье рассматривается подход к задачам терминального оптимального управления при ограниченной исходной информации и постоянных полиэдральных возмущениях. Систему требуется перевести на терминальное множество за конечное время, выполняя все полиэдральные ограничения на управления, терминальные состояния и возмущения, и минимизируя терминальный критерий качества [2]. Определяется оптимальная стратегия управления, учитывающая состояние системы в будущем. Рассматриваются многократно замыкаемые стратегии с использованием аппроксимации множеств замыкания внешними многогранниками.

2. Постановка задачи. Пусть рассматривается дискретная система вида

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + Mw(t), \quad x(0) = x_0, \quad t = 0, 1, \dots, T-1, \quad (1)$$

где $x(t) \in \mathbb{R}^n$ – состояние (фазовый вектор); $x_0 \in \mathbb{R}^n$ – заданное начальное состояние; $u(t) \in \mathbb{R}^r$ – управление; $w(t) \in \mathbb{R}^p$ – возмущение в момент времени t ; A, B, M – заданные постоянные матрицы размеров $n \times n, n \times r, n \times p$ соответственно.

Функции $u(t)$ и $w(t)$ в каждый момент времени $t, t = 0, 1, \dots, T - 1$, принимают значения из заданных множеств

$$U = \{u: Qu \leq q, u \in \mathbb{R}^r\}, \quad W = \{w: Dw \leq d, w \in \mathbb{R}^p\}, \quad (2)$$

где $q \in \mathbb{R}^l, d \in \mathbb{R}^m, Q \in \mathbb{R}^{l \times r}, D \in \mathbb{R}^{m \times p}$ – постоянные матрицы.

Управление $u(\cdot) = (u(t) \in U, t = 0, 1, \dots, T - 1)$ будем называть *допустимым управлением*.

При некотором допустимом управлении $u(\cdot)$ и возмущении $w(\cdot) = \{w(t) \in W, t = 0, 1, \dots, T - 1\}$ и начальном условии $x(0) = x_0$ решение системы (1) будем обозначать $x(t) = x(t|x_0, u(\cdot), w(\cdot)), t = 0, 1, \dots, T - 1$.

Зададим терминальное множество $X_T = \{x \in \mathbb{R}^n: g_{\min} \leq Hx \leq g_{\max}, H \in \mathbb{R}^{m \times n}; g_{\min}, g_{\max} \in \mathbb{R}^m\}$, на которое нужно перевести траекторию (решение) системы (1) с гарантией попадания траектории на это множество в момент $t = T$. Управление (программа управления), для которого последнее требование выполняется, назовем *гарантирующим управлением* (гарантирующей программой управления).

Гарантирующей программой управления [2] называется допустимое управление $u(\cdot)$, которое при любом возмущении $w(t)$ переводит траекторию системы (1) в момент времени T на терминальное множество, т.е. выполняется $x(T|x_0, u(\cdot), w(\cdot)) \in X_T \quad \forall w(t) \in W, t = 0, 1, \dots, T - 1$.

Качество гарантирующей программы [2] оценивается терминальным (типа Майера) функционалом

$$J(u) = \max_{w(\cdot) \in W} c'x(T), c \in \mathbb{R}^n.$$

Это значение терминального критерия качества при наихудшей реализации возмущения называется *гарантированным значением* критерия качества.

Гарантирующая программа $u^0(\cdot)$ гарантированное значение критерия качества [2], т.е. называется оптимальной программой, если она минимизирует

$$J(u^0) = \min_{u \in U} J(u).$$

3. Многократно замыкаемая стратегия управления. Пусть зафиксированы моменты времени $T_j \in \{1, 2, \dots, T-1\}$, $j = 1, 2, \dots, N$; $T_1 < T_2 < \dots < T_N$, их будем называть моментами замыкания, которые разбивают отрезок управления на интервалы $\Delta_j = \{T_j, T_j + 1, \dots, T_{j+1} - 1\}$, $j = 0, 1, \dots, N$; $T_0 = 0$, $T_{N+1} = T$.

В зависимости от реализовавшегося возмущения система в момент T_{j+1} окажется в состоянии, которое будем обозначать $x^*(T_{j+1})$. Очевидно, что

$x^*(T_{j+1}) \in X(T_{j+1}|x_j, u_j)$, $j = 0, 1, \dots, N$, где
 $X(T_{j+1}|x_j, u_j) = \{x \in \mathbb{R}^n : x = x(T_{j+1}|x_j, u_j, w_j(\cdot)), w_j(\cdot) \in W^{T_{j+1}-T_j}\}$ – множество возможных состояний системы (1) в момент времени T_{j+1} .

Относительно моментов замыкания предполагаем, что в каждый момент T_j можно будет:

- 1) точно измерить текущее состояние $x^*(T_j)$ системы;
- 2) в зависимости от измеренного $x^*(T_j)$ выбрать новое управление $u_j(t|x^*(T_j))$, $t \in \Delta_j$.

Учитывая сделанное предположение, будем искать решение поставленной задачи оптимального управления в классе стратегий управления $\pi_N(0, x_0)$ с N моментами замыкания, которую определим рекуррентно [3] на основе стратегий $\pi_{N-j}(T_j, x_j)$ с $N-j$ моментами замыкания, $j = N-1, N-2, \dots, 1$:

$$\begin{aligned} \pi_1(T_{N-1}, x_{N-1}) &= \{u_{N-1}(\cdot|x_{N-1}); u_N(\cdot|x_N); x_N \in X(T_N|x_{N-1}, u_{N-1})\}, \\ \pi_{N-j}(T_j, x_j) &= \{u_j(\cdot|x_j); \pi_{N-j-1}(T_{j+1}|x_{j+1}); x_{j+1} \in X(T_{j+1}|x_j, u_j)\}, \quad (3) \\ \pi_N(0, x_0) &= \{u_0(\cdot|x_0); \pi_{N-1}(T_1|x_1); x_1 \in X(T_1|x_0, u_0)\}. \end{aligned}$$

Допустимость стратегии (3) определяется рекуррентно, следуя динамическому программированию, для каждого промежутка Δ_j , начиная с $j = N$. В результате получим включения, определяющие допустимую стратегию: $X(T_{j+1}|x_j, u_j) \subseteq X_{j+1}$.

Здесь множества X_j , $j = 1, 2, \dots, N$, называются множествами замыкания в момент T_j . Каждое из этих множеств состоит из всех точек $x_j \in \mathbb{R}^n$, для которых существует стратегия управления $\pi_{N-j}(T_j, x_j)$ с $N-j$ моментами замыкания, $x_{N+1} \in \mathbb{R}^n$.

Оптимальная стратегия управления π_N^0 определяется оптимальными начальными программами $u_j^0(\cdot | x_j)$, $j = 0, 1, \dots, N$, которые находятся как решения уравнений Беллмана

$$V_N(x_N) = \min_{u_N} \max_{w_N} c'x(T|x_N, u_N, w_N), \quad X(T|u_N, w_N) \subseteq X_T,$$

$$V_j(x_j) = \min_{u_j} \max_{w_j} V_{j+1}(x(T_{j+1}|x_j, u_j, w_j)), \quad j = N-1, \dots, 0,$$

при условии выполнения ограничений (2).

Метод построения оптимальной стратегии с замыканиями для исследуемой задачи с ограничениями вида (2) обобщает работу [3].

Библиографические ссылки

1. Красовский, Н.Н. Управление динамической системой. Задача о минимуме гарантированного результата / Н. Н. Красовский. М.: Наука, 1985. 520 с.
2. Дмитрук, Н.М. Оптимальная стратегия с одним моментом замыкания в линейной задаче оптимального гарантированного управления / Н.М. Дмитрук // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 2018. Т. 58, No5. С. 664–681.
3. Дмитрук, Н.М. Многократно замыкаемая стратегия управления в линейной терминальной задаче оптимального гарантированного управления / Н.М. Дмитрук // Труды института математики и механики УрО РАН. 2022. Т. 28, No3. С. 66–82.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕРВИСОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В. П. Хмель

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vladimirkhm@outlook.com*

Научный руководитель — А. Н. Вальвачев, кандидат технических наук, доцент

В докладе обсуждается подход к усовершенствованию традиционных аналитических систем на основе специализированных сервисов искусственного интеллекта. Предлагается методика, рассчитанная на средние и малые компании. Она включает: определение актуальной аналитической задачи, выбор модели для обучения, обучение модели и ее включение в аналитическую систему компании.

ВВЕДЕНИЕ

Аналитическая корпоративная система (АКС) это аппаратно-программный комплекс для обработки данных, характеризующих бизнес-процессы компании и обеспечивающих оперативный синтез обоснованных управляющих решений [1]. В литературе выделяют три основных группы программного обеспечения (ПО) для оперативной аналитики. К первой группе относятся функционально жесткие бизнес-ориентированные системы OLAP (Online Analytical Processing) и BI (Business Intelligence). Например, Sisense, Zoho Analytics, Tableau, SAP, BusinessQ, DOMO, Qlik [2]. Вторая группа включает более гибкое ПО, которое содержит решения, адаптируемые к задачам компании, в частности, Elastic Stack, MS Azure, Google Analytics [2, 3]. К третьей группе относятся библиотеки с аналитикой для решения широкого класса задач, в частности, Hadoop, Amazon Web Services [4].

Опыт глобальных кризисов XXI века показал, что даже в крупных компаниях традиционные АКС не позволили оперативно реагировать на возникновение проблемных ситуаций, что приводит к потере конкурентных преимуществ. Многие средние и малые компании оказались в критическом положении, так как не могли внедрить АКС по причине их высокой стоимости, сложности внедрения и эксплуатации. К одному из важнейших недостатков относится ориентация АКС на верхние уровни управления при игнорировании средних и нижних уровней иерархии. В результате роста турбулентности среды все уровни компаний, в частности, при пандемии 2020-2022 гг., столкнулись с серьезными проблемами. Для их решения нужны новые технологии, обеспечивающие.

- достоверное и обоснованное позиционирование компании в множестве компаний с аналогичным бизнесом с учетом ситуации в мире;

- оперативный поиск новых материалов (статей, отчетов) из подтвержденных источников для решения возникающих проблем;
- анализ материалов для поиска инновационных решений;
- извлечение знаний из потоков входных гетерогенных данных;
- объективную оценку состояния компании в локальном масштабе;
- объективную оценку состояния компании в глобальном масштабе;
- накопление и использование опыта решения новых задач [1, 2, 3].

В 2020-2024 гг. в результате значительных достижений в области искусственного интеллекта (ИИ) появилась возможность в значительной мере решить эти вопросы с помощью АКС, построенных из адаптированных сервисов ИИ, включая ChatGPT-4o, Llama, Gemini, Mistral, аккумулирующих и постоянно увеличивающих знания в мировом масштабе. Фактически это новая четвертая группа АКС, использующая для аналитики локальные данные и глобальные знания. В данной работе предлагается методика построения таких систем “с нуля”.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть имеется компания, принимающая управляющие решения на основе анализа потоков данных от множества подразделений и нескольких внешних источников с гетерогенными данными. Компания использует лишь часть полученных данных по причине их большого объема и высокой стоимости хранения и обработки, что снижает качество управляющих решений. Компания предполагает решить эти проблемы за счет внедрения инновационных достижений ИИ. Для этого прежде всего необходимо разработать методику построения АКС, инвариантную объему данных, количеству подразделений, уровню подготовки персонала при минимальной стоимости создания, эксплуатации и замене на более совершенные варианты.

В основу решения положим три положения:

- замена парадигмы материального корпоративного ВЦ на виртуальный аналог, предоставляемый облачными вендорами;
- замена АСК с избыточной аналитикой, не всегда соответствующей реальным задачам компании, на строго сфокусированные АКС с предварительно обученными аналитическими сервисами ИИ;
- возможность расширения спектра сервисов аналитики АКС при появлении новых задач, влияющих на бизнес-процессы компании.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

На основании анализа литературы и результатов применения ChatGPT-4o, Llama, Gemini, Mistral предлагается следующая методика построения АКС на основе сервисов ИИ [5].

Этап 1. Проектирование АКС.

Проектирование выполняется с учетом запросов подразделений всех уровней иерархии компании, а не только руководства, как часто было ранее. Для сокращения стоимости разработки и эксплуатации АКС изначально следует выбирать облачный вариант размещения [5].

Этап 2. Формирование пула бизнес-задач.

Пул бизнес-задач и источников данных должен формироваться руководством и уточняться на всех уровнях иерархии [6, 7].

Этап 3. Формулировка пула аналитических методов для поддержки решения бизнес-задач.

При выборе аналитических методов необходимо учитывать специфическую терминологию и возможность ее применения в диалоге персонала компании с ИИ в процессе построения моделей. Выбор метода решения – сложная задача по причине большого количества предлагаемых вариантов. Поэтому для выбора эффективных методов следует использовать отчеты известных компаний, в частности, Inform [7].

Этап 4. Формирование пула аналитических сервисов.

Методы аналитики, реализуемые сервисами ИИ, быстро совершенствуются. Поэтому выбор пула сервисов, решающих пул методов, следует осуществлять с учетом консенсуса экспертов и серии экспериментов. Формирование сервиса для конкретного пользователя включает три стадии: выбор, обучение, апробация на “горячих” корпоративных данных, интеграция в АКС и применение [1].

Этап 5. Интеграция пула сервисов в АКС.

Для реализации АКС необходимо разработать сетевое приложение, обеспечивающее регламентированный доступ персонала компании с каждого уровня иерархии через главное меню к сервисам для их решения на соответствующем массиве горячих данных и данных облачного корпоративного хранилища (ware house). При появлении новых задач ресурсы АКС необходимо расширять за счет их решения и включения в меню задач и сервисов для всех уровней иерархии [1, 2].

Этап 6. Внедрение АКС.

На этапе внедрения возникают три типичные ситуации: отторжение сервиса персоналом, привыкание, понимание полезности и одобрение [2].
1. целом, постепенно меняется сама культура работы с данными и принятия решений. По мере накопления опыта появляются предложения по их улучшению, которые реализуются без изменения других сервисов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе показано, что для управления компанией в условиях динамической среды необходимы новые типы аналитических систем, которые

позволят позиционировать компанию в глобальном бизнесе и вовремя включать адаптационные механизмы в случае возникновения негативных ситуаций. Они должны быть доступны компаниям любого масштаба, что повысит конкурентные преимущества государства в целом. Для построения таких АКС предлагается использовать облачные технологии и новейшие достижения ИИ, включая ChatGPT-4o, Llama, Gemini, Mistral и другие. Принцип “сфокусированных АКС” в значительной мере решит проблемы высокой стоимости создания, эксплуатации, избыточной функциональности, сложности внедрения новых методов анализа при появлении новых задач. В то же время, возможно, что крупнейшие компании начнут реализовывать принцип “хранилищ глобальных знаний” – строить на суперкомпьютерах системы ИИ, изолированные от Интернет и аккумулирующие через фильтры подтвержденные знания из различных прикладных областей для ограниченного круга пользователей.

Библиографические ссылки

1. *Березовская Е.А., Крюков С.В.* Работа с сервисом бизнес-аналитики Yandex DataLens : Литрес, 2023.
Виссия Х., Краснопрошин В.В., Вальвачев А.Н. Принятие решений в информационном обществе : СПб: ЛАНЬ, 2019.
Guide to Business Data Analytics : ИБА, 2020.
Genesan K. The Business Case for AI : Opinosis Analytics, 2022.
Cloud Business Process Management : The Art of Service, 2023.
Olszak C. Business Intelligence and Big Data: Drivers of Organizational Success : Auerbach Publications, 2020.
R.O. Methodologies [Electronic resource] // ВТО : сайт. URL: <https://www.informs.org> (date of access: 25.04.2024).

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МНОГОМЕРНЫХ ДВОИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

С. А. Шибалко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, shibalko2003@bk.ru
Научный руководитель — Ю. С. Харин, доктор физико-математических наук,
профессор, академик НАН Беларуси*

В статье рассматривается анализ многомерных двоичных временных рядов на основе малопараметрической нейросетевой модели эргодической цепи Маркова порядка s . Построены состоятельные статистические оценки параметров модели и алгоритмы компьютерного анализа данных с использованием нейросетевой модели: алгоритм оценивания параметров и алгоритм прогнозирования.

Ключевые слова: многомерный двоичный временной ряд; цепь Маркова порядка s ; нейросетевая модель; статистическое оценивание параметров; статистическое прогнозирование.

Определим на вероятностном пространстве $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ N -мерный ($N \in \mathbb{N}$) двоичный временной ряд $X_t = (x_{t1}, \dots, x_{tN})' \in V^N$, порожденный семейством условных распределений вероятностей:

$$P\{X_t = J_t | \mathcal{F}_{t-1}\} = P\{X_t = J_t | X_{t-1} = J_{t-1}, K, X_{t-s} = J_{t-s}\}, t \in \mathbb{Z}, \quad (1)$$

где $x_{tl} \in V = \{0, 1\}$ – двоичная случайная величина, задающая компоненту номер l временного ряда в момент времени $t \in \mathbb{Z}$, $\mathcal{F}_{t-1} = \sigma\{X_\tau : \tau \leq t-1\}$ – σ -алгебра случайных событий, $J_t = (j_{tl}) \in V^N$ – значение двоичного случайного вектора X_t в момент времени $t \in \mathbb{Z}$, s – глубина предыстории, $s \in \mathbb{N}$.

Рассмотрим ситуацию, когда при фиксированной s -предыстории $X_{t-1} = J_{t-1}, \dots, X_{t-s} = J_{t-s}$ случайные величины $x_{t1}, \dots, x_{tN}$ условно независимы:

$$\begin{aligned} P\{X_t = J_t | X_{t-1} = J_{t-1}, K, X_{t-s} = J_{t-s}\} = \\ = \prod_{l=1}^N P\{x_{tl} = j_{tl} | X_{t-1} = J_{t-1}, K, X_{t-s} = J_{t-s}\}, J_t = (j_{tl}) \in V^N, \end{aligned} \quad (2)$$

где условное распределение l -го бита x_{tl} при условии, что фиксирована s -предыстория, представимо в виде:

$$P\{x_{tl} = j_{tl} \mid X_{t-1} = J_{t-1}, \mathbf{K}, X_{t-s} = J_{t-s}\} = \begin{cases} p_l(J_{t-1:t-s}), & j_{tl} = 1, \\ 1 - p_l(J_{t-1:t-s}), & j_{tl} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Для l -ой ($l=1, \dots, N$) компоненты аналогично [1] определим нейросетевую модель (индекс l опущен для упрощения обозначений):

$$p = p(J_{s:1}) = F(B'F(A'J_{s:1})), J_{s:1} \in V^{Ns}, \quad (4)$$

где $\mathbf{F} = (F_1, \dots, F_m)' : \check{Y}^m \rightarrow \check{Y}^m$ – векторная функция, осуществляющая функциональное преобразование по-компонентно; $B \in \check{Y}^m$ – вектор-столбец параметров модели; $A = (A_1, \dots, A_m) \in \mathbb{R}^{Ns \times m}$ – матрица параметров модели.

Два набора параметров $\theta^{(1)} = (B^{(1)}, A_1^{(1)}, \dots, A_m^{(1)}) \in \check{Y}^{m(Ns+1)}$ и $\theta^{(2)} = (B^{(2)}, A_1^{(2)}, \dots, A_m^{(2)}) \in \check{Y}^{m(Ns+1)}$ являются эквивалентными для модели (1)-(4), если $F(B^{(1)'}F(A^{(1)'}J_{s:1})) \equiv F(B^{(2)'}F(A^{(2)'}J_{s:1})), J_{s:1} \in V^{Ns}$.

Л е м м а 1. Для любого набора параметров $\theta^{(1)} = (B, A_1, \dots, A_m) \in \check{Y}^{m(Ns+1)}$ модели (1)-(4) существует $m!$ эквивалентных ему наборов параметров, отличающихся перестановкой пар $(b_1, A_1), \dots, (b_m, A_m)$.

Статистическое оценивание параметров модели. Для оценивания параметров модели применим FBE-метод [2]. Пусть наблюдается реализация длины T двоичного N -мерного временного ряда $X_{1:T} = (X_1, \dots, X_T) \in V^{TN}$. Примем следующие обозначения: $\mathbf{1}\{C\}$ – индикаторная функция события C , $(1; J_{s:1}) = (1, J'_s J'_{s-1} \dots J'_1)' \in V^{Ns+1}$ – «расширенный» двоичный вектор-столбец,

$$v_s^T(J_{s:1}) = \sum_{t=s}^T \mathbf{1}\{X_t = J_s, \dots, X_{t-s+1} = J_1\},$$

$$v_{s+1}^T(1; J_{s:1}) = \sum_{t=s}^{T-1} \mathbf{1}\{x_{t+1,t} = 1, X_t = J_s, \dots, X_{t-s+1} = J_1\},$$

где $J^{(s)} = \{J_{s:1} \in V^{Ns}, t = s, s+1, \dots, T : v_s^T(J_{s:1}) > 0\} \subseteq V^{Ns}$.

Построим частотную оценку условной вероятности:

$$\hat{p}(J_{s:1}) = \begin{cases} \frac{T-s}{T-s+1} \cdot \frac{v_{s+1}^T(1; J_{s:1})}{v_s^T(J_{s:1})}, & J_{s:1} \in J^{(s)}, \\ \frac{1}{2}, & J_{s:1} \notin J^{(s)}; \end{cases}$$

и статистики:

$$\begin{aligned}\hat{u}(J_{s:1}) &= F^{-1}(\hat{p}(J_{s:1})) \in \check{Y}, E = (e_k) = \sum_{J_{s:1} \in J^{(s)}} \hat{u}(J_{s:1}) F'(A'J_{s:1}) \in \check{Y}^{m \times 1}, \\ D = (d_{ij}) &= \sum_{J_{s:1} \in J^{(s)}} F(A'J_{s:1}) F'(A'J_{s:1}) \in \check{Y}^{m \times m}, D^{-1} = (\bar{d}_{ij}) \in \check{Y}^{m \times m}.\end{aligned}\quad (5)$$

Определим функцию потерь:

$$W(B, A) = \sum_{J_{s:1} \in J^{(s)}} (\hat{u}(J_{s:1}) - B'F(A'J_{s:1}))^2. \quad (6)$$

Чтобы построить статистические оценки $\hat{A}, \hat{B}$ параметров A, B модели (1)-(4) необходимо решить следующую экстремальную задачу:

$$W(B, A) \rightarrow \min_{B, A}.$$

Т е о р е м а 1. Если в (5) определитель $|D| \neq 0$ и известны параметры $A_i = (a_{i,1}, \dots, a_{i,ns})' \in R^{N_s}, i = 1, \dots, m$, то FBE-оценка для B имеет вид :

$$\hat{B} = (b_k) = D^{-1}E; \quad (7)$$

при $T \rightarrow \infty$ она состоятельна:

$$\hat{B} \xrightarrow{P} B^0.$$

Примем дополнительные обозначения: δ_{ij} – символ Кронекера, $\otimes$ – произведение Кронекера, $I_m \in \mathbb{R}^{m \times m}$ – единичная матрица, G_f – матрица Якоби функции F , $J_{s:1}$ для краткости обозначим J , $K_{n,m}$ – коммутационная матрица [3]. Блочная матрица $K_{n,m} \in \mathbb{R}^{nm \times nm}$, состоящая из $n \times m$ блоков, называется коммутационной, если в (i, j) блоке элемент (j, i) равен 1, а все остальные элементы в этом блоке равны 0. ($i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\}$).

Л е м м а 2. В принятых обозначениях справедливы следующие соотношения:

$$\frac{dF(A'J)}{dA} = (I_m \otimes J)K_{1,m}G_F, \frac{dF'(A'J)}{dA} = \frac{dF(A'J)}{dA}K_{1,m}; \frac{dE}{dA} = \sum_{J \in J^{(s)}} \hat{u}(J) \frac{dF(A'J)}{dA};$$

$$\frac{dD}{dA} = \sum_{J \in J^{(s)}} \frac{dF(A'J)}{dA} (F'(A'J) \otimes I_m) + \frac{dF'(A'J)}{dA} (I_m \otimes F'(A'J));$$

$$\frac{dD^{-1}}{dA} = -\frac{dD}{dA} D^{-1} \otimes D^{-1}.$$

Л е м м а 3. Частные производные первого порядка функции $W(\hat{B}, A) = \sum_{J_{s,1} \in J^{(s)}} \hat{u}^2(J_{s,1}) - E'D^{-1}E$ вычисляются по формуле:

$$\frac{dw}{dA} = -\left(\frac{dE'}{dA} + \frac{dE}{dA}\right)\hat{B} - \frac{dD^{-1}}{dA}(E \otimes I_m)E.$$

Используя Леммы 2-3, построим итерационный алгоритм градиентного спуска для статистического оценивания параметров модели (1)-(4):

- 1) инициализируем начальное значение матричного параметра A : $\hat{A}^{(0)}$.
- 2) вычисляем оценку $\hat{B}$ (7): $\hat{B}^{(\tau-1)} = D^{-1}(\hat{A}^{(\tau-1)})E(\hat{A}^{(\tau-1)}), \tau = 1, 2, \dots;$
- 3) обновляем значение оценки $\hat{A}$:

$$\hat{A}^{(\tau)} = \hat{A}^{(\tau-1)} - \alpha \frac{dw(\hat{B}^{(\tau-1)}, \hat{A}^{(\tau-1)})}{dA}, \quad (8)$$

где $\hat{B}^{(\tau)}$ - оценка параметра B на τ -ой итерации, $\hat{A}^{(\tau)}$ - оценка параметра A на τ -ой итерации, α – задаваемая величина шага итерации.

Для нахождения глобального минимума (6) необходимо осуществить итерационный процесс (8) для $L \in \mathbb{N}$ различных вариантов задания $\hat{A}^{(0)}$.

Пусть (B^0, A^0) – истинные значения параметров, (B_π^0, A_π^0) – переставочный набор параметров, где $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_m) \in \Pi_m$ – произвольная подстановка из множества $m!$ всевозможных подстановок на $\{1, \dots, m\}$.

Т е о р е м а 2. Если имеет место модель (1)-(4) с истинными значениями параметров B^0, A^0 , $|D| \neq 0$ и $(\hat{B}, \hat{A})$ – статистические оценки параметров (B^0, A^0) , то при $L \rightarrow +\infty$ и $T \rightarrow +\infty$ имеет место сходимость:

$$(\hat{B}, \hat{A}) \xrightarrow{P} (B_\pi^0, A_\pi^0),$$

для некоторой подстановки $\pi \in \Pi_m$.

Подстановочный алгоритм оптимального прогнозирования на один шаг определяется явным соотношением [4]:

$$\hat{x}_{il} = \mathbf{1} \left\{ \hat{p}_l(X_{t-1:t-s}) - \frac{1}{2} > 0 \right\}, l = 1, \dots, N,$$

$$\hat{p}_l(X_{t-1:t-s}) = F(\hat{B}_{(l)}' \mathbf{F}(\hat{A}_{(l)}' X_{t-1:t-s})),$$

где $(\hat{B}_{(l)}, \hat{A}_{(l)})$ - оценки параметров для l -го бита.

Заключение. В работе получены следующие основные результаты: для многомерных двоичных временных рядов предложена малопараметрическая нейросетевая модель; построена состоятельная статистическая оценка параметров нейросетевой модели; разработаны алгоритм оценивания параметров и подстановочный алгоритм прогнозирования многомерного двоичного временного ряда.

Библиографические ссылки

1. Харин Ю. С. Нейросетевые модели биномиальных временных рядов в задачах анализа данных / Ю. С. Харин // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 6. – С. 654– 660. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-6-654-660>
2. Kharin Yu. Robust estimation for binomial conditionally nonlinear autoregressive time series based on multivariate conditional frequencies / Yu. Kharin, V. Voloshko // J. Multivar. Anal. 2021. Vol. 185. P. 104777. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2021.104777>
3. Kollo T., Rosen D. Advanced Multivariate Statistics and Matrices / T. Kollo, D. Rosen. – Springer, Dordrecht. 2005. 506 s.
4. Харин Ю.С. Оптимальность и робастность в статистическом прогнозировании / Ю. С. Харин - Минск: БГУ, 2008. 263 с.

ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА НА СТАЦИОНАРНОМ КОМПЬЮТЕРЕ

А. А. Белодедов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.belodedov@bsu.by
Научный руководитель — Н. Н. Полеицук, старший преподаватель*

Разработанное учебное приложение-симулятор предназначено для обучения военнослужащих правильному использованию и обслуживанию установки «ЗУ-23-2». В процессе создания приложения были использованы принципы разработки 3D симуляторов, а также применены передовые технологии и инструменты, предоставляемые платформой Unity3D.

Ключевые слова: 3D-модель; Unity; C#; Substance Painter; UV-развертка; моделирование; текстурирование; Maya.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка обучающих интерактивных приложений представляет собой инновационное направление в сфере образования, сочетающее в себе современные методы обучения. В условиях стремительного развития цифрового мира традиционные методы передачи знаний все чаще уступают место интерактивным, адаптивным и персонализированным подходам. Такие приложения позволяют не только повышать эффективность обучения, но и делать его более увлекательным и доступным для широкой аудитории.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ

Для облегчения процесса обучения студентов военной кафедры БГУ была поставлена задача по созданию симулятора установки, который будет использован в образовательных целях. Целью работы являлась разработка учебного симулятора установки «ЗУ 23-2» с использованием 3D технологий и Unity.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить программно-аппаратные средства, используемые для создания компьютерных приложений, работающих с 3D моделями.

2. Подготовить входные данные, необходимые для создания модели.
3. Разработать геометрию модели и интегрировать её в симулятор.
4. Реализовать взаимодействие пользователя с симулятором, обеспечивая интуитивно понятный интерфейс и реалистичное поведение модели.

ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УЧЕБНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

•Unity: игровой движок, используемый для создания основной структуры приложения, управления взаимодействием пользователей и рендеринга 3D графики.[3]

•Autodesk Maya: программное обеспечение для создания высококачественных 3D моделей установки «ЗУ-23-2» и ее компонентов.[2]

•Substance Painter: программа для текстурирования, используемая для создания реалистичных текстур и материалов для 3D моделей.[1]

•C#: язык программирования для написания скриптов в Unity, обеспечивающих взаимодействие пользователей с 3D моделями и управление логикой обучения.[4]

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА УСТАНОВКИ «ЗУ-23-2»

Разработанное учебное приложение-симулятор включает в себя интерактивные 3D модели, анимации и обучающие сценарии, что позволяет пользователям эффективно изучать устройство и эксплуатацию установки «ЗУ-23-2» в виртуальной среде.

Создание 3D модели установки осуществлялось в программной среде Maya. Оно включает в себя такие этапы, как подготовка референсов, создание геометрии модели, создание UV-развертки, экспорт модели в соответствующем формате, текстурирование модели.

Референс – это вспомогательный материал, который служит образцом при выполнении работы. После правильной загрузки референсов приступаем к созданию геометрии 3D-модели. Как правило, оно начинается с построения простых фигур, таких как плоскость, куб, цилиндр и сфера, которые затем превращаются инструментами 3D-моделирования в нужную форму. Геометрия не имеет цвета и не должна быть очень подробной, поскольку одна и та же поверхность при текстурировании может приобрести материал с различными свойствами.

На следующем этапе необходимо сделать UV-развёртку 3D-модели. Дело в том, что программы для текстурирования, в частности Substance Painter, не могут наложить текстуры на модель без предварительной обработки. Необходимо развернуть модель и сделать её двумерную версию.

После специального процесса «запекания» текстур получилось две карты: Normal Map и Ambient occlusion (AO). В конечном итоге получается затекстурированная модель, готовая к внедрению в Unity (рис.1).



Рис.1. Затекстурированная 3D-модель

С помощью написанных скриптов в C# осуществляется взаимодействие пользователя с установкой.

ОПИСАНИЕ УЧЕБНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Учебный симулятор установки «ЗУ-23-2» представляет интерактивную среду, в которой обучаемый может взаимодействовать с установкой, изучать ее компоненты и осуществлять различные операции. Благодаря трехмерной графике пользователь может более наглядно и детально изучать каждую составляющую и механизм установки. Есть возможность проводить компьютерную имитацию работы установки в условиях полигона. Также имеется раздел для проверки знаний, полученных при обучении.

В приложении реализованы несколько разделов:

1. Практический раздел
2. Контролирующий раздел
3. На полигон
4. О программе



Рис.2. Практический раздел приложения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения поставленной задачи был разработан учебный симулятор установки «ЗУ 23-2», предоставляющий возможность изучить составные части установки и устройство автоматов, провести имитацию работы установки в полевых условиях, а также провести комплексную проверку полученных знаний. Для создания симулятора была использована платформа Unity3D, которая обеспечивает возможность разработки кроссплатформенных приложений с трехмерной графикой.

Использование данного приложения будет включено в учебный процесс на военной кафедре БГУ.

Библиографические ссылки

1. Adobe Substance 3D Painter [Электронный ресурс]. URL: <https://www.adobe.com/products/substance3d/apps/painter.html>. Дата доступа: 21.05.2024.
2. Autodesk Maya [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/products/maya/overview> (дата обращения 21.05.2024).
3. Движок Unity [Электронный ресурс]. URL: <https://cubiq.ru/dvizhok-unity/> (дата обращения 18.05.2024).
4. Что такое C# [Электронный ресурс]. URL: <https://timeweb.com/ru/community/articles/chto-takoe-csharp> (дата обращения 20.05.2024).

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ САХАРА И УПРОЩЕНИЯ САМОКОНТРОЛЯ ДИАБЕТА

Е. С. Бельчанкова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ekaterinabel29@gmail.com
Научный руководитель – Трусевич Любовь Анатольевна, ассистент кафедры
информатики и компьютерных систем*

В статье дано описание разработанного десктопного приложения для мониторинга уровня сахара и упрощения самоконтроля диабета на языке программирования C++ с использованием фреймворка QT. Для приложения разработана база данных на основе SQLite. Функционал приложения реализован с учётом потребностей пользователей, а также проведённого сравнительного анализа.

Ключевые слова: приложение для самоконтроля диабета; сахарный диабет; мониторинг уровня глюкозы в крови.

В настоящее время количество пациентов с сахарным диабетом в мире составляет около 463 миллионов, при этом предполагается, что каждый второй пациент не выявлен. По статистике Министерства здравоохранения Республики Беларусь число пациентов с сахарным диабетом в нашей стране за последние 15 лет увеличилось более чем в 2 раза. Так в 2024 году количество пациентов с данным диагнозом ~ 400 тыс. Диабет – одно из наиболее распространенных хронических заболеваний, требующее постоянного мониторинга уровня глюкозы в крови и правильной организации питания. В связи с этим возрастает потребность в инновационных решениях, которые помогут пациентам эффективно контролировать уровень глюкозы в крови.

Сейчас рынок предоставляет множество приложений для самоконтроля диабета с разным функционалом, однако подход к изучению диабета, базовые принципы, единицы измерения и прочие параметры в разных странах отличаются. На данный момент нет удобного и широко используемого продукта подобного типа в Беларуси. Поэтому целью данной работы является разработка приложения для мониторинга уровня глюкозы в крови и самоконтроля диабета для белорусской аудитории.

Таким образом, для создания уникального и полезного продукта был проведён сравнительный анализ популярных приложений на рынке [1] и выявлены их недостатки и достоинства (табл. 1, табл. 2)[2,3,4,5]:

Таблица 1

Сравнительный анализ приложений по основным критериям

Критерий Приложение	Пользовательский функционал	Функциональность	Производительность	Совместимость
DiaMeter: Ваш дневник диабетика	Интуитивно понятный интерфейс, приятная цветовая палитра	Реализованы основные функции, есть полезные дополнительные возможности	При тестировании задержек замечено не было	Android, iOS, Windows, macOS
Дневник диабетика	Интуитивно понятный интерфейс, цветовая палитра выбрана неудачно	Реализованы основные функции, есть полезные дополнительные возможности	При тестировании задержек замечено не было	Android, iOS, macOS
Glycemic Index Load Net Carbs	Интерфейс крайне неудобен, цветовая палитра пестрит цветами	Приложение имеет множество функций, из-за чего смысл продукта теряется	Приложение зависает, бесплатной версией пользоваться тяжело	iOS, macOS
Диабет	Есть поэтапное обучение работы с интерфейсом, приятная цветовая палитра	Реализованы основные функции, есть полезные дополнительные возможности	При тестировании задержек замечено не было	Android, iOS, macOS

По результатам анализа существующих приложений был определён функционал для разрабатываемого приложения:

- построение графиков на основе записей пользователя;
- расчёт среднего значения гликемии за день, неделю, месяц;
- функция «Режим параноика» с улучшениями и дополнениями;
- наличие теоретической информации по заболеванию;
- наличие таблиц с БЖУ и ХЕ продуктов;
- импорт/экспорт данных в формате PDF или Excel;
- безопасное хранение пользовательских данных.

Таблица 2

Сравнительный анализ приложений по дополнительным критериям

Критерий Приложение	Безопасность	Обновления	Отзывы пользователей (на 09.04.2024)	Монетизация
DiaMeter: Ваш дневник диабетика	Данные хранятся в облачном хранилище в зашифрованном виде	Приложение регулярно обновляется	Общая оценка: 4.2 из 5 (всего 433 оценки на AppStore)	Доступна платная подписка
Дневник диабетика	Личные данные шифруются и не предоставляются третьим сторонам	Информация отсутствует	Общая оценка: 4,9 из 5 (всего 8 отзывов на AppStore)	Полностью бесплатное приложение
Glycemic In- dex Load Net Carbs	Данные шифруются и предоставляются строго по запросу	Приложение регулярно обновляется	Общая оценка: 4.6 из 5 (3.2 тысячи оценок на AppStore)	Доступна платная подписка
Диабет	Информация отсутствует	Приложение давно не обновляется	Общая оценка: 4.7 из 5 (2.8 тыс. оценок на AppStore)	Возможна разовая покупка платной версии

В качестве первой версии приложения была выбрана разработка десктопного приложения на языке C++ с использованием фреймворка QT. Для входа в приложение пользователю требуется ввести свой логин и пароль (в случае отсутствия аккаунта – зарегистрироваться). Учётные данные пользователей хранятся в таблице User базы данных приложения, причём пароль храниться в виде хеша (SHA256). При дальнейшей разработке приложения планируется защита личных данных в БД с помощью шифрования SQLite базы данных. На текущем этапе приложение имеет простой и понятный интерфейс на русском языке, в основе которого лежит использование базового класса QWidget. Пользователь может работать с пятью разделами, а именно «Профиль», «Таблица ХЕ», «Школа диабета», «История» и «Дневник».

Раздел «Профиль» подразумевает под собой личный кабинет пользователя, где хранится информация о ФИО пациента, стаж диабета, дозы инсулина и т.д. В текущей версии в данном разделе доступна следующая информация: ФИО, электронная почта, пароль.

Раздел «Таблица ХЕ» содержит информацию о содержании хлебных единиц в различных продуктах. Это облегчает подсчёт дозы инсулина во время приёма пищи.

Раздел «Школа диабета» предоставляет пользователю актуальную информацию о заболевании. Данный раздел полезен не только тем, кто впервые столкнулся с сахарным диабетом, но и тем, кто живёт с этим уже давно. В следующей версии приложения будет увеличено количество обучающей информации, на данном этапе представлено 4 урока.

В разделе «История» пользователю доступны записи, на основе которых корректируется доза инсулина. По внесённым записям на графике отображается кривая сахаров, на основе которой пользователь может корректировать дозировки препарата для максимального выравнивания уровня глюкозы в крови.

Раздел «Дневник» даёт возможность фиксировать глюкозу и факторы, влияющие на неё. Основным фактором изменения уровня сахара является приём пищи. Пользователь может записывать количество съеденных хлебных единиц, дозу болюсного (короткого) и базального (длинного) инсулина, а также фиксировать употребляемую пищу. Это значительно облегчает процесс мониторинга сахаров [6].

Далее планируется разработка мобильного приложения с перенесённым функционалом из текущего проекта. Особое внимание будет уделено визуальной части программы для упрощения использования приложения. Итоговым проектом будет клиент-серверное приложение, в котором доступ к данным пациента будем иметь лечащий врач. Также планируется настроить взаимодействие электронных девайсов для измерения сахара в крови и приложения.

Библиографические ссылки

1. 6 полезных приложений для больных сахарным диабетом [Электронный ресурс] URL: <https://lifehacker.ru/diabet-app> (дата обращения 09.04.2024)
2. App Store: DiaMeter: Ваш дневник диабета [Электронный ресурс] URL: <https://apps.apple.com/ru/app/diameter-ваш-дневник-диабета/id1196947268> (дата обращения 09.04.2024).
3. App Store: Дневник диабетика [Электронный ресурс] URL: <https://apps.apple.com/ru/app/дневник-диабетика/id6446201642> (дата обращения 09.04.2024).
4. Glycemic Index Load Net Carbs on the App Store [Электронный ресурс] URL: <https://apps.apple.com/us/app/glycemic-index-load-net-carbs/id1087424868> (дата обращения 09.04.2024).
5. App Store: Диабет [Электронный ресурс] URL: <https://apps.apple.com/ru/app/диабет/id777219214> (дата обращения 09.04.2024).
6. Вайнилович, Е.Г. Настольная книга для людей с сахарным диабетом: Что важно знать, если у Вас выявлен сахарный диабет 1 типа / Е.Г. Вайнилович, З.В. Забаровская, А.П. Шепелькевич. – Минск: Универсал-Пресс, 2007. 104 с.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ОБЛАСТИ НА КОСМИЧЕСКОМ СНИМКЕ

К. Е. Братулин¹⁾, Е. А. Войтович²⁾

^{1), 2)} *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, bratulin.work@gmail.com*

*Научные руководители – А. А. Спиридонов, старший преподаватель кафедры физики
и аэрокосмических технологий; В.С. Баранова, ассистент кафедры физики
и аэрокосмических технологий*

В работе описывается алгоритм построения полезной области космического изображения. Проведены исследования по времени отработки предложенного алгоритма и алгоритма распознавания объектов на космическом снимке до отработки алгоритма построения полезной области и после. Показано, что алгоритм выделения полезной области сокращает время распознавания объектов на космическом снимке с 6 минут до 3 минут 20 секунд.

Ключевые слова: космический снимок; распознавание; выделение полезной области.

С развитием технологий многие задачи спутников стали дешевыми и автоматизированными: контроль землепользования и сельскохозяйственного производства, мониторинг природных ресурсов, обновление топографических карт. На данный момент, подобные задачи реализует спутник БКА (Белорусский космический аппарат). Изображение, полученное с космического аппарата, представляется матрицей чисел, представляющих собой глубину цвета в оттенках серого. Обычно изображения целевых областей Земной поверхности имеют различную ориентацию, вследствие чего, появляются поля с ненужной информацией в виде черного фона (рисунок 1). Поэтому возникает задача выделения полезной области на изображении в целях сохранения вычислительных ресурсов.

Рассмотрим схему алгоритма выделения полезной области космического снимка (КС). Алгоритм является быстрым и малозатратным по памяти. Однако он может плохо работать на снимках, представляющих собой невыпуклый многоугольник, или же многоугольник с внутренними “дырами”. Блок-схема такого алгоритма представлена на рисунке 2.

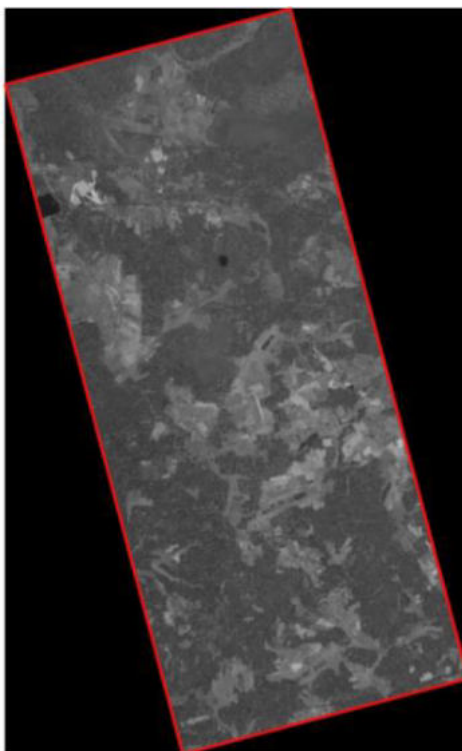


Рис. 1. Космический снимок с полезной областью ограниченной полигоном

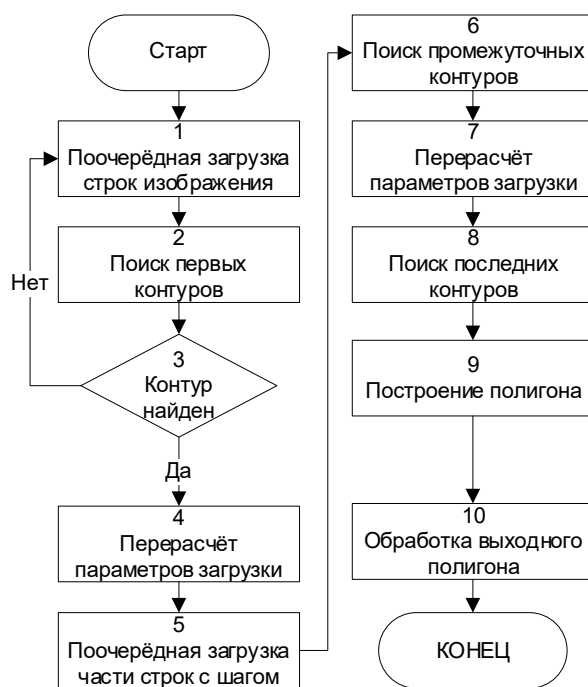


Рис. 2. Алгоритм вычисления полезной области снимка

Алгоритм вычисления полезной области снимка следующий:

1) В первом блоке в память загружается строка снимка и устанавливается единичный шаг. В результате в оперативной памяти будет храниться матрица $N \times 1$, где N – ширина одной строки исходного снимка;

2) Во втором блоке идет поиск первых контуров;

3) В третьем блоке проверяется: найден ли контур. Если контур не найден, то переходим к блоку номер 1, иначе – к блоку 4;

4) В четвертом блоке идет перерасчет параметров загрузки последующих строк. Параметрами являются диапазон и шаг. Диапазон нужен, чтобы оптимизировать вычисления, не загружая всю строку (показано схематично на рисунке 3). Шаг также нужен для оптимизации: части строк будут подгружаться не последовательно, а через шаг. Параметры загрузки определяются пользователем исходя из вычислительных характеристик.

5) В пятом блоке начинается загрузка промежуточных строк с шагом, определенным в параметрах загрузки.

6) В шестом блоке идет поиск промежуточных контуров также, как и во втором блоке, только с шагом, определенном в параметрах загрузки.

7) В седьмом блоке происходят аналогичные действия, что и в блоке 4, только шаг устанавливается снова единицей.

8) В восьмом блоке происходит поиск последних контуров также, как и во втором блоке.

9) В девятом блоке происходит построение полигона по координатам точек, ограничивающих информативную часть снимка, найденных на предыдущих этапах. На этом же этапе происходит упрощение геометрии путем редуцирования.

10) В десятом блоке выполняется постобработка результатов распознавания, полученных от моделей. На данном этапе применяются морфологические операции с целью очистки данных от шума.

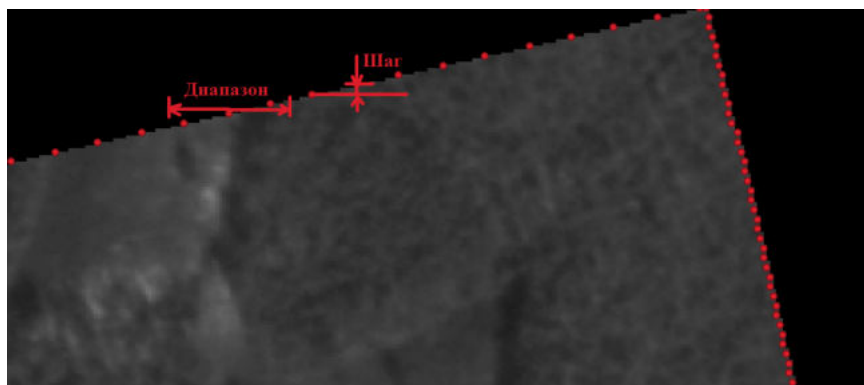


Рис. 3. Работа алгоритма поиска начальной и конечной границ полигона

Для определения производительности алгоритма построения полезной области КС использовалось тестовое изображение размером 1,67 Гб (Ширина - 25801 пикселей, высота - 69262 пикселей, площадь – 1787028862 пикселей. Площадь полезной части – 762814089 пикселей, что составляет 42.69% от всей площади изображения. Процессор и Видеокарта, которые использовались в тестах – Intel i5 13600 и NVIDIA GeForce RTX 4090 соответственно. Время отработки алгоритма построения полезной области КС составляет 6 секунд. Время распознавания объектов на КС без предварительной обработки заняло 6 минут, в то время как предобработка построением полезной области позволила сэкономить время до 3 минут 20 секунд. Разработанный алгоритм выделения полезной области позволил сэкономить общее время распознавания почти в 2 раза.

Библиографические ссылки

1. Архангельская, Е. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская. Санкт-Петербург: Питер, 2018. С. 7 – 12.
2. Бенджио, И. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль; пер. с англ. А. А. Слинкина. 2-е изд. Москва: ДМК Пресс, 2018. С. 282 – 284.
3. Фисенко, В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко; учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. С. 78 – 82.

ИЗМЕРЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОБРАТНОГО СЧЕТА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32

А. А. Булавко¹⁾, А. Л. Труханович²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, alex.shpidagyz@gmail.com

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, Беларусь, atrukhanovich@bsu.by
Научный руководитель — А. А. Субач

Доклад описывает реализацию устройства по измерению ионизирующего излучения методом обратного счета на базе микроконтроллера STM32. В работе представлены выбранные аппаратные средства, основные модули устройства и их функционал.

Ключевые слова: ионизирующее излучение; STM32; сцинтиллятор; метод обратного счета; ФЭУ; таймер.

Измерение ионизирующего излучения, является важной задачей во многих областях, от медицины и промышленности, до научных исследований и экологической безопасности. На сегодняшний день для регистрации и измерения ионизирующих излучений используют фотографический, химический, сцинтилляционный и ионизационный методы [1].

В статье будет рассмотрен сцинтилляционный метод по измерению ионизирующего излучения. Данный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами, такие как: высокая чувствительность и точность, низкий фоновый шум, портативность, возможность измерения уровня радиации в широком диапазоне расстояний [2].

Для измерения ионизирующего излучения использовалось следующее устройство (Рис.1).

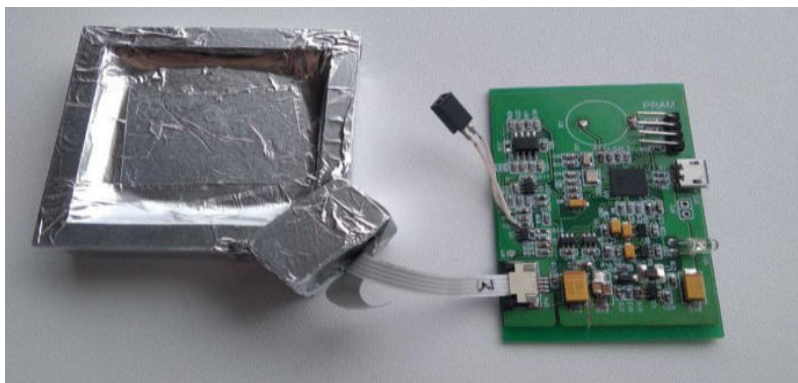


Рис. 1. Устройство для измерения излучения

Прибор состоит из следующих основных составляющих:

1) Сцинтиллятор – это прибор, способный преобразовывать взаимодействие ионизирующего излучения в видимый свет.

2) Кремниевый фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), усиливает и регистрирует свечение, сцинтиллятор обеспечивает основу для измерения ионизирующего излучения [3].

3) Микроконтроллер STM32F401CCU6 выбран в качестве основы для подсчета импульсов, поступающих с ФЭУ [4].

4) Для отображения данных по измерению используется OLED-дисплей, с разрешением 128x64 пикселя [5].

Диаграмма программной реализации алгоритма по измерению ионизирующего излучения методом обратного счета (Рис.2).

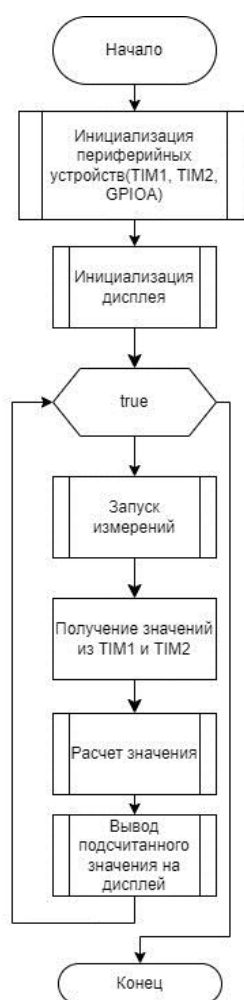


Рис. 2. Диаграмма алгоритма

Первый шаг: Инициализация периферийных устройств. TIM1, TIM2, GPIOA.

Второй шаг: Инициализация дисплея.

Необходимо для отображения полученных значений, при подсчете частоты сигнала.

Третий шаг: Запуск измерений.

TIM1 – счет входных импульсов, TIM – счет импульсов опорного генератора

Четвертый шаг: Получение значений из TIM1 и TIM2.

Пятый шаг: Расчет значения

Шестой шаг: Вывод рассчитанного значения на дисплей

Основная идея измерения ионизирующего излучения на базе микроконтроллера, заключается в применении двух таймеров. Первый таймер отслеживает фронты входного сигнала и фиксирует их в своем канале. Кроме того, он сконфигурирован как ведущий, для формирования выходного сигнала на внутреннем выходе.

Второй таймер используется как подчиненный, управляемый сигналом от первого. По сигналу от первого таймера ко второму, выполняется фиксация в канале второго таймера. Таким образом, по каждому фронту входного сигнала будет происходить синхронная фиксация значений счетчиков в обоих таймерах.

Для предотвращения пропусков переполнений таймеров будет использоваться дополнительный третий таймер. Он будет фиксировать переполнения основных таймеров, что позволит программно увеличить разрядность счетчиков до 32 бит. Важно, чтобы он срабатывал чаще, чем происходят переполнения во втором таймере.

Преимущество данной системы заключается в её гибкости и масштабируемости, что позволяет адаптировать ее под различные задачи и условия использования. Внедрение STM32 дает возможность реализации сложных алгоритмов обработки данных, что в свою очередь улучшает точность и уменьшает время реакции системы на изменения излучения.

Библиографические ссылки

1. Баранова, А. А. Дозиметрия: учеб.-метод. пособие / А. А. Баранова, А. П. Оконечников, В. А. Пустоваров; Мин-во науки и высш. образования РФ. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. 112 с.
2. Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering / P. Lecoq, A. Annenkov, A. Gektin, M. A. Korzhik, C. Pedrini. — B.: Springer, 2006. 251 p.
3. Gulakov I. R., Zenevich A. O., Novikov E. V. Silicon photoelectronic multipliers as a basis for creating combined sensors. Journal of Instrument Engineering. 2021. Vol. 64, N 11.
4. STM32F401xB STM32F401xC Datasheet [Электронный ресурс] URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f401cb.pdf> (дата обращения: 20.03.2024).
5. SSD1306 128 x 64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller [Электронный ресурс] URL: <https://www.datasheethub.com/wp-content/uploads/2022/08/SSD1306.pdf> (дата обращения: 23.04.2024).

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

О. Д. Гринадёр¹⁾, А. А. Ярмантович²⁾, Е. П. Микитчук³⁾,
В. С. Баранова⁴⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, oleggrinaderov@gmail.com

^{2), 3), 4)} Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, Беларусь, yarmatovich@bsu.by, vbaranova@bsu.by, m.helenay@yandex.by
Научные руководители — В. С. Баранова; Е. П. Микитчук, кандидат физико-
математических наук, доцент

В работе рассматриваются вопросы реализации беспроводной оптической связи, предложена альтернатива проводным каналам связи в подвижных соединениях космических летательных аппаратов. Описана реализация демонстрационного макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений, рассмотрены протокол передачи данных в беспроводном оптическом канале, особенности обмена данных.

Ключевые слова: беспроводная оптическая связь; космическая связь; протокол связи NEC; защищенный протокол передачи данных; модуляция длительностью пауз.

ВВЕДЕНИЕ

В проектировании космических аппаратов одной из главных проблем является необходимость прокладки кабельных сборок для внутренней передачи данных между различными блоками. Проводка и жгуты занимают значительную часть массы (до 8%) и объема космических аппаратов, а также создают серьезные трудности на этапе сборки, интеграции и тестирования. Проводные соединения в подвижных частях спутника обладают пониженной надежностью. Для решения этой проблемы исследовались радиочастотные беспроводные технологии связи [1], однако они зачастую накладывают неприемлемые ограничения в отношении электромагнитной совместимости и безопасности. В качестве альтернативы предлагаются методы беспроводной оптической связи. Эти системы имеют низкую вероятность перекрестных помех между каналами, сами не создают электромагнитных помех и обладают высокой устойчивостью к взлому и глушению, что значительно повышает безопасность и надежность связи. Легкость изменения направления распространения оптического сигнала повышает энергоэффективность [2].

В работе рассматриваются вопросы реализации беспроводной оптической связи, предложена альтернатива проводным каналам связи в подвиж-

ных соединениях космических летательных аппаратов (например, шарнирных или суставных соединениях подвижных частей спутника, между телом и манипулятором). Описана структура разработанного макета модуля беспроводной оптической связи, а также реализация демонстрационного макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений, рассмотрены протокол передачи особенности обмена данными в беспроводном оптическом канале [3].

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

На рис. 1 представлены структурная схема и фотография макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений, где Raspberry Pi Pico является центральным управляющим устройством и отвечает за генерацию сигналов для инфракрасного светодиода (L-34F3C), а также обработку сигналов, полученных от фотоприемника (TSOP34833). Инфракрасный светодиод преобразует электрические сигналы в световые импульсы, приемник – импульсы света в электрические колебания, фотоприемник преобразует инфракрасные импульсы в электрические сигналы.

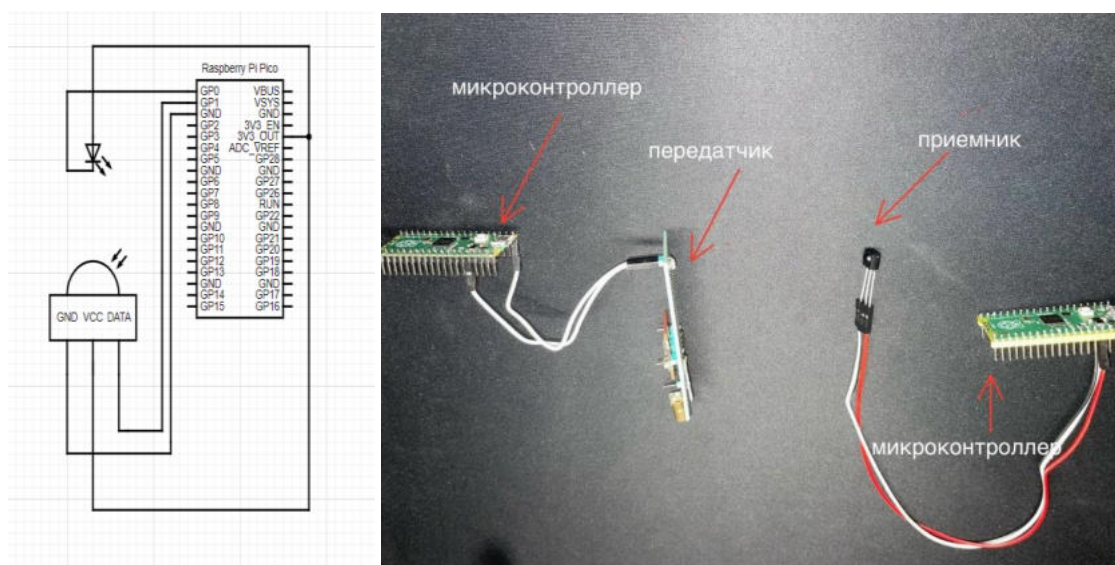


Рис. 1. Электрическая схема подключения (слева) и фотография (справа) макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений

ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОПТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Система использует модулированное инфракрасное излучение для передачи данных от инфракрасного светодиода к фотоприемнику. Существует множество протоколов передачи данных для оптической связи, и в данной работе используется протокол NEC, основанный на модуляции дли-

тельностью пауз (МДП), что обусловлено его высокой надежностью и эффективностью в условиях ограниченного энергопотребления. Структура пакета представлена на рис. 2.



Рис. 2 Структура пакета протокола NEC

В протоколе NEC логические единица и ноль кодируются с помощью пауз разной длительности. Длительность импульса всегда одинакова, а значение бита определяется длительностью паузы после импульса: короткая пауза соответствует 0, а длинная – 1 [4].

ОБМЕН ДАННЫМИ В ОПТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ

Представленная последовательность функций исходного кода реализует передачу данных по инфракрасному каналу связи с использованием протокола NEC. На рис. 3 приведены алгоритмы работы приемника и передатчика в составе макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений. Алгоритм передачи данных работает в следующем образом:

1. При инициализации определяется GPIO-вывод, к которому подключен инфракрасный светодиод. Инициализируется объект PWM для управления светодиодом. Устанавливается частота модуляции (33 кГц) и скважность PWM для инфракрасного светодиода (50%);
2. функции `send_pulse()` и `send_start_pulse()`: `end_pulse()` генерирует один импульс оптического излучения длительностью 560 мкс, `send_start_pulse()` генерирует стартовую последовательность протокола NEC (импульс 9 мс + пауза 4,5 мс);
3. при подготовке данных сообщение «the transfer was successful» преобразуется в массив байтов;
4. функция `send_package()` отправляет стартовую последовательность. Циклически проходит по каждому байту в пакете данных. Для каждого

бита в байте отправляет оптический импульс. Если бит равен 1, устанавливается пауза 1200 мкс, если бит равен 0, устанавливается пауза 200 мкс, устанавливается пауза 5 мс после отправки пакета.

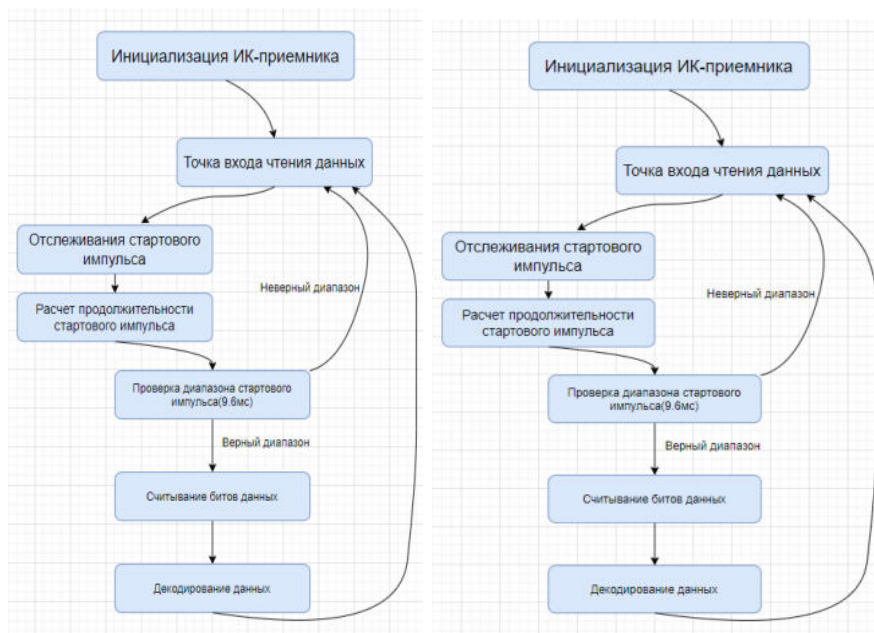


Рис. 3. Алгоритмы работы приемника (слева) и передатчика (справа) в составе макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений

Алгоритм приема данных работает в следующем образом:

1. При инициализации определяется GPIO-вывод, к которому подключен фотоприемник. Инициализируется объект Pin для работы с фотоприемником;

2. функция `read_data()` ожидает начала передачи данных (стартовая последовательность), затем считывает биты данных с фотоприемника, преобразует биты в массив логических значений и возвращает массив данных;

3. основной цикл вызывает функцию `read_data()` для считывания данных, преобразует массив данных в строку и выводит ее на экран. В качестве тестового сообщения отправлен и принят текст “the transfer was successful”. Вид консоли приемника представлена на рис. 4.

Для исследования возможности передачи медиафайлов использовалось бинарное изображение размером 80×80. При передаче изображения по инфракрасному каналу связи некоторые символы переданы некорректно, что привело к искажению отдельных пикселей, исходное и принятое изображения представлены на рис. 5. Скорость передачи данных составила 570,96 бит/с с битовой ошибкой 0,21%, что обусловлено использованием Micropython без помехоустойчивого кодирования.

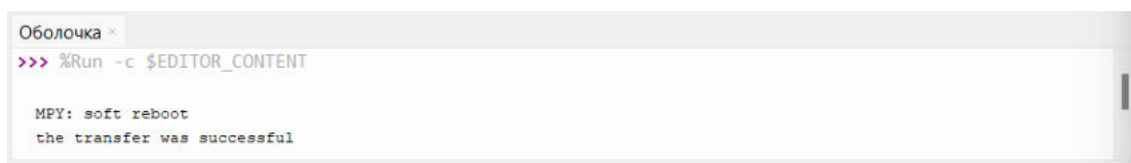


Рис. 4. Вид консоли приемника



Рис. 5. Исходное (слева) и принятое из оптического канала (справа) изображения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения скорости передачи и снижения уровня ошибок планируется использование помехоустойчивого кодирования, дальнейшая оптимизация программного обеспечения, а также учет возможных внешних факторов, влияющих на качество сигнала. В результате, предложенное решение представляет собой перспективную альтернативу традиционным проводным соединениям, так как позволяет снизить массу и объем кабелей, а также повысить общую надежность системы.

Библиографические ссылки

1. Ефимов А.Н., Клименко Д. В. Беспроводные сенсорные сети: учеб. пособие. М.: Изд. центр «Академия», 2012.
2. Кузнецов Д.А. Оптические системы передачи информации: учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2017.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2014.
4. NEC Electronics Corporation. Infrared Transmission Protocol. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/nec.php> (дата обращения: 15.10.2023).

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ СЛОЕВ $\text{LiCoO}_2/\text{LiPON}$ МЕТОДАМИ МАГНЕТРОННОГО И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ

И. В. Капура¹⁾, А. А. Корбан²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, ivankapurapl@gmail.ru

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, korban20@bk.ru

Научный руководитель — П.И. Гайдук, профессор кафедры физической электроники
и нанотехнологий

В работе представлены результаты исследования поверхностных структур и фазового состава тонких слоев LiCoO_2 (LCO) и LiPON, полученных методами магнетронного и электронно-лучевого осаждения. Методом Резерфордского обратного рассеяния (РОР) установлено, что концентрация кобальта в полученных слоях составляет 5% - 8%, при этом кобальт залегает неравномерно по глубине пленки. Рентгенограммы от пленки LiPON указывают на то, что она имеет аморфную структуру с тенденцией нанокристаллического структурирования.

Ключевые слова: электронно-лучевое осаждение; магнетронное осаждение; растворяющая электронная микроскопия; Резерфордское обратное рассеяние; рентгенофазный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время имеется тенденция на уменьшение размеров и увеличение ёмкости литий-ионных батарей, в связи с чем большой интерес вызывают тонкопленочные батареи в полностью твердотельном исполнении (ТБТИ).

Основными составляющими для ТБТИ являются LCO и LiPON, применяемые в качестве катодного материала и твердого электролита. Эти компоненты необходимо выполнять в тонкопленочном исполнении. Для изготовления таких пленок необходимо применять прецизионные вакуумные методы осаждения [2]. Методы электронно-лучевого и магнетронного осаждения позволяют определенным образом [3-4] осаждать тонкие слои с необходимым составом, в данном докладе приведены результаты исследования таких осаждений.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР $\text{LiCoO}_2/\text{LiPON}$ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве подложек использовались слюда и пластины кремния, с ориентациями поверхности вдоль (100) или (111) плоскостей, и температурой подложки 20°C, 300-350°C. После подготовки поверхности проводи-

лось осаждение слоев LiCoO_2 магнетронным методом, первым слоем осаждали Mo толщиной $\sim 50\text{-}100$ нм. Образцы отжигали в условиях вакуума при температуре $400\text{-}450^\circ\text{C}$. Таким образом, были сформированы структуры $\text{Si}/\text{Mo}/\text{LCO}$. Магнетронное нанесение слоев LiPON толщиной ~ 1.6 мкм проводилось при давлении в рабочей камере, равном $0.50\pm 0.05 - 1.25\pm 0.05$ Па. Время осаждения составляло 4 часа. Методом электронно-лучевого осаждения были получены структуры LiCoO_2 с толщиной ~ 730 нм.

Элементный состав осажденных слоев LCO и LiPON измеряли методом Резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов He^+ на ускорителе Орхусского университета (Дания). Исследование структуры образцов проводилось методом просвечивающей электронной микроскопии [4] на микроскопе FEI “Talos” F200X. Для изучения морфологии и структуры поверхностных слоев LiCoO_2 и LiPON в планарном и поперечном сечениях применялись методы растровой (сканирующей) электронной микроскопии, использовался прибор РЭМ S-4800. Исследования фазового состава покрытий проводились на дифрактометре ULTIMA IV.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведены спектры РОР, полученные от слоев LiCoO_2 толщиной $0,5 - 1$ мкм, нанесенных на подложку кремния методом электронно-лучевого испарения (ЭЛИ). В зависимости от режимов нанесения и отжига, происходит оттеснение основного компонента (Co) от границ раздела, что свидетельствует о частичной декомпозиции состава осажденной пленки LiCoO_2 (LCO). Концентрация кобальта в слоях составляет $5\% - 8\%$, при этом кобальт залегает в узком слое, неравномерно по глубине пленки.

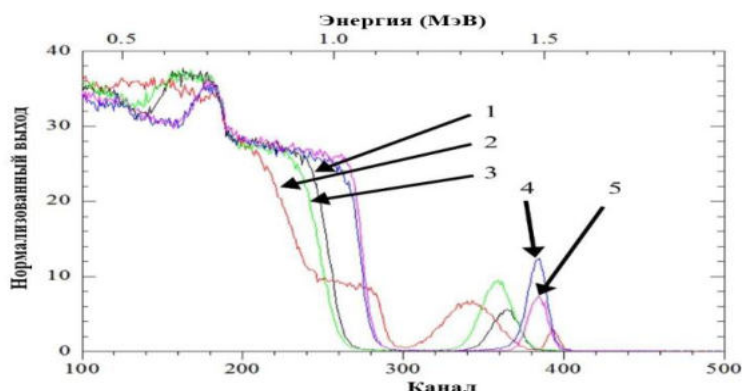


Рис. 1. Спектры РОР от слоев LCO , нанесенных на подложку кремния методом ЭЛИ. 1 – 15% , $0,5$ мкм, без отжига; 3 – 10% , 1 мкм, без отжига; 4 – 10% , $0,5$ мкм, отжиг 400°C ; 2 – 15% , 1 мкм, без отжига; 5 – 10% , $0,5$ мкм, в кислороде, но без плазмы, отжиг

Результаты РОР также предоставляют информацию о толщине осажденных слоев LCO, которые хорошо коррелируют с данными, полученными методом РЭМ. На рисунке 2 приведены микрофотографии, показывающие поперечные сечения структур Si/LiCo_xO_y в наклонной геометрии. Слои LiCo_xO_y осаждали при комнатной температуре на подложки кремния путем электронно-лучевого испарения. Испарение проводили при плазменном ассистировании. Состав газовой плазмы O₂/Ar при нанесении составлял 1/3 и 1/20 для образцов (а) и (б) соответственно. Хорошо видно, что толщина осажденных слоев, а также их микроструктура зависит от состава исходных таблеток испаряемого порошка, а также от состава газовой плазмы. Слои большей толщины получены при испарении из таблеток состава LiCoO₂ + 10 % Li₂CO₃ при соотношении O₂/Ar в плазме 1/20. В дополнение, слой LiCo_xO_y в образце (б) имеет более выраженную столбчатую структуру, что, по-видимому, является положительным признаком для катодного слоя.

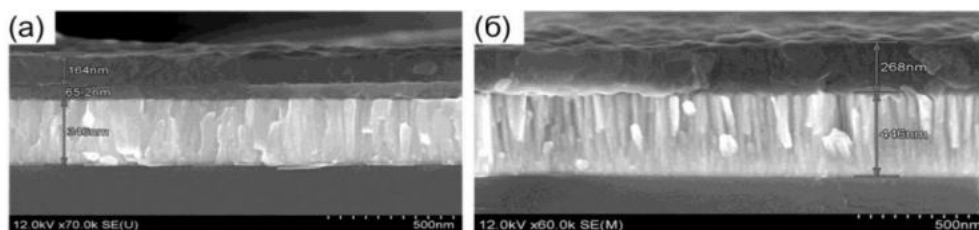


Рис. 2. Микрофотографии РЭМ структур LiCo_xO_y на кремнии, полученных методом ЭЛИ таблеток различного состава:

а - таблетка стандартного состава, б – таблетка состава LiCoO₂ + 10 % Li₂CO₃

Спектры рентгеновской дифракции от образцов не имеют заметных пиков от LCO, что может свидетельствовать об их аморфной структуре. Термический отжиг при температуре 600 °С – 800 °С приводит к кристаллизации слоев и появлению фазы LCO.

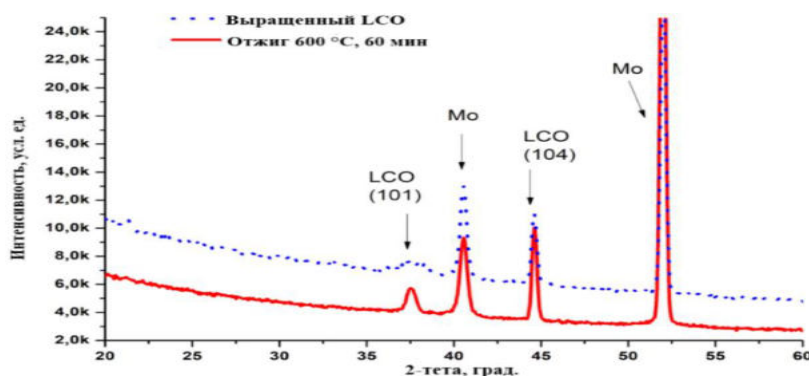


Рис. 3. Типичные рентгенограммы от слоев LCO после их осаждения и последующего термического отжига

Данные ПЭМ-исследований слоя LiPON (рис. 4(а)) демонстрируют пористую структуру почти аморфного слоя LiPON в приповерхностной области.

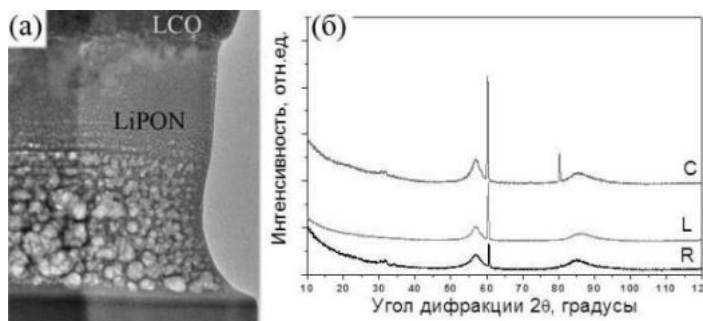


Рис. 4. Структурно-фазовое состояние магнетронно-осажденного слоя LiPON:
а - светопольное Х-ПЭМ-изображение структуры, б – рентгенограммы

Рентгенограммы от пленки LiPON (рисунок 4 б), получены от образцов, осажденных в одном цикле напыления. Большая ширина дифракционных пиков указывает на то, что пленки LiPON имеют аморфную структуру с тенденцией нанокристаллического структурирования (формирования ближнего порядка упорядоченности атомов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом методами электронно-лучевого и магнетронного осаждения сформированы слои LiCoO_2 и LiPON, которые, по своим структурно-фазовым характеристикам и элементному составу пригодны для использования в ТБТИ. Методами РЭМ установлена столбчатая структура слоев LCO толщиной 446 нм. Показано, что полученные пленки LiPON обладают аморфной структурой.

Библиографические ссылки

1. Gray, F.M. Solid Polymer Electrolytes: Fundamentals and Technological Applications / F.M. Gray // VCH Publishers. 1991.
2. Gaiduk, P.I. Device for vacuum deposition of multi-component thin films of variable composition / P.I. Gaiduk, F.F. Komarov, V.S. Tishkov // Elektronika. 1997. V. 38. № 5. P. 26.
3. Чиу, К.Ф. Тонкие пленки оксида лития-кобальта, нанесенные при низкой температуре методом ионизированного магнетронного распыления / К.Ф. Чиу // Тонкие твердые пленки. 2007. 515 с.
4. Хирш, П. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан. Москва: Мир, 1968. С. 575.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОДИНОЧНЫХ МОЛЕКУЛ В БИОИЗОБРАЖЕНИЯХ

И. А. Качук

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, kachuk.irina@mail.ru
Научный руководитель – И. С. Эйсмонт, старший преподаватель*

Работа посвящена изучению основных подходов к локализации одиночных молекул в биоизображениях, основанных на флуоресцентной микроскопии, классических алгоритмах и машинном обучении, а также рассмотрению разработанного программного кода с реализацией алгоритма, позволяющего определять положение одиночных молекул в биоизображениях.

Ключевые слова: суперразрешающая флуоресцентная микроскопия; одиночные молекулы; биоизображения; локализация; фильтр Гаусса; анализ Фурье.

В связи с быстрым развитием технологий в областях биологии и медицины, важным направлением исследований является изучение структуры и функционирования биомолекул. Традиционные методы, такие как электронная микроскопия или рентгеноструктурный анализ, имеют свои ограничения и не всегда позволяют получить необходимую информацию о молекулах. Однако развитие суперразрешающей флуоресцентной микроскопии (SRM), преодолевающей дифракционный предел световой микроскопии, позволило получать изображения с нанометровой точностью и на их основе использовать различные подходы к локализации одиночных молекул.

К наиболее распространенным методам SRM относятся стохастическая оптическая реконструкция (STORM) и фотоаквационная локализационная микроскопия (PALM). Они используют последовательную активацию и деактивацию флуорофоров – молекул, поглощающих и испускающих свет на разных длинах волн; с дальнейшим определением их координат классическими алгоритмами [1, 2].

Классические алгоритмы локализации одиночных молекул включают различные математические и численные методы. Координаты молекул можно вычислить как с помощью гауссовой функции или центроидного метода, так и с помощью метода k -ближайших соседей или анализа Фурье [3]. Каждый из этих методов обеспечивает надежные способы изучения биоизображений и остаётся актуальным в биомедицинских исследованиях.

Кроме того, методы машинного обучения, особенно нейронные сети, такие как U-Net, становятся все более актуальными в задачах локализации

одиноким молекулам благодаря своей способности обучаться на больших наборах данных и выявлять сложные закономерности [4].

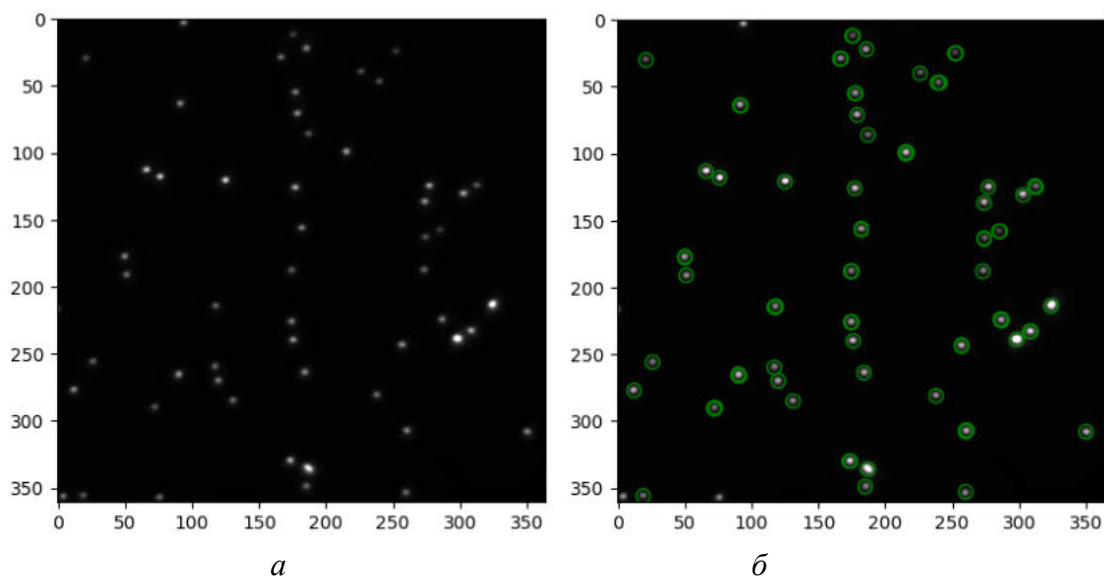
Знания о подходах к локализации одиночных молекул позволяют создать программный код, способный определять точное положение и координаты молекул на основе изображений, полученных методом флуоресцентной микроскопии. Для этого используется язык программирования Python и набор библиотек для работы с изображениями и численными данными.

Первым шагом в работе с биоизображениями является их обработка. Для выделения особенностей изображения применяется разностный фильтр Гаусса. Он основан на идее вычитания одного размытого изображения из другого с более широким размытием. Размытие применяется для сглаживания изображения и уменьшения шума с использованием двумерной функции Гаусса:

Применение фильтра Гаусса к изображению с помощью встроенной функции `gaussian_filter` из модуля `scipy.ndimage` заключается в свертке изображения с Гауссовым ядром. Размер ядра определяется эмпирически и обычно выбирается так, чтобы оно покрывало большинство значений функции. Для двух размытых изображений $G_1(x, y)$ и $G_2(x, y)$ с разными значениями параметров размытия, разностный фильтр Гаусса определяется как разность $G_1(x, y) - G_2(x, y)$.

Этот фильтр может быть полезен для медицинских изображений в качестве обнаружения опухолей разных размеров, благодаря способности выявления деталей на разных уровнях разрешения.

Следующим шагом в обработке изображения является поиск локальных максимумов с помощью функции `peak_local_max` из библиотеки `skimage.feature` и их частичное удаление на краях изображений во избежание ошибок и артефактов, связанных с обработкой граничных областей. В качестве порогового значения используется параметр, кратный стандартному отклонению отфильтрованного изображения. Функция отбрасывает все пиксели, значения которых ниже заданного порога. Процесс поиска максимума сводится к анализу локальной окрестности для каждой точки. Если значение в данной точке превышает значения всех ее соседей и превышает установленное пороговое значение, то она считается локальным максимумом. В результате получается массив координат найденных одиночных молекул. Визуализация полученных результатов представлена на рисунке.



Результаты локализации одиночных молекул:

a – исходное изображение; b – отображение найденных локальных максимумов

Для получения более точных координат можно использовать субпиксельную локализацию с анализом Фурье для преобразования изображения в частотную область. Важным этапом является выделение областей интереса для каждого локального максимума с заданным значением окна, что позволяет сосредоточиться на местах, в которых находятся необходимые для исследования объекты.

Над каждой областью интереса выполняется двумерное быстрое преобразование Фурье с помощью функции `fft.fft2` из библиотеки `numpy`. В результате применения функции получается комплексный массив того же размера, что массив области интереса, где каждый элемент содержит амплитуду и фазу соответствующей частотной компоненты. Для субпиксельных значений x и y вычисляется фазовый угол как арктангенс отношения мнимой части к действительной. Правильный результат достигается с помощью корректировки на π и 2π дополнительных углов, выходящих за пределы диапазона $[-\pi; \pi]$. Субпиксельное смещение вычисляется как отношение абсолютного значения фазового угла к размеру шага дискретизации частотного пространства, который равен $\frac{2\pi}{N}$, где N – размер окна области интереса. А окончательные субпиксельные координаты вычисляются путем добавления субпиксельных смещений к центру области интереса [5].

В таблице приведены численные значения как пиксельных, так и субпиксельных координат найденных одиночных молекул в количестве 10 образцов из 51.

Координаты молекул

№	Пиксельные координаты	Субпиксельные координаты
1	(239; 298)	(239,4158; 298,6532)
2	(213; 324)	(213,9696; 324,8074)
3	(336; 187)	(336,2918; 187, 4396)
4	(121; 126)	(121,2700; 125,7616)
5	(113; 66)	(113,5238; 66,5708)
6	(118; 76)	(118,6688; 76,8099)
7	(330; 173)	(330,4426; 174,1017)
8	(233; 309)	(233,3703; 308,7814)
9	(99; 215)	(100,0004; 215,9166)
10	(131; 302)	(131,1914; 303,1351)

Результат работы показывает, что алгоритм, реализованный в рамках программного кода на языке Python, эффективно решает задачу локализации одиночных молекул в биоизображениях. Выделение областей интереса вокруг локальных максимумов позволяет детально исследовать снимок, а использование разностного фильтра Гаусса и субпиксельной локализации молекул на основе анализа Фурье предоставляет возможность выделять и точно определять положение молекул. Рассмотренная реализация алгоритма может способствовать повышению качества анализа биоизображений, подтверждая свою актуальность в рамках биомедицинских исследований.

Библиографические ссылки

1. *Small A., Stahlheber S.* Fluorophore localization algorithms for super-resolution microscopy / A. Small, S. Stahlheber // *Nature Methods*. 2014. Vol. 11. P. 267-279. DOI: 10.1038/nmeth.2844.
2. *Herbert S.* Single-Molecule Localization Super-Resolution Microscopy: Deeper and Faster / S. Herbert, H. Soares, C. Zimmer, R. Henriques // *Microscopy and Microanalysis*. 2012. Vol. 18, № 6. P. 419-429. DOI: 10.1017/S1431927612013347.
3. *Balzer B.N., Hugel T.* Single-Molecule Detection and Manipulation / B.N. Balzer, T. Hugel // *Polymer Science: A Comprehensive Reference*. 2012. Vol. 2. P. 629-645. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.01334-5.
4. *Ronneberger O.* U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015: materials of 18th International Conference, München, October 5-9, 2015 : Part III / Lecture Notes in Computer Science, Volume 9351; eds.: N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, A. F. Frangi*. Springer, 2015. P. 234-241.
5. *Martens K. J. A.* Phasor based single-molecule localization microscopy in 3D (pSMLM-3D): An algorithm for MHz localization rates using standard CPUs / K. J. A. Martens, A. N. Bader, S. Baas, B. Rieger, J. Hohlbein // *The Journal of Chemical Physics*. 2018. Vol. 148, iss. 12, № 123311. P. 1-6. DOI: 10.1063/1.5005899.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

К. Д. Колесников

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, kolesnikovkirilld@gmail.com*

*Научные руководители – Н. Н. Яцков, кандидат физико-математических наук,
доцент; О. Ф. Ковалев, старший преподаватель*

В работе представлено программное приложение для корреляционного анализа стереоизображений. В разработанное приложение внедрены алгоритмы оконного сопоставления стереоизображений, эффективность которых была подтверждена на примерах стереоизображений. Программное приложение включает вычислительные процедуры генерации карты глубины, ее постобработки и анализа процесса построения, а также функционал для оценки качества полученной карты при имеющейся подлинной.

Ключевые слова: стереозрение; карта глубины; программное приложение; корреляционный анализ; оконное сопоставление стереоизображений; Java.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием технологий значительно увеличилась потребность в имитации человеческого (бинокулярного) зрения. Главной особенностью такого зрения является возможность получения информации об удаленности до объектов [1]. Задача извлечения пространственной информации рассматривается в области компьютерного стереоскопического зрения (далее – стереозрения). Решением задачи стереозрения является двумерное изображение – карта глубины, хранящая расстояния до объектов, запечатленных на исходном изображении.

Стереозрение находит применение во множестве областей – начиная от робототехники, кинематографии, компьютерной графики и заканчивая системами автоматического управления [2].

В настоящее время задача стереозрения не решена полностью. Это обусловлено рядом особенностей реальных изображений – таких, как, к примеру, наличие окклюзий, теней, отражений, однородных и квазипериодических областей и, конечно, значительный вклад вносит наличие неоднородностей в освещении. С каждым годом разрабатываются все более эффективные алгоритмы, учитывающие вышеприведенные особенности.

Имеется множество программных приложений и веб-ресурсов, предоставляющих функционал для решения задачи стереозрения. Среди наиболее популярных – такие, как *IMAGEamigo*, *Depth Map Creator*, *Depth Scanner*, *Photoshop*, *AutoDepth Image Viewer* и *DMAG9*. Перечисленные прило-

жения имеют ряд недостатков – являются коммерческими; зачастую требуют интернет-соединение; в большинстве для вычисления карты применяются монокулярные подходы, которые не являются теоретически обоснованными [3, 4]; в части из них нет гаранта конфиденциальности данных или вовсе отсутствует графический интерфейс.

Целью данной работы является разработка алгоритмов и программного обеспечения, предназначенных для корреляционного анализа стереоизображений.

ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТКИ

Программное приложение написано на языке программирования Java. Графический интерфейс приложения представлен на рисунке 1.

Разработанное приложение планируется распространять по модели лицензии *freeware* – как бесплатное программное обеспечение. Кроме того, все вычисления происходят локально – отсутствует угроза нарушения конфиденциальности обрабатываемой информации.

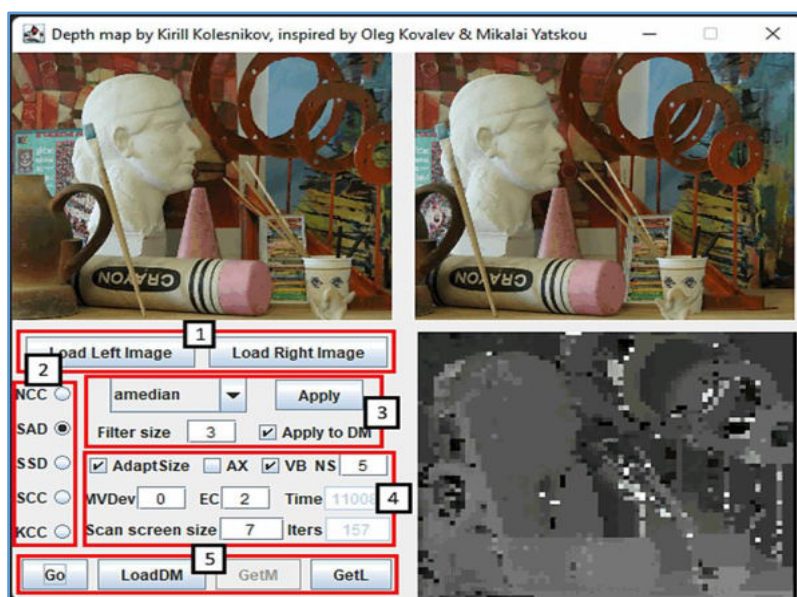


Рис. 1. Графический интерфейс разработанного приложения

Рассмотрим графический интерфейс приложения. В верхней части интерфейса отображается загруженная стереопара, в нижней слева – функциональная часть интерфейса, а справа показывается построенная карта глубины. Функциональная часть логически разбивается на 5 блоков.

В первом блоке функциональной части приложения имеются опции по загрузке стереопары. Второй блок дает возможность выбора меры сходства, что используется при определении подобия областей во время рас-

чета карты. Третий блок предоставляет выбор метода постобработки полученной карты. Среди представленных методов постобработки – фильтры из семейства медианных, необходимые для уменьшения алгоритмического шума, что носит импульсный характер. Четвертый блок отвечает за выбор параметров алгоритма оконного сопоставления стереоизображений, среди которых – размер окна сканирования, коэффициент расширения EC , количество сегментов NS и переключатель режима работы алгоритма *AdaptSize*, который дополняет основной алгоритм подходами адаптивного растяжения и локального ограничения области поиска [5, 6]. По окончании расчета отображаются затраченное на вычисление время (в миллисекундах) и среднее количество сопоставлений на область.

Наибольший интерес представляет пятый блок функциональной части – в нем находятся опция по получению метрики качества карты (относительно истинной карты, определяется как максимум их корреляционной функции) и опция анализа полученных результатов.

МОДУЛЬ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ

Алгоритмы стереозрения вносят некоторое в результаты количество ошибок. Для их анализа и дальнейшего устранения предназначен модуль анализа результатов. Для запуска модуля достаточно выбрать опцию *GetL* в основном интерфейсе, после завершения подсчета карты. Графический интерфейс данного модуля изображен на рисунке 2.

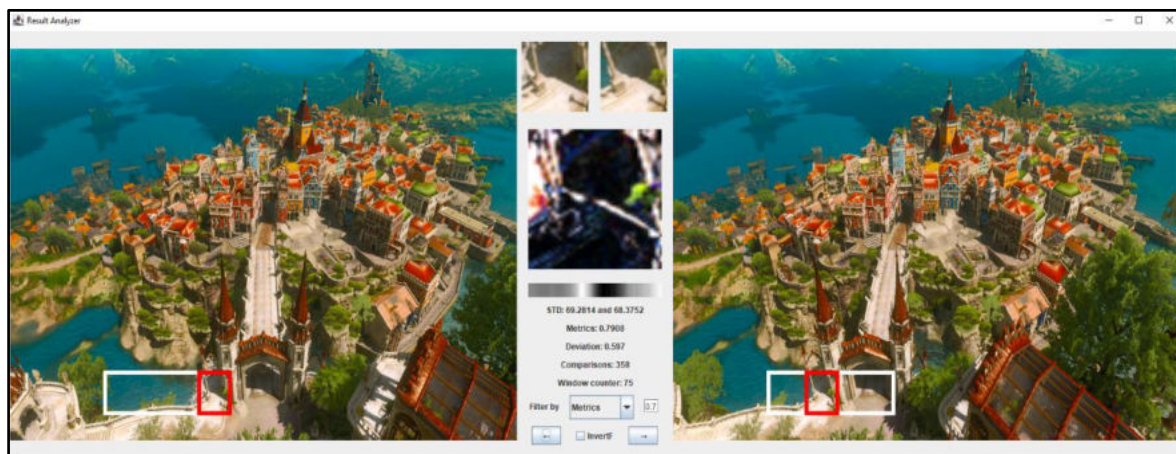


Рис. 2. Модуль анализа результатов

Слева и справа располагаются изображения исходной стереопары с нанесенными на них рамками. Красная рамка показывает границы текущей рассматриваемой области (на левом изображении) и соответствующей ей области, определенной алгоритмом (на правом). Белая рамка показывает ограничение диапазона поиска. Соответствующие области в увеличенном

варианте располагаются в верхней центральной части интерфейса. За ними следуют их разностное изображение и визуализация корреляционной функции по данному диапазону поиска. Разностное изображение необходимо для визуальной оценки качества соответствия, а визуализация корреляционной функции дает возможность рассмотреть альтернативные решения. Далее отображаются некоторые параметры данного соответствия, а именно: СКО областей, величина их сходства, нормированная разность координат, количество затраченных сравнений и номер текущего соответствия. В нижней же части центральной области находятся итераторы по соответствиям с возможностью задавать фильтр по описанным параметрам.

Основная задача модуля – пояснить результаты алгоритма. Его использование незаменимо в случаях, когда в алгоритм привносятся некоторые модификации и когда необходимо оценить их эффективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны алгоритмы и программное приложение для корреляционного анализа стереоизображений. Программное приложение имеет следующие преимущества в сравнении с аналогами: предоставляет обширный функционал как по генерации карты глубины, так и по обработке полученных результатов, их анализу; для работы не требуется интернет-соединение – все вычисления производятся локально; получаемые результаты детерминированы – используется бинокулярный подход; приложение имеет удобный графический интерфейс.

Библиографические ссылки

1. Turski J. Geometric Study of Human Binocular Vision with Misaligned Eye Optics // 2024, DOI: 10.1101/2024.06.01.595622.
2. Zhang Y. 3D Computer vision. Principles, Algorithms and Applications // Publishing House of Electronics Industry, 2024, ISBN: 978-981-19-7579-0.
3. Towards Robust Monocular Depth Estimation: Mixing Datasets for Zero-Shot Cross-Dataset Transfer / R. Ranftl [et al.] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2020, Vol. 1. DOI: 10.1109/TPAMI.2020.3019967.
4. Monocular Depth Estimation Algorithm Integrating Parallel Transformer and Multi-Scale Features / W. Wang [et al.] // Electronics, 2023, DOI: 10.3390/electronics12224669.
5. Колесников К. Д., Яцков Н. Н., Ковалев О. Ф. Алгоритм определения сходства между однородными областями на стереоизображениях // Минск, НИИПФП, 2023, УДК 004.932.
6. Колесников К. Д., Яцков Н. Н., Ковалев О. Ф. Разработка локального алгоритма ограничения области поиска в задаче стереозрения // Компьютерные технологии и анализ данных (СТДА`2024), Минск, 2024, С. 301-304.

ФОРМИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТИОТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА И СТЕКЛОВОЛОКНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

А. С. Коровицкий¹⁾, В. Ю. Филиппович²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, rci.korovick@bsu.by

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, rci.filipovyy@bsu.by

Научные руководители – Ф. Ф. Комаров, доктор физико-математических наук, профессор; И.Д. Парфимович, старший научный сотрудник лаборатории элионики; М. Н. Жукова, младший научный сотрудник лаборатории элионики

В работе приведены результаты исследования взаимодействия электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне с композиционными материалами на основе эпоксидного полимера ЭД-20 и стекловолоконной ткани, наполненных углеродными нанотрубками. По результатам исследований было установлено, что полученные композиционные материалы обладают свойствами как экранировки, так и антиотражающими для падающего излучения в УФ, видимом, ближнем и среднем ИК, а также СВЧ диапазонах в зависимости от концентрации углеродных наполнителей серии «Таунит-М», «Таунит-МД».

Ключевые слова: углеродные нанотрубки; композиционные материалы; эпоксидный полимер; экранирующие покрытия; антиотражающие покрытия.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из проблем использования высокочастотной техники является электромагнитное загрязнение окружающей пространства [1]. В связи с этим проблема экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) является весьма актуальной.

Большую популярность получило создание и применение легких и эластичных полимеров, наполненных углеродными наночастицами.

В данной работе для эффективного поглощения ЭМИ в широком спектральном диапазоне изготавливались композиционные материалы на основе двух различных матричных материалов, наполненных многостеночными углеродными нанотрубками (МУНТ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В СВЧ диапазоне, измерения коэффициента пропускания и отражения композита на основе стекловолоконной ткани, наполненной МУНТ «Таунит-МД» с концентрациями 0,01 вес. %, 0,05 вес. %, 0,1 вес. %, 0,5 вес. %

проводились с помощью метода линии передач с использованием программного комплекса N1500A Materials Measurement Suite. Для определения параметров материалов использовался метод прецизионного измерения диэлектрической проницаемости ϵ из параметров отражения/прохождения. Измерительная ячейка из состава волноводного калибровочного комплекта X11644A представляла собой четверть-волновую вставку с размерами 22,86 x 10,16 мм.

Для измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражения в диапазоне от 0,2 до 2,5 мкм использовался двухлучевой сканирующий спектрофотометр Lambda 1050, а от 2,5 до 25 мкм использовался ИК-фурье – спектрометр Spectrum 3 Optica. Облучение атомарным кислородом полимера и композита происходило с помощью плазменно-пучковой установки со следующими параметрами: средняя энергия ионов 20-40 эВ; состав потока - нейтралы O и O₂, ионы O⁺ и O₂⁺, плазменные электроны; эффективный флюенс по каптоновому эквиваленту для образцов: $(1,7 \div 30) \times 10^{20}$ ат/см².

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На Рис. 1 представлены графики зависимости коэффициента отражения от частоты падающего излучения для композиционных материалов на основе стекловолоконной ткани и эпоксидного полимера с разными концентрациями МУНТ «Таунит-МД».

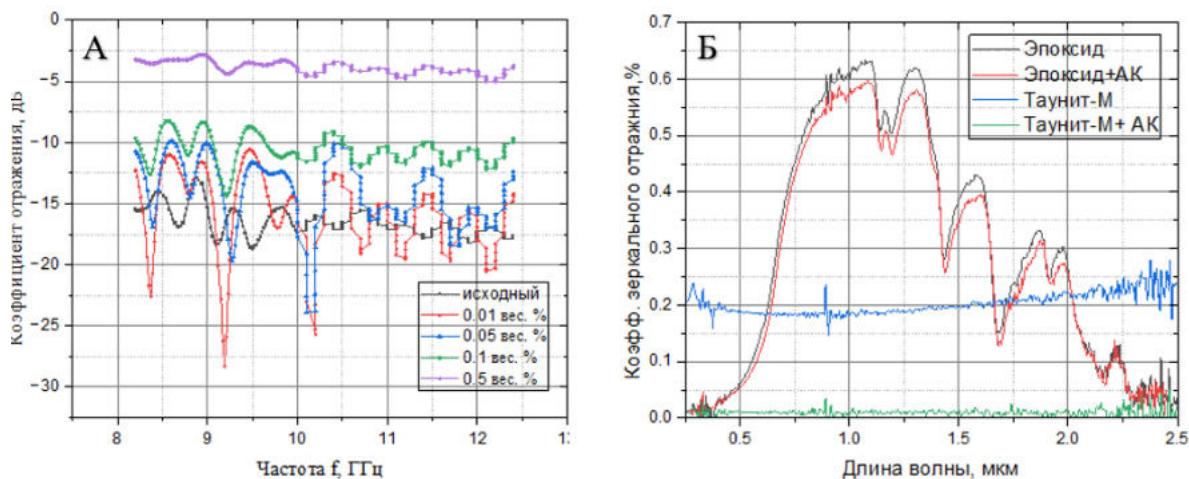


Рис. 1. Графики зависимости коэффициента отражения от частоты(а);
графики зависимости коэффициента зеркального отражения от длины волны (б)

С увеличением концентрации трубок значение коэффициента отражения ЭМИ увеличивается, что особенно заметно для концентрации 0,5 вес. %, когда уровень ослабления отражения не превышает -3 – -4 дБ. Анализ

спектров пропускания (не приводим) свидетельствует о том, что с точки зрения эффективной экранировки падающего ЭМИ подходящими будут являться композиционные покрытия с концентрацией МУНТ не менее 0,5 вес. %. Результаты моделирования спектров отражения (Рис. 2) показывают, что для композиционных покрытий с концентрациями МУНТ 0,01 и 0,05 вес. % наиболее явно выражены резонансные частоты. Следовательно композиционные покрытия с концентрациями МУНТ 0,01 и 0,05 вес. % могут эффективно поглощать излучение в узких частотных диапазонах. Так для композиционного покрытия с концентрацией 0,01 вес. % ослабление отражения (-18 дБ) наблюдается при частоте 10,02 ГГц, а для 0,05 вес. % УНТ аналогичное поведение коэффициента отражения ЭМИ будет происходить на частотах 9,7 – 10,02 ГГц.

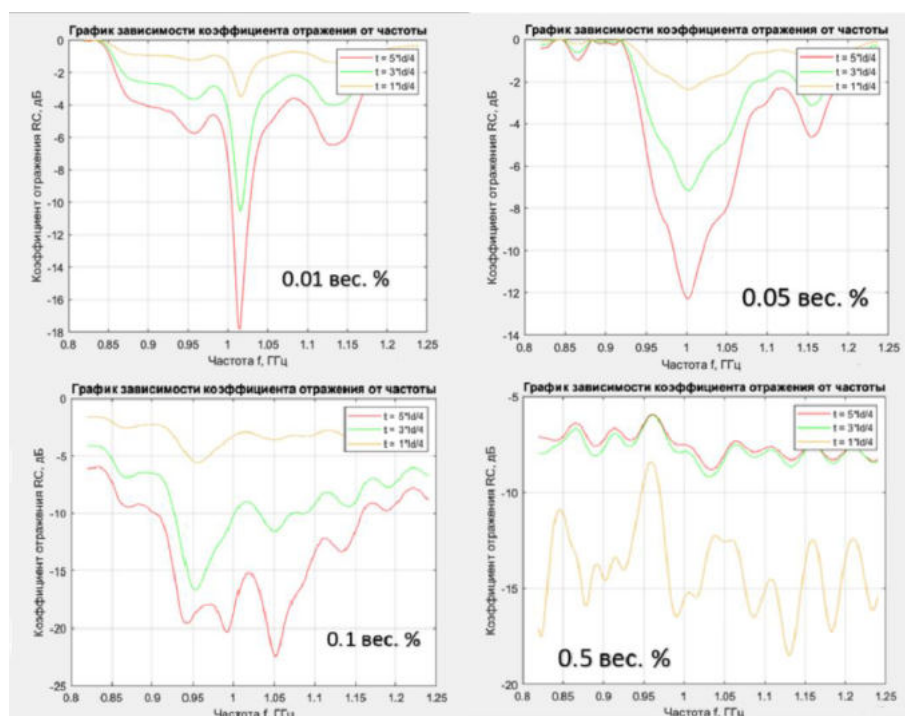


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента отражения RC от частоты ЭМИ

Была исследована зависимость коэффициента отражения от длины волны ЭМИ для каждого из обсуждаемых образцов.

Приведенные данные на Рис. 1Б, 3 и 4 свидетельствуют о том, что формирование развитого эрозионного рельефа поверхности приводит к сильному снижению отражательной способности композита с углеродными наполнителями во всей спектральной области 0,2-25 мкм.

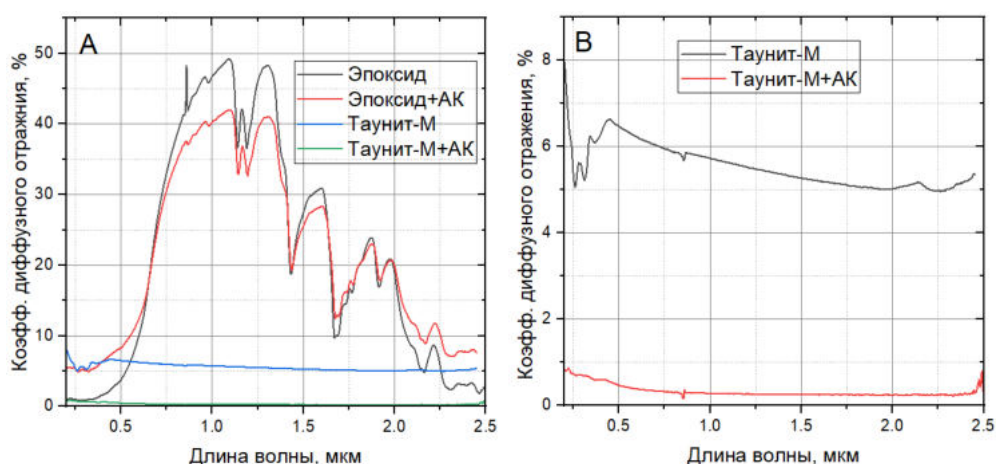


Рис.3. Спектры диффузного отражения эпоксидной смолы и композита с углеродными нанотрубками до и после облучения в кислородной плазме в диапазоне (0,2 – 2,5 мкм) (а); это увеличенный вариант левого графика (б)

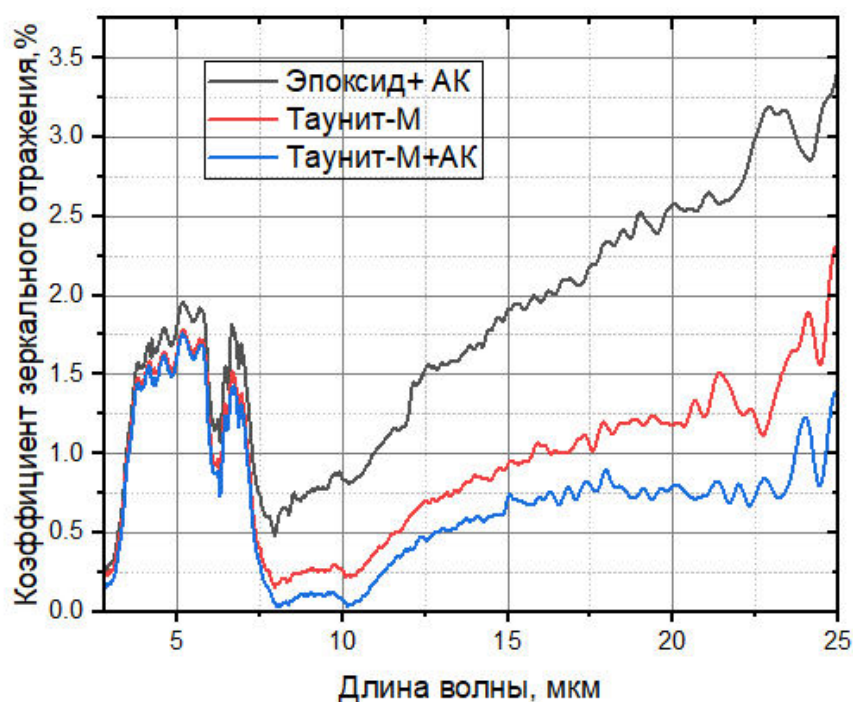


Рис. 4. Спектр зеркального отражения эпоксидной смолы и композита с углеродными нанотрубками до и после облучения в кислородной плазме в диапазоне (2,5-25 мкм)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о перспективности применения данных композитов в качестве антиотражающих покрытий в оптических и оптоэлектронных системах как космических аппаратов, так и для наземных применений, а также для экранировки систем космической электроники от ЭМИ СВЧ диапазона.

Библиографические ссылки

1. Микроволновые характеристики композитного материала на основе эпоксидного полимера с добавлением графеновых и ферритных наноматериалов / *И. Д. Парфимович* [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2019. Т. 63, № 1. С. 22–28. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-22-28>
2. *И.Д. Парфимович, Ф.Ф. Комаров, В.П. Кныш, А.Г. Ткачев*/ Наноструктурированное углеродными нанотрубками широкополосное радиопоглощающее покрытие//Nanostructured, nanoscale materials and nanodevices. 2023;8(3): 185-195. DOI: 10.17277/jamt.2023.03. pp. 185-195

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА НА УЧАСТКАХ ТОРФОДОБЫЧИ

А. Д. Косенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, kosenkoanton13@gmail.com
Научный руководитель — А. В. Лебедевский А. В.*

Разработана структурная схема для программно-аппаратного комплекса по измерению эмиссии метана камерным методом на основе газовых датчиков серии MQ и микроконтроллера Arduino. На основе структурной схемы был собран прототип программно-аппаратного комплекса и написана программа для проведения тестирования установки и дальнейшей калибровки газовых датчиков и измерительных сенсоров в лабораторных условиях.

Ключевые слова: эмиссия метана; программно-аппаратный комплекс; микроконтроллер Arduino; газовые датчики серии MQ; экологический мониторинг; камерный метод

ВВЕДЕНИЕ

Болота – источник метана, газа с потенциалом глобального потепления (ПГП) в 25 раз выше, чем у CO₂, если использовать 100-летний срок осреднения согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) и Межправительственной группы экспертов об изменении климата (МГЭИК). В связи с этим именно метан часто становится ключевым показателем, влияющим на оценку роли болот в «парниковом» эффекте. Использование ПГП при рассмотрении долговременного влияния естественных болот на климат является спорным, однако, в случае оценки последствий хозяйственной деятельности человека учет ПГП парниковых газов является обоснованным и обязательным согласно РКИК ООН и МГЭИК. Поэтому корректная оценка влияния хозяйственного использования на эмиссию и поглощение парниковых газов болотами требует учета, по меньшей мере, двух основных углеродсодержащих парниковых газов – CO₂ и CH₄ [1].

В Республике Беларусь в том числе проводятся исследования по измерению эмиссии метана на участках торфодобычи для оценки количества выбросов климатически активного газа в процессе добычи торфа. Замеры производятся камерным методом по международным стандартам. Исследуемая смесь газов, выделяющихся с торфяного грунта и картовых каналов, собирается в стеклянные колбы для последующего определения концентраций в лабораторных условиях на хроматографе.

Данная методика требует значительных человеческих ресурсов для проведения измерения, что, в свою очередь, замедляет процесс проведения измерений, уменьшает количество экспериментальных данных и уменьшает возможности для дальнейшего масштабирования измерений на промышленные объекты страны.

Предложенная схема программно-аппаратного комплекса позволяет решить актуальную задачу создания бюджетного мобильного автономного устройства, позволяющего осуществлять измерение концентрации метана камерным методом, а также ряд других атмосферных величин: температуру, влажность и давление воздуха внутри и снаружи камеры, фотосинтетическую активную радиацию, влажность почвы.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Структурная схема измерительного комплекса была разработана на основе датчиков серии MQ и микроконтроллере ArduinoATMega. Принцип работы датчиков газа серии MQ основан на изменении сопротивления тонкопленочного слоя диоксида олова SnO_2 при контакте молекулами определяемого газа. Для измерения концентраций метана были выбраны газовые датчики, реагирующие на метан в достаточной степени для его обнаружения (MQ-4, MQ-5 и MQ-9).

Существующие методики измерения концентраций детектируемых газов для датчиков серии MQ основаны на неоднородной чувствительности датчиков. При наличии определенных газов

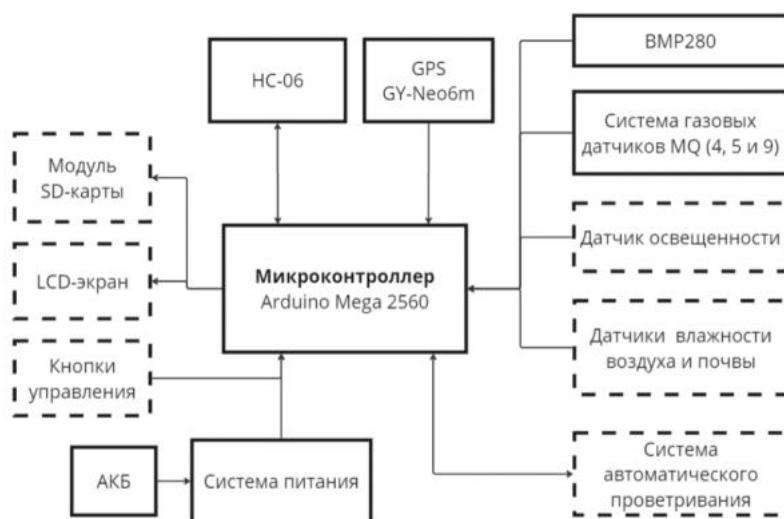


Рис. 1. Структурная схема комплекса

сопротивление чувствительного элемента уменьшается, тем самым меняется сила тока и таким образом датчик передает на плату информацию о том, что присутствует газ[2].

Структурная схема измерительной системы также состоит из барометра и датчика температуры BMP280, датчиков влажности воздуха и почвы (при проведении измерений на торфяном грунте), датчика освещенности для измерения фотосинтетической активной радиации и GPS-модуля для фиксации времени проведения измерений с привязкой к географическим координатам.

Для отображения измерительных показаний был выбран LCD-дисплей, устанавливающийся на корпус устройства, а для обеспечения мобильности комплекса был выбран Bluetooth модуль HC-06, что позволит организовать беспроводную передачу экспериментальных данных на ноутбук на расстоянии до 100м, в то время как SD-модуль необходим для записи логов на карту памяти.

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

На основе структурной схемы был собран измерительный комплекс для проведения экспериментов в лабораторных условиях для последующей калибровки газовых датчиков. Тестовый комплекс включает в себя необходимый минимум датчиков обозначенные на рисунке 1 сплошной толстой линией. Для тестового комплекса была реализована программа, которая позволяет передавать данные на ПК по беспроводному протоколу связи Bluetooths периодом в 1 секунду.

На рисунке 2 представлена схема интерфейсов между микроконтроллером Arduino и датчиками.

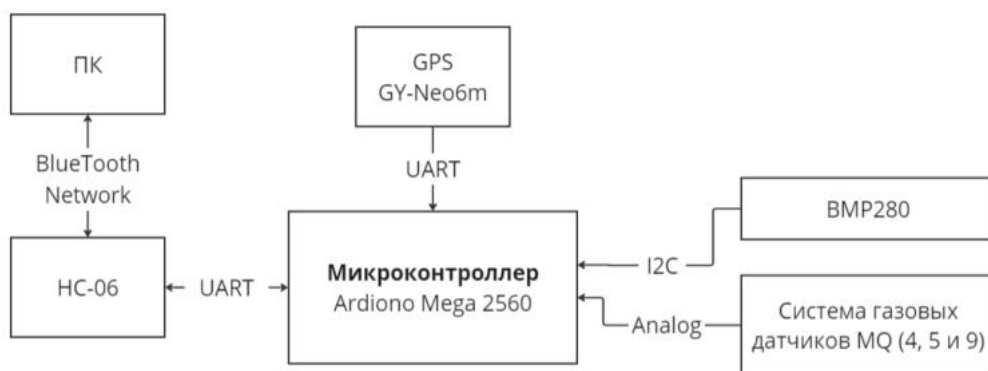


Рис. 2. Структурная схема интерфейсов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана структурная схема для программно-аппаратного комплекса по измерению эмиссии метана камерным методом на основе газо-

вых датчиков серии MQ. Представленная схема позволит обеспечить непрерывное и автоматическое измерение эмиссии метана, температуры, давления и влажности воздуха как внутри, так и снаружи камеры, фотосинтетическую активную радиацию, что позволит упростить и автоматизировать процесс измерения климатически активного газа.

На основе структурной схемы был собран прототип программно-аппаратного комплекса и написана программа для проведения тестирования установки и дальнейшей калибровки газовых датчиков и измерительных сенсоров в лабораторных условиях.

Библиографические ссылки

1. Швиль, Ш. Выбросы парниковых газов из болот. Методика оценки климатической значимости на примере болота Целау / Ш. Швиль, А. Хаберль, А. Штраус. - Грейфсвальд, 2010. С. 4 - 6.

2. 76-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс] : материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 13–24 мая 2019 г. / Белорус. гос. ун-т ;редкол.: В. Г. Сафонов (пред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2019. С. 201-204.

ГОМОРФНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА

В. Л. Мазец¹⁾, А. Г. Буняк²⁾, О. В. Переверзева³⁾, Е. П. Микитчук⁴⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mazets12@gmail.com*

²⁾ *РНПЦ Неврологии и нейрохирургии, ул. Ф.Скорины, 24,
220114, г. Минск, Беларусь, buniak.ag@gmail.com*

³⁾ *РНПЦ Неврологии и нейрохирургии, ул. Ф.Скорины, 24,
220114, г. Минск, Беларусь, pereverzeva.o.v@icloud.com*

⁴⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mikitchuk@bsu.by*

*Научный руководитель — Е.П. Микитчук, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В работе метод гомоморфной фильтрации адаптирован для обработки МРТ-изображений головного мозга, проведено исследование влияния параметров высокочастотного фильтра на качество визуализации анатомических структур в головном мозге.

Ключевые слова: гомоморфная фильтрация; кепстральная обработка; МРТ-изображения; таламус; высокочастотный фильтр; освещенность; коэффициент отражения.

Магниторезонансная томография (МРТ) является одним из основных методов визуализации при диагностике заболеваний центральной нервной системы [1]. Однако зачастую информативность МРТ-исследований ограничена несколькими факторами: принципиально низким контрастом соседних тканей, обусловленном, например, близким значением протонной плотности; применением «универсальных» настроек аппаратов МРТ, применяемых для обеспечения потокового выполнения диагностических исследований [1; 2]. С точки зрения теории обработки изображений, основными проблемами при обработке МРТ-данных являются неэффективное использование динамического диапазона, а также неравномерная контрастность по пространству изображения, причем из-за ограниченности глубины цифрового полутонового изображения принципиально не существует метода полного восстановления информации. В отличие от типичных цифровых изображений, формируемых в оптическом диапазоне матричными приемниками, МРТ-изображения относятся к радиоизображениям, поэтому их «освещенность» в теории слабо изменяется в пространстве, как следствие, яркость таких изображений в основном характеризуется низкочастотными составляющими пространственного спектра. Информационная составляющая МРТ-изображения, содержащая основные сведения об анатомических структурах в основном сосредоточена в более высоких пространственных частотах. Из-за технических ограничений

«освещенность» и информационная составляющая оказываются перемноженными в реальном МРТ-изображении, что не позволяет разделить их однозначно в пространственной области.

Нейровизуализационное исследование головного мозга при неврологических заболеваниях центральной нервной системы является обязательным при первичной постановке диагноза и зачастую имеет свои МР-паттерны. Особенно сложна для нейровизуализации идентификация скоплений серого вещества в глубинных структурах головного мозга, к которым относятся базальные ганглии (бледный шар, хвостатое ядро и др.), ядра таламуса. Визуализация структур таламуса, например, важна для диагностики и оценки динамики течения ряда заболеваний, в частности, как индикатор степени атрофии головного мозга, а также для выделения областей интереса для выполнения трактографии [1; 2]. Для анализа произведений величин широко применяется кепстральная обработка, лежащая в основе гомоморфной фильтрации [3]. В работе метод гомоморфной фильтрации адаптирован для обработки МРТ-изображений головного мозга, проведено исследование влияния параметров высокочастотного фильтра на качество визуализации анатомических структур в головном мозге.

Любое двумерное изображение $f(x, y)$ может быть представлено в виде поэлементного произведения освещенности $l(x, y)$ и коэффициента отражения $r(x, y)$. Следует отметить, что спектр от произведения представляет собой свертку спектров от сомножителей, что еще больше осложняет разделение данных. Суть гомоморфной фильтрации в том, что берется логарифм от произведения изображений, равный сумме логарифмов множителей, а уже к полученному сигналу применяется преобразование Фурье F и линейный фильтр высоких частот $H(f_x, f_y)$, где f_x, f_y – пространственные частоты. Для возвращения в исходное пространство после обратного преобразования Фурье F^{-1} применяется экспонента [4]:

$$k[f(x, y)] = \exp \left[F^{-1} \{ H(f_x, f_y) \lambda(x, y) \} + F^{-1} \{ H(f_x, f_y) \rho(x, y) \} \right],$$

$$\lambda(f_x, f_y) = F[\log(l(x, y))], \rho(f_x, f_y) = F[\log(r(x, y))]$$

где k – оператор гомоморфной фильтрации, $\lambda(f_x, f_y)$, $\rho(f_x, f_y)$ – двумерные кепстры соответственно освещенности и коэффициента отражения. Как видно из (1), (2), гомоморфная фильтрация позволяет обрабатывать компоненты освещенности и отражательной способности независимо. При этом флуктуации освещенности содержатся в ее низкочастотных составляющих – они подавляются высокочастотным фильтром, информация об отражательной способности сосредоточена в более высоких частотах,

следовательно, высокочастотный фильтр их не затрагивает. Это дает возможность повысить контраст и выделить детали, которые были бы скрыты в темных/светлых областях, устранить неравномерную освещенность [1].

В данной работе в составе оператора гомоморфной фильтрации в качестве высокочастотного применялся идеальный фильтр с гауссовской формой фронта подавления. Для исследования применимости такого фильтра рассматривались МРТ-изображения головного мозга, выполненные в режиме T2 ВИ. На рис.1 приведены томограммы, выполненные в аксиальном сечении на уровне боковых желудочков, до и после гомоморфной фильтрации с различными значениями ширины полосы заграждения при использовании гауссовского фильтра высоких частот.

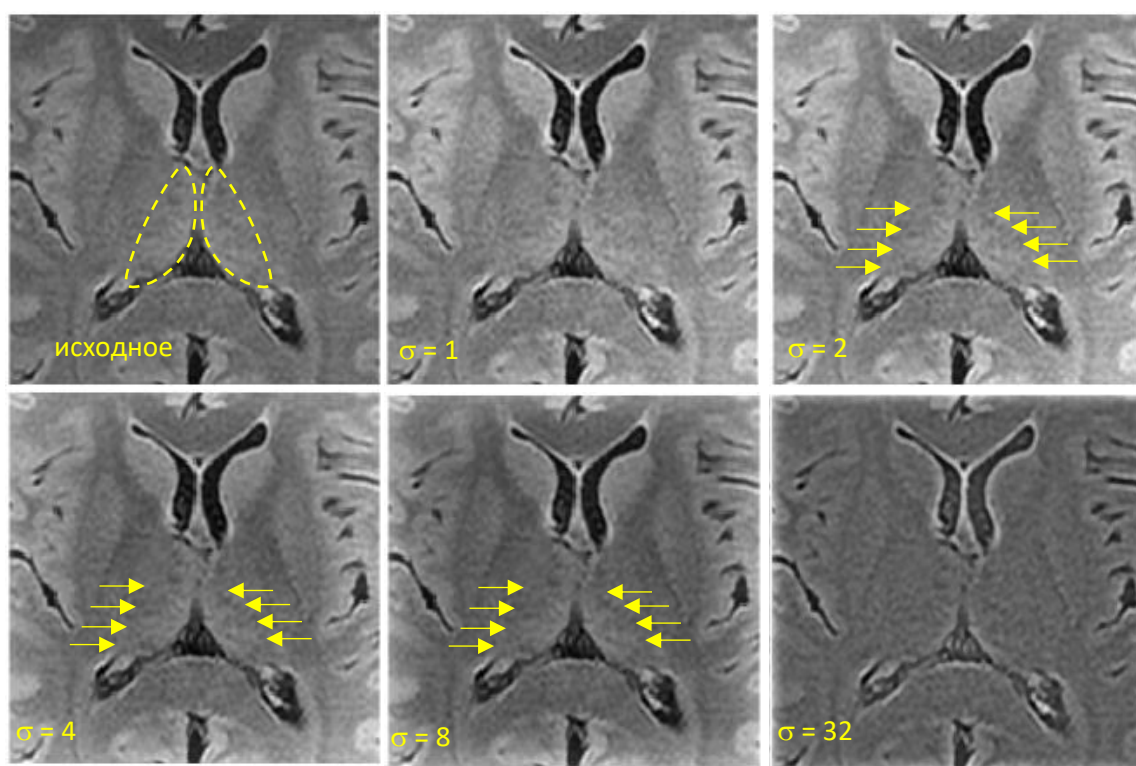


Рис. 1. Томограммы, выполненные в аксиальном сечении, до и после гомоморфной фильтрации с различными значениями ширины полосы заграждения σ [в пикселях] при использовании фильтра высоких частот, пунктиром выделена локализация границ структур таламуса, стрелками показана область гипоинтенсивного сигнала

Видно, что для МРТ-изображений размерами 512×512 при увеличении ширины полосы заграждения граница структур таламуса визуализируется как тонкая область гипоинтенсивного сигнала при использовании гомоморфной фильтрации, причем качество визуализации меняется немонокотонно. На рис. 2 приведены сечения томограмм для различных значений

ширины полосы заграждения, размерной стрелкой показана наибольшая разность яркостей вблизи границ структур таламуса. Видно, что для рассматриваемых МРТ-изображений наибольшая разность яркостей вблизи границ структур таламуса достигается при ширине полосы заграждения в диапазоне 2 – 8 пикселей ($\sim 0.3 - 1.5\%$ от размера изображения).

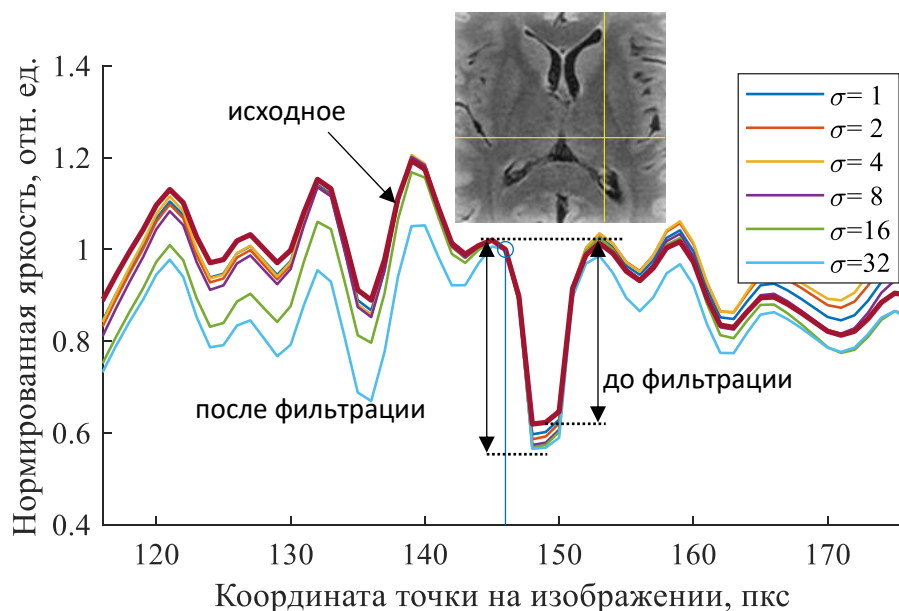


Рис. 2. Сечения томограмм для различных значений ширины полосы заграждения σ , выполненные вдоль горизонтальной линии, приведенной на вставке, положение границы структур таламуса – на пересечении вертикальных линий

В работе метод гомоморфной фильтрации адаптирован для обработки МРТ-изображений головного мозга, показано, что для МРТ-изображений размерами 512×512 пикселей наибольшая разность яркостей вблизи границ структур таламуса достигается при ширине полосы заграждения диапазоне 2 – 8 пикселей ($\sim 0.3 - 1.5\%$ от размера изображения).

Библиографические ссылки

1. Кротенкова М.В., Сергеева А.Н., Морозова С.Н., Древаль М.В., Брюхов В.В., Коновалов Р.Н., Кремнева Е.И., Савицкая И.А., Суслин А.С. Нейровизуализация. Головной мозг. М.: РООИ «Здоровье человека», 2022.
2. Румболдт З., Кастильо М., Хуанга Б., Росси А. КТ-и МРТ-визуализация головного мозга. М.: МЕДпресс-информ, 2020.
3. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital image processing. New York: Pearson education, 2018.
4. Микитчук Е.П. Кугейко. М.М. Методы и системы квантовой радиофизики : учеб.-метод. пособие. Мн.: БГУ, 2024.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ДАТЧИКА А315

Т. О. Маслак

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, timofeymaslak@gmail.com
Научный руководитель — В.Г.Семенчик, кандидат физико-математических наук,
доцент*

Для датчика влажности А315 разработано ПО для процессора датчика и программное обеспечение для дополнительного модуля для передачи результатов измерения температуры по двухпроводной линии связи, а также проведен эксперимент для определения условий, при которых использование инфракрасного термометра повысит точность измерений.

Ключевые слова: измерение влажности; резонансный метод; SPI, кадровая синхронизация; Modbus RTU; MLX90614.

ВВЕДЕНИЕ

Предприятие Аквар-Систем уже более 10 лет выпускает датчик влажности зерна в потоке А315. Работа этого датчика основана на оценке изменения частоты и амплитуды СВЧ сигнала резонатора при помещении в него исследуемого материала, в нашем случае зерна, влажность которого необходимо оценить.

Параметры резонатора и параметры зерна зависят от температуры. Для учета этой зависимости в датчике влажности А315 используются два датчика температуры один для измерения температуры резонатора, второй для измерения температуры зерна. Датчик для измерения температуры зерна встроен в корпус прибора в непосредственной близости от канала, по которому проходит зерно. Так как датчик температуры встроен в корпус прибора это приводит к увеличению его инерционности и снижению точности измерения температуры. В связи с этим было принято решение встроить в прибор дополнительный бесконтактный инфракрасный датчик температуры. Проблема заключается в том, что для подключения двух имеющихся датчиков температуры типа DS18B20 с интерфейсом 1-wire используется двухпроводная линия связи. Подключить непосредственно к ней ИК датчик MLX90614 с интерфейсом I2C невозможно. Для решения этой проблемы было предложено разработать дополнительный модуль к которому подключены три датчика температуры (два DS18B20 и один MLX90614), а сам модуль поместить в корпус влагомера А315 и подключить его процессору по двухпроводной линии вместо имеющихся датчиков температуры.

Целью данной работы является разработка ПО для процессора датчика влажности A315 и ПО для дополнительного модуля для передачи результатов измерения температуры по двух проводной линии связи.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

После предварительного анализа существующих интерфейсов было принято решение рассмотреть следующие три интерфейса: 1-Wire, IIC и SPI. После рассмотрения всех 3-ех протоколов было принято решение остановиться на SPI. С другой стороны, стандартный SPI интерфейс очень легок с точки зрения программной реализации, но в нашем случае из-за ограниченности проводов невозможна реализация кадровой синхронизации.

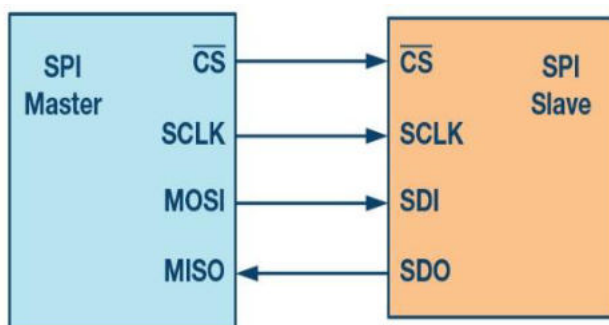


Рис. 1. Конфигурация SPI с ведущим и ведомым устройствами

В связи с тем, что число линий стандартного SPI равно 4, а нам подходит только двухпроводной интерфейс, было принято решение заменить линию CS, которая отвечает за кадровую синхронизацию, протоколом Modbus RTU и использовать одну линию передачи данных.

Важная особенность Modbus RTU в том, что для разделения пакетов должны использоваться временные паузы продолжительностью не менее чем произведение $3,5 \cdot t$, где t — время передачи одного байта в текущей сети. [0]

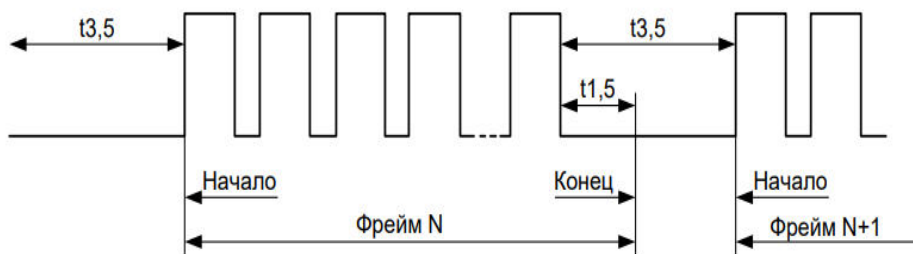


Рис. 2. Диаграмма передачи фреймов

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЯ СВЯЗИ

```
265 const uint32_t DATA_LEN = 48;
266 void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
267 {
268     if (htim1.Instance->CR1 & TIM_CR1_CEN) {
269         HAL_TIM_Base_Init(&htim1);
270     }
271     else {
272         s_count = 0;
273         if (!boMovingData) i_buf = m_buf;
274         s_output = i_buf;
275     }
276     if (s_count < DATA_LEN)
277     {
278         if (s_output & 0x0001) setPin(&DATA_OUT);
279         else resetPin(&DATA_OUT);
280         s_output = s_output >> 1;
281         s_count++;
282     }
283     HAL_TIM_ENABLE(&htim1);
284 }
285 }
```

Рис. 3. Код обработчика прерываний

Входя в обработчик прерываний мы первым делом делаем проверку на находимся ли мы в процессе передачи данных, если находимся, то продолжаем передачу, если нет, то мы устанавливаем счетчик битов в 0, а затем передаем наши значения из буфера данных в переменную с которой мы и будем работать. В строке 273 мы производим проверку на то происходит ли запись данных с датчиков в буфер `m_buf` и, если нет, мы передаем значения из буфера данных в промежуточный буфер `i_buf`.

Дальше в строке 277 идет проверка на то не вышли ли мы за предел передаваемых битов, далее у нас идет проверка на то какой бит нам надо передать, данную проверку мы проводим с помощью логической операции И, далее мы проводим смещение вправо таким образом мы постепенно передадим все наши биты информации.

```
246 void HAL_SYSTICK_Callback()
247 {
248     uint32_t ui = HAL_GetTick();
249     if (ui % 100 == 0)
250     {
251         tick100ms = true;
252         if (ui % 1000 == 0) tick1s = true;
253     }
254 }
```

Рис. 4. Функция системного таймера

Программа заходит в данную функцию каждую миллисекунду. Эти переменные нужны для того чтобы можно было провести проверки на то, пришло ли время снимать данные с датчиков, каждые 100 мс мы снимаем

данные с двух датчиков температуры зерна и каждую секунду мы снимаем данные с датчика температуры резонатора.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперимент был проведен на пшенице при 4-ех влажностях: 11%, 13%, 15%, 17%.

В ходе проведения эксперимента были сделаны следующие выводы:

При комнатной температуре оба датчика в обоих режимах показывают примерно одинаковые данные, что означает что оба датчика одинаково эффективны.

При высоких температурах из-за особенностей при измерении по двум параметрам измерение инфракрасным датчиком вызывает большую погрешность и в этом случае логичнее использовать контактный датчик. Но так как при высоких температурах зерна мы всегда переходим на измерение по одному параметру, где инфракрасный датчик показывает заметно более точные и стабильные значения влажности чем контактный датчик, то использование инфракрасного датчика на высоких температурах эффективно и, следовательно, оправданно.



Рис. 5. График зависимости влажности зерна от времени при измерении по одному параметру при высокой температуре зерна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан двухпроводной интерфейс для подключения трех датчиков температуры к влагомеру А315 и проведены экспериментальные исследования для определения условий, при которых использование ИК термометра повысит точность измерения.

Библиографические ссылки

1. *MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02* [Электронный ресурс]. С.23. URL: [ftp.owen.ru/CoDeSys3/98_Books/ModbusTips.pdf](ftp.owen.ru/CoDeSys3/98_Books/ModbusTips.pdf)

ПОРТАТИВНЫЙ МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ S-ДИАПАЗОНА

Н. И. Медведев

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, mikita.medvedev@gmail.com

Научный руководитель — А.А. Спиридонов, кандидат физико-математических наук,
доцент, В.С. Баранова

В работе представлен модуль оценки коэффициента направленного действия на основе измерения диаграммы направленности. Показаны результаты измерения диаграммы направленности семи-элементной антенны Яги-Уда на частоте 2.4 ГГц.

Ключевые слова: коэффициент направленного действия; диаграмма направленности; дальняя зона.

Диаграмма направленности (ДН) является одним из важнейших параметров при эксплуатации антенных систем. Она представляет собой трехмерное распределение электромагнитной энергии, излучаемой или принимаемой антенной. Исследование ДН имеет решающее значение для проектирования и оптимизации антенн в различных приложениях, включая телекоммуникации, радиолокационные системы, спутниковую связь и беспроводные сети.

Разработанный модуль измерения диаграммы направленности антенны, позволяющий провести оценку коэффициента направленного действия (КНД), представлен двумя разнесёнными элементами, принципиальная электрическая схема одного из элементов (зонда) показана на Рис. 1.

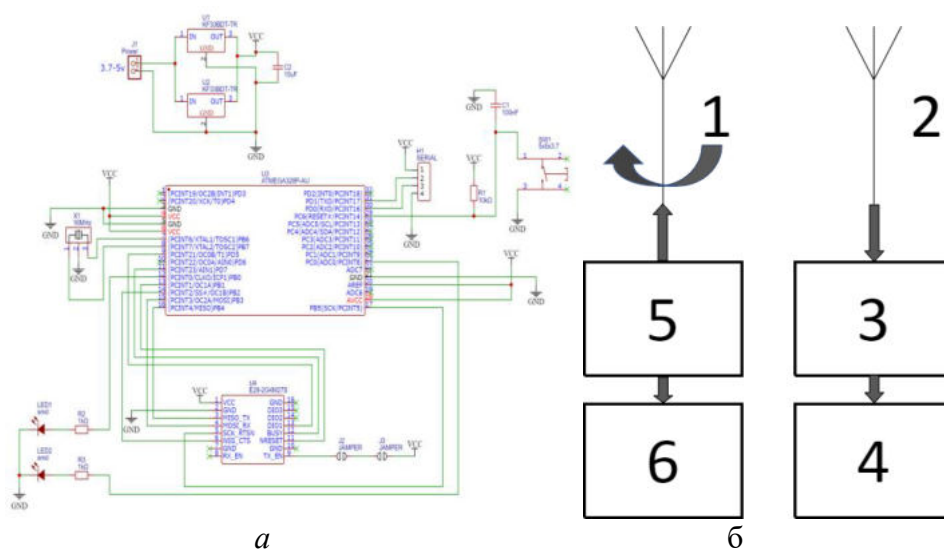


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема зонда (а); схема эксперимента (б)

Схема измерений с использованием разработанного модуля представлена на Рис. 1 (б), на котором цифрами обозначены: 1 – передающая антенна, 2 – приёмная антенна, 3 – принимающий зонд, 4 – устройство приёма данных в реальном времени, 5 – передающий зонд, 6 – поворотное устройство. Проведение измерений было осуществлено с помощью приёмопередатчиков E28-2G4M27S с протоколом LoRa с шириной полосы 400 кГц на рабочей частоте антенны 2.4 ГГц. Замеры осуществлялись следующей схеме. Передающая антенна устанавливается на штатив на высоте 1.5 метра от земли с возможностью поворота в плоскости горизонта автоматически, также выставлено значение изменения угла в 1.8 градус при дальности зонда более 70 метров. Поворот положения антенны производился в ручную при изменении плоскости. Нуль градусов выставляется на приёмную антенну. На Рис.2 изображён один из приёмопередающих зондов и прикреплённая к нему измеряемая антенна.



Рис. 2. Изображение приёмопередающего зонда

На Рис. 3, 4 представлены результаты моделирования и измерений нормированной ДН антенны в двух основных плоскостях для оценки ширины главного лепестка. Симуляция, обозначенная зелёным цветом, была произведена в Ansys HFSS согласно техническим характеристикам антенны. Серой линией обозначен уровень в 3 дБ, по которому считается ширина главных лепестков.

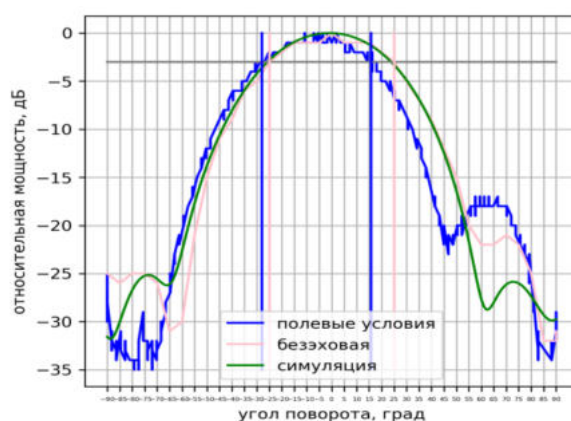


Рис. 3. Диаграмма направленности в Е-плоскости

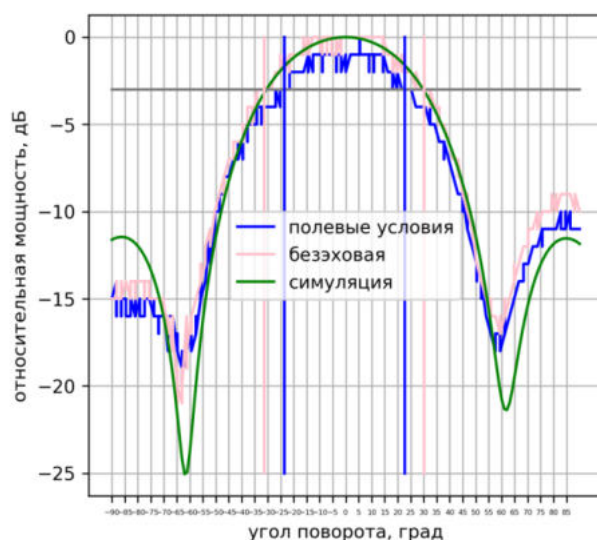


Рис. 4. Диаграмма направленности в Н-плоскости

Ширины главного лепестка по уровню половинной мощности, является важным параметром антенны, который может использоваться для измерения КНД антенны. Второй способ нахождения КНД использует вычисления по объёмной ДН. На Рис. 5, 6 представлены объёмные ДН, полученные в результате моделирования и измерений, интерполированные из двух ДН в плоскостях Е и Н по всем углам.

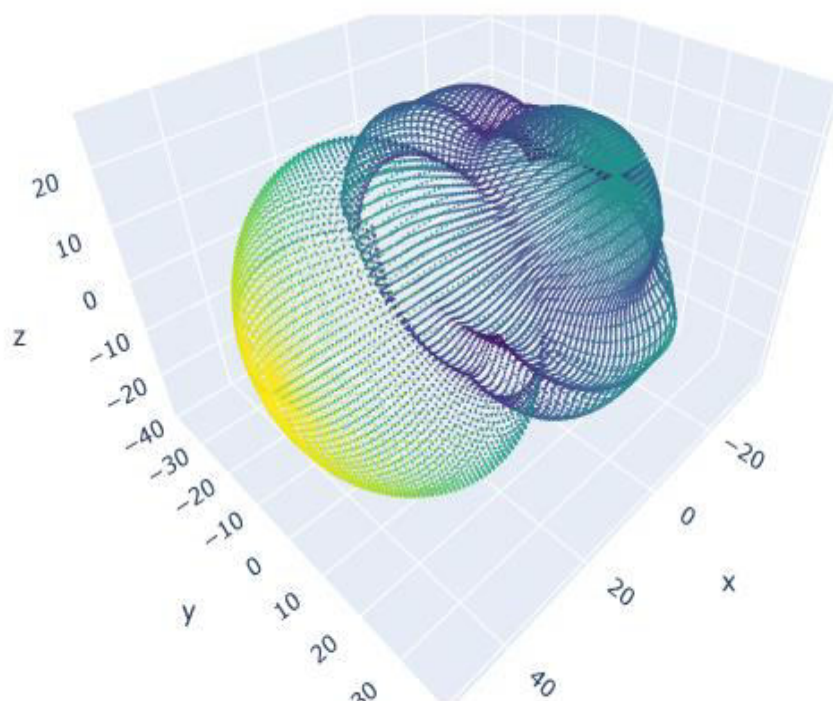


Рис. 5. Объёмная диаграмма направленности, полученная в результате моделирования антенны

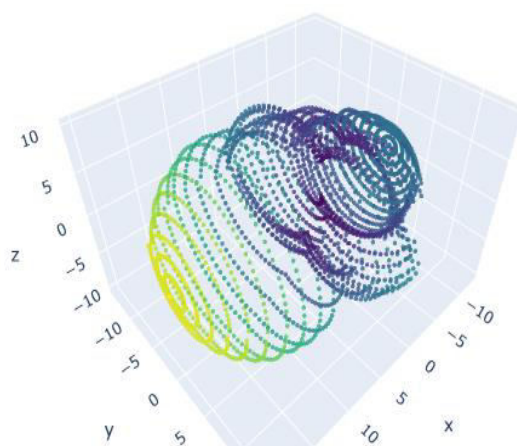


Рис. 6. Объёмная диаграмма направленности, полученная в результате измерений в безэховой камере

В результате работы разработан портативный модуль измерения диаграммы направленности антенны в дальней зоне до 2 км. Полная ДН может измеряться и на меньшем расстоянии. Было проведено сравнение ДН семисегментной Яги-Уда, полученные в результате моделирования и измерений в разных условиях (безэховая камера и полевые условия). Оценка ширины главного лепестка по уровню половинной мощности, является важным параметром антенны, который также может использоваться для оценки коэффициента направленного действия. Ширина главного лепестка в Е-плоскости составляет 50 градусов для безэховой камеры и 51 градус для симуляции, ошибка составила менее 2% (Рис. 3). Ширина главного лепестка в Н-плоскости составляет 61 градус для безэховой камеры, 60 градусов для симуляции (Рис. 4). Тогда по приближённым формулам КНД, полученный в результате измерений составляет 10 дБ по главному лепестку, что хорошо согласуется со значением КНД, полученным в результате симуляции равным 9.3 дБ. Интерполированная ДН из двух плоскостей также использовалась для вычисления КНД (Рис. 5). Данным способом получено значение в 8 дБ.

Библиографические ссылки

1. Беньковский З., Ливинский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М.: Радио и связь, 1983.
2. Гавриленко В.Г., Калинин А.В. Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников: электронное учебно-методическое пособие// Нижегородский госуниверситет, 2012.
3. Stutzman W.L. Estimating directivity and gain of antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 1998. Vol. 40, iss 4. P. 7-11.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЦП ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТИ В НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

С. Д. Рундыгин

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.rundygin@bsu.by
Научный руководитель — А. Л. Труханович, старший преподаватель*

В данной работе рассматривается применение аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для детектирования неисправностей в низковольтных сетях электропитания. Предлагается метод, основанный на измерении силы тока с помощью АЦП, для автономного контроля состояния сети и обнаружения неисправностей. В работе представлен алгоритм работы метода и схема устройства мониторинга цепи электропитания.

Ключевые слова: мониторинг цепи электропитания; детектирование неисправностей; локализация ошибок; низковольтные сети электропитания; автомобильная отрасль; АЦП.

Современные низковольтные сети электропитания играют ключевую роль в обеспечении энергетической стабильности и безопасности в различных отраслях промышленности. Однако, даже при правильной эксплуатации и регулярном техническом обслуживании, возможны неисправности и сбои, которые могут привести к снижению производительности и даже к аварийным ситуациям. Поэтому возникает проблема своевременного детектирования наличия неисправности и ее локализации.

Существуют следующие способы детектирования неисправностей низковольтной сети электропитания: осмотр электрического оборудования (визуальный осмотр, использование измерительных приборов) и автономные (системы, которые детектируют и обрабатывают неисправности, после чего сигнализируют о них). Второй способ является предпочтительным для больших систем, так как диагностика человеком требует больших затрат времени и персонала, а также человеческий фактор повышает шанс ошибочных измерений [1].

Ввиду этого возникает потребность в создании метода детектирования, который будет автономно проверять состояние сети и сигнализировать о ее неисправностях.

Метод будет основываться на измерении силы тока с помощью АЦП. Если нагрузка, к которой идет питание, будет потреблять ток меньше определенного уровня I_{min} или больше I_{max} , то будет считаться, что компонент цепи неисправен и нуждается в дополнительном осмотре на предмет неполадок.

Алгоритм работы метода представлен на блок-схеме на рисунке 1.

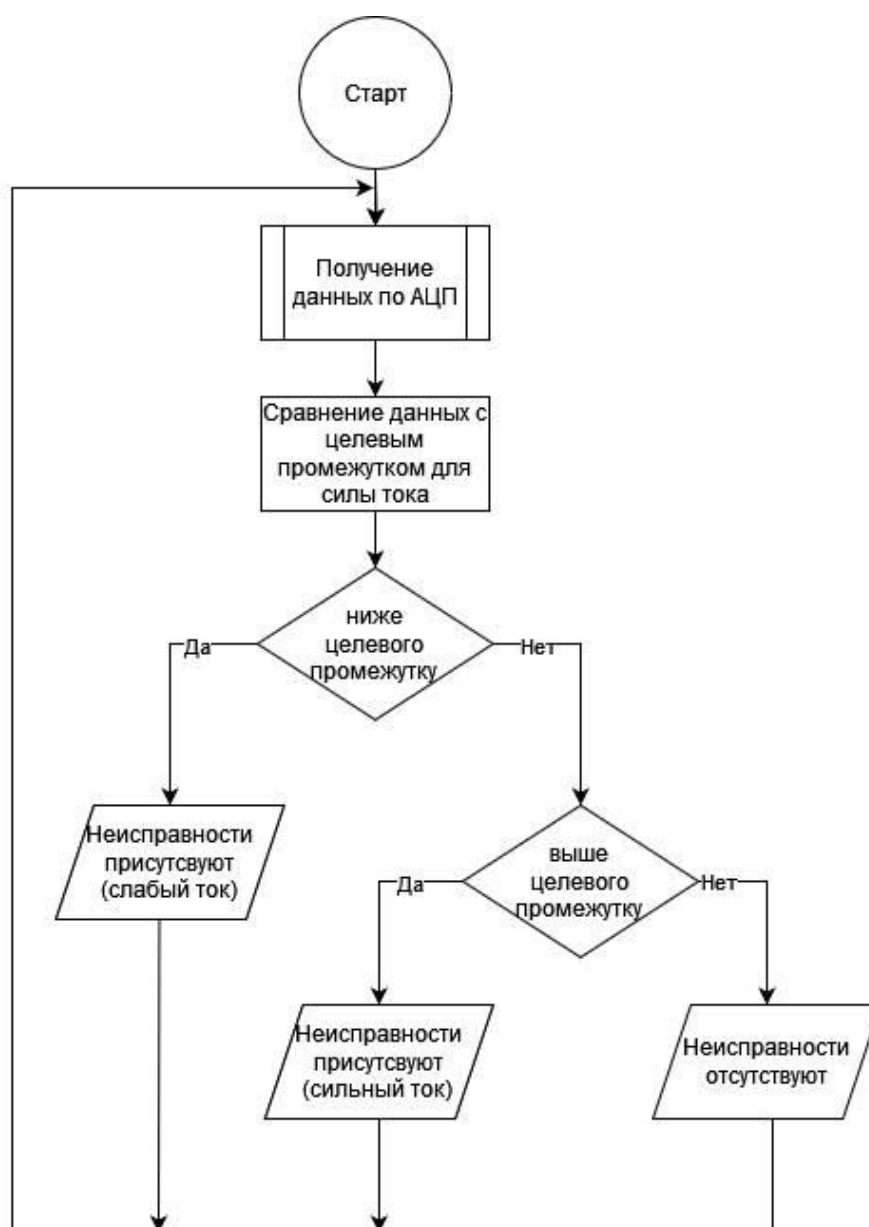


Рис. 1. Блок-схема метода определения неисправностей

Метод работает следующим образом:

1. Получение значения тока потребления.
2. Проверка попадает ли значение в целевой промежуток (значение силы тока от I_{min} до I_{max}).
3. Если ток ниже целевого промежутка, то происходит сигнализация о неисправности (слабом токе). Переход на 1.
4. Если ток выше целевого промежутка, то происходит сигнализация о неисправности (сильный ток). Переход на 1.

5. Если ток входит в целевой промежуток, то происходит сигнализация об отсутствии неисправностей. Переход на 1.

На рисунке 2 приведена схема устройства мониторинга цепи электропитания.

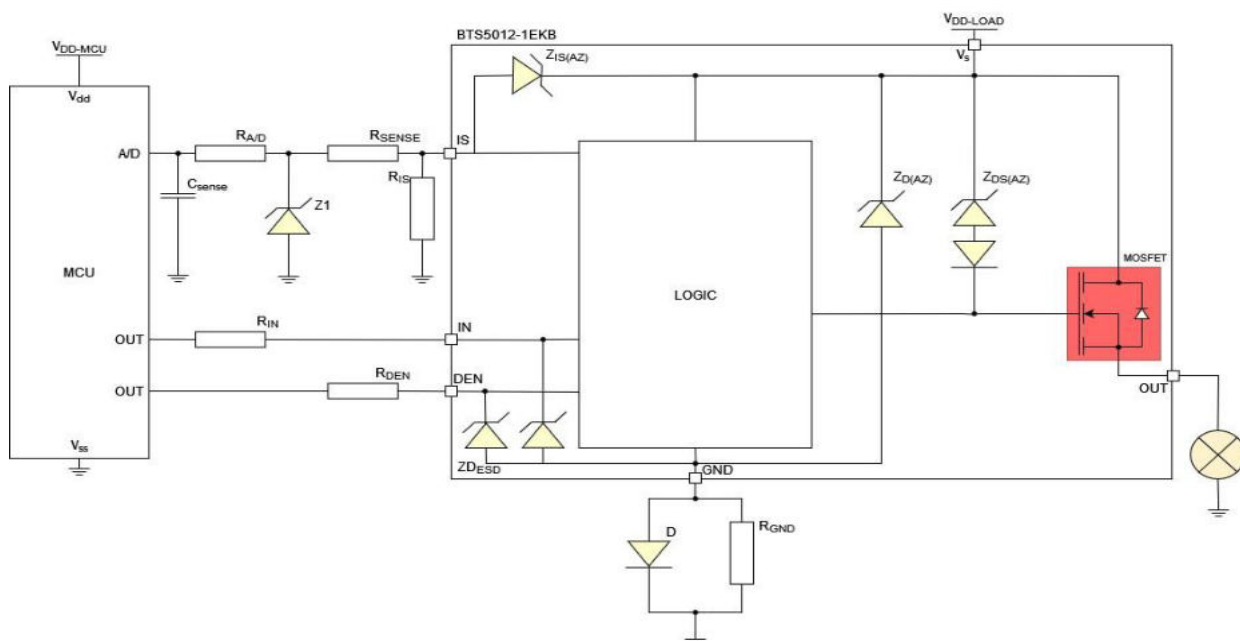


Рис. 2. Схема устройства

Схема состоит из микроконтроллера, микросхемы BTS5012-1EKB [2] и полезной нагрузки.

Принцип работы данной схемы: когда на ножку IN приходит «1», тогда ток поданный на вход V_s перенаправляется на OUT. В то же время на IS появляется аналоговый сигнал, с помощью которого можно определить текущую силу тока на выходе OUT пропустив ее через АЦП MCU. Если на ножку IN подан «0», то ток на нагрузку не идет, и, следовательно, измерение не происходит (на IS отсутствует сигнал).

Из этого следует, что схему включения данного модуля в сеть может быть построена двумя способами. Первый способ рассматривает вариант, когда в цепи электропитания есть переключатель, который управляет работой сети. Примером этого может быть комбинация переключатель и лампочка. При такой архитектуре системой нагрузкой будет лампочка, а к ножке IN будет подключен к MCU. Когда переключатель будет замкнут, то MCU будет детектировать это и на IS будет приходить «1», а если разомкнут, то «0». Следовательно, измерение будет происходить только когда лампочка должна быть включена. Второй способ основывается на контроле участка цепи постоянно. Для этого к ножкам V_s и IN (через резистор с большим сопротивлением) подключаем питание нагрузки, что позволяет постоянно пропускать ток на OUT и получать данные на АЦП.

Таким образом, используя эти два способа можно анализировать состояние цепи и детектировать/локализовать неисправности.

Устройство может быть использовано во множестве сфер. Например, в автомобильной, где его можно внедрить в сложную схему цепи электропитания и детектировать неисправности. Таким способом можно обнаруживать выход из строя фар (габаритов, указателей поворота и т.п.). Во время движения не всегда водитель может заметить, что одна из лампочек вышла из строя, что может привести к аварии. С данным устройством, водитель просто получит сообщение об ошибке конкретного модуля, что позволит вовремя выявить неисправность.

В результате был разработан метод детектирования неисправностей в низковольтных сетях электропитания, который является эффективным способом для детектирования и локализации неисправностей в низковольтных сетях электропитания. Он позволяет своевременно обнаружить ошибку и предотвратить возможные аварийные ситуации. Широкое применение найдет система в автомобильной индустрии, где с помощью него можно будет обнаруживать неисправности.

В дальнейшем существует возможность реализовать передачу данных о состоянии контролируемого участка цепи по CAN-интерфейсу (с использованием стандарта ISO 11898) для внедрения устройства в систему автомобиля.

Библиографические ссылки

.1 Низковольтная диагностика [Электронный ресурс]. URL: <https://test-energy.ru/nizkovoltnaya-diagnostika/> (дата обращения 29.04.2024).

2. BTS5012-1EKB Manual [Электронный ресурс]. URL: [BTS5012-1EKB-Data-Sheet](https://infinite-electronic.ru/BTS5012-1EKB-Data-Sheet) (infinite-electronic.ru). (дата обращения 29.04.2024).

ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ШИРОКОАПЕРТУРНОЙ АНТЕННЫ АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

С. А. Савицкий

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, stanislausavitski@gmail.com
Научный руководитель — В.С. Баранова, А.А. Спиридонов,
кандидат физико-математических наук, доцент*

В работе описывается использование метода кластеризации DBSCAN для выделения профиля широкоапертурной антенны в трехмерном облаке точек, полученное путем сканирования активной оптической системой. Разработан алгоритм для предварительной фильтрации облака точек от шумов и выбросов из исходных данных.

Ключевые слова: сканирование антенны, кластеризация, облако точек, лидар, активная оптическая система.

Структурные дефекты отражающей поверхности параболических антенн являются существенным источником потерь полезного сигнала и низкой производительности серий приёма и передачи. Для достижения оптимального функционирования эксплуатируемой антенны необходимо периодически проводить измерения и численную оценку структуры отражающей поверхности. Использование лидаров для измерения профиля широкоапертурной антенны представляет собой инновационное направление в области радиоэлектронных систем и телекоммуникаций. Лидар, сканируя объекты, получает их трехмерную модель и расстояние до него, для этого используются световые импульсы. В контексте широкоапертурных антенн, лидарные технологии предоставляют новые возможности для высокоточного измерения геометрических характеристик антенн, что имеет важное значение для обеспечения их оптимальной работы. В ходе данной работы были разработаны алгоритмы для предварительной фильтрации облака точек от шумов и выбросов из исходных данных и реализован алгоритм кластеризации DBSCAN для автоматического выделения профиля антенны. Все алгоритмы выполнены на объектно-ориентированном языке Python, для визуализации облака точек использовалась программа CloudCompare версии 2.13beta.

Для восстановления профиля широкоапертурной антенны использовались данные измерений активной оптической системы на базе лидара СН128Х1. Программный модуль управления, считывания и обработки передаёт командные конфигурации лидару и считывает данные измерения по протоколу UDP/IP. В программный модуль поступает основной поток данных измерений: номер канала измерения (Laser_ID), который соотносится

с вертикальным углом (шаг 0.125°), координаты 3D облака точек (Points_X, Points_Y, Points_Z), горизонтальный угол (Azimuth), расстояние (Distance) и интенсивность (Intensity). Данные измерения сохраняются в формате .csv и представляются в виде таблицы, пример которой продемонстрирован в табл.1.

В работе исследовались антенны L-, S-диапазона с сетчатым отражателем и раскрывом 2.4 м. С учётом того, что лидар захватывает области в поле зрения 120° на 25° помимо целевой антенны данные сканирования заполнены и другими объектами. В следствие чего, важным этапом обработки является фильтрация и сегментирование поверхности исследуемой антенны.

Таблица 1

Форма представления данных с лидара

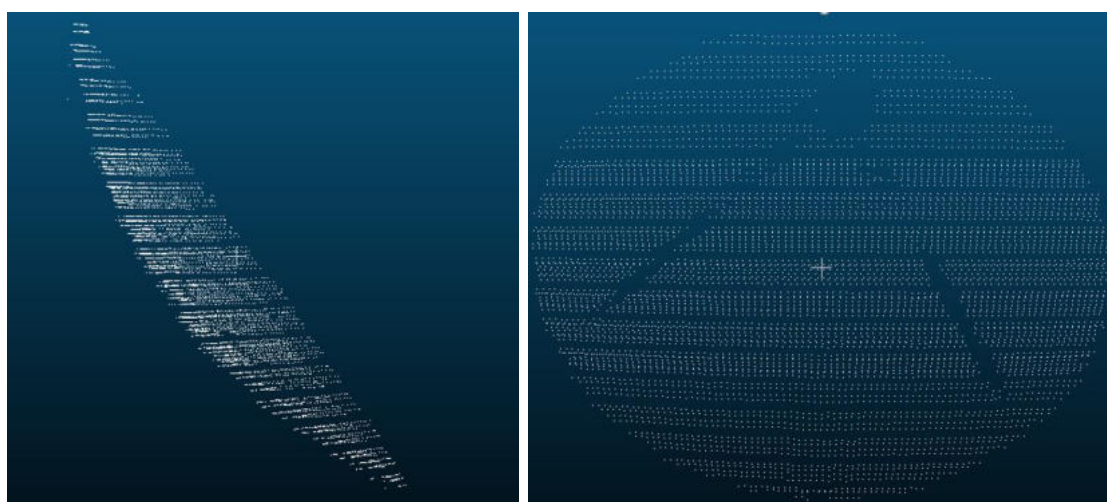
Frame Numbers	Laser_ID	Points_X	Points_Y	Points_Z	Distance	Azimuth	Intensity
1	0	0	0	0	0	151	0
1	0	0	0	0	0	151	0
...	...	...	...	...	...	...	...
1	0	6.77484	3.92092	-2.41047	8.19039	30.06	6
1	0	6.76615	3.94748	-2.41226	8.19648	30.26	7
...	...	...	...	...	...	...	...

Из таблицы 1 видно, что первые две точки имеют нулевые значения координат, дистанции и интенсивности. В данном направлении световой пучок ушел в бесконечность и не отразился, соответственно объектов на его пути не было, такие точки называются выбросами. Для устранения таких точек был разработан алгоритм, который убирает точки имеющие нулевые значения. Шумы представляют из себя точки, которые не смотря на гладкость поверхности отклоняются на незначительное расстояние. Поэтому написанный алгоритм проверяет на схожесть две точки, если они имеют одинаковые координаты или находятся на критически малом расстоянии друг от друга, то одна из них удаляется. Такой алгоритм сократил количество точек на порядок: в начальном облаке было 230396 точек, после фильтрации их численность уменьшилась до 30610.

Существует множество методов кластеризации, которые были изучены. Метод К-средних является универсальным для любого размера кластеров, имеет плоскую геометрию из-за чего его использование не разумно в данной задаче, а также алгоритм требует указания количества кластеров. Иерархическая кластеризация – это общее семейство алгоритмов кластеризации, которые создают вложенные кластеры путем их последовательного

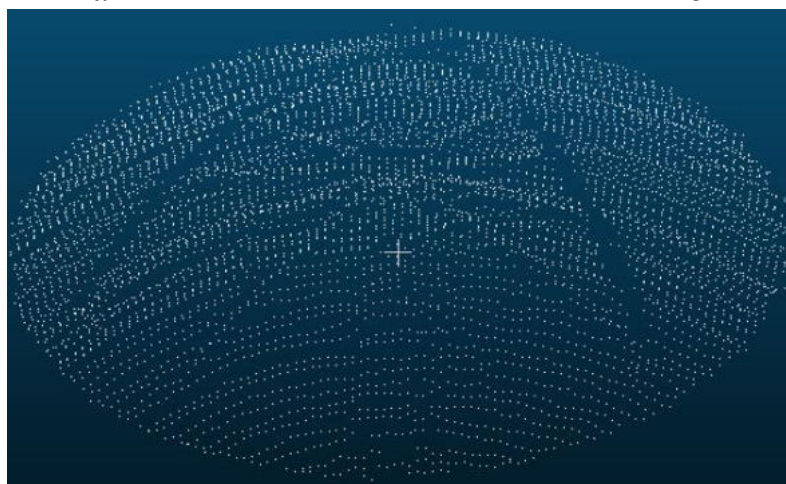
слияния или разделения, этот метод показал не удовлетворительный результат, представленные данные оказываются настолько запутанными и неструктурированными, что интерпретировать их практически невозможно. До использования методов кластеризации была опробована аппроксимация методом наименьших квадратов, в результате которого алгоритм должен был находить коэффициенты поверхности второго порядка, но из-за большого количества точек из которых антенна около $1/5$, полученные значения не описывали поверхность профиля антенны.

Для кластеризации с целью выделения антенны из облака выбран метод DBSCAN по нескольким причинам: используется при больших объемах точек от 10^5 до 10^8 ; для реализации методов с машинным обучением нужна база для обучения; данный метод прост в реализации.



a

б



в

Выделенная антенна в проекциях:

a – на плоскость XZ; *б* – на плоскость YZ; *в* – на плоскость XY

При написании функций, которые загружают и записывают данные из/в файла из данных измерения лидаром используются координатами X, Y, Z. Для работы метода кластеризации DBSCAN вводятся параметры ϵ (радиус окрестности точки) и minPoints (минимальное количество точек входящие в окрестность). Для поиска оптимальных значений было выполнено несколько итераций в результате которых антенна выделялась сначала со стойкой и небольшой областью поверхности на которой она стоит, при визуализации этого кластера было обнаружено что между точками поверхности большое расстояние, соответственно значения ϵ было уменьшено в два раза, в таком случае была получена антенна со стойкой, уменьшив входные параметры до $\epsilon=0.15$ и minPoints=3 был получен наилучший результат. При данных параметрах антенна выделилась в отдельный кластер рис с количеством точек 6784.

В данной работе была рассмотрена методология использования лидарных систем для измерения профиля широкоапертурных антенн. Применение активной оптической системы на базе лидара CH128X1 позволило получить трехмерные модели антенн с точностью ± 3 см, что обусловлено разрешением лидара. Разработанные алгоритмы для фильтрации данных и метод кластеризации DBSCAN продемонстрировали свою эффективность в выделении профиля антенны из облака точек, что подтверждено экспериментальными данными. Дальнейшая обработка сегментированного профиля позволит определить глобальные и локальные деформации отражателя антенны.

Библиографические ссылки

1. Baranova V., Liashkevich S., Saetchnikov V. Application of Active Optical System for Estimation of the Wide-Aperture Antenna Profile // Proceedings of the IEEE. 2023. P.413-417.
2. Интересные алгоритмы кластеризации, часть вторая: DBSCAN. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/322034/> (дата обращения: 21.04.2024)
3. Глумова Е.С., Серова М.А.. Исследование алгоритмов фильтрации облака точек для помехоустойчивой реконструкции поверхности: отчет о НИР // Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева.2023.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ АППАРАТУРОЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В. С. Федосеев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.fedoseevVS@bsu.by
Научный руководитель — А. О. Мартинов, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник*

В данной статье рассматриваются такие понятия как дистанционное зондирование Земли, спектральные отражательные характеристики объектов и их представление в задаче определения усыхания деревьев, а также приводятся основные методы анализа спектральных характеристик объектов, регистрируемых аппаратурой дистанционного зондирования Земли в рамках этой задачи.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; спектральные характеристики; вегетационные индексы; машинное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли (далее – ДЗЗ) определяется как метод измерения свойств объектов на земной поверхности, в котором используются данные, полученные с помощью различных летательных аппаратов или искусственных спутников Земли [1]. Аппаратура ДЗЗ позволяет проводить периодическую съёмку земной поверхности и таким образом наблюдать за изменениями окружающей среды и влияния на неё человека, и, тем самым, реагировать на значительные отклонения и предпринимать необходимые действия по отношению к факторам, вызвавшие данные отклонения.

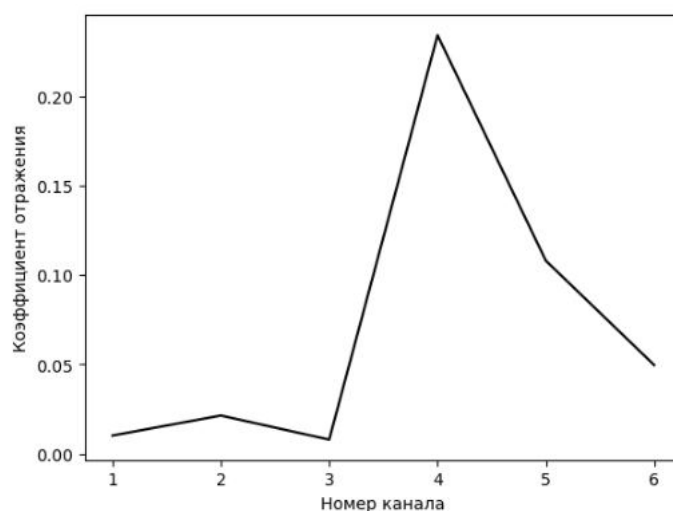
Ввиду широкой области применения ДЗЗ, существует множество систем, с помощью которых изучают пространственные, спектральные и временные характеристики самых разнообразных объектов.

С целью извлечения информации для проведения комплексных, взаимосвязанных исследований природной среды, используются специальные методы, называемые тематической обработкой. Она включает в себя такие процедуры как анализ изображений, классификация объектов и т.д. Результаты тематической обработки могут быть представлены в виде серий тематических карт, отражающих пространственное размещение, качественные и количественные характеристики природных и хозяйственных объектов соответствующей территории [2].

В рамках данной работы, из-за специфики имеющихся задач, касающихся определения усыхания деревьев, спектральные отражательные характеристики представляют собой особый интерес, так как они отличаются высокой информативностью, достоверностью и оперативной доступностью.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ

Любой объект имеет свою индивидуальную отражательную характеристику, которая напрямую связана с его свойствами[3]. Спектральный коэффициент отражения – это зависимость коэффициента отражения от длины волны, которая позволяет увидеть, как изменяется коэффициент отражения в разных диапазонах длин волн. На рисунке ниже приведены такие данные для пикселя изображения с лесистой местностью с разрешением $10 \div 20$ м, а в таблице ниже – их расшифровка. В качестве данных может выступать как единственный пиксел изображения, так и их совокупность, на основе которых можно проводить последующий анализ.



Спектральный коэффициент отражения

Описание каналов

Номер канала	Диапазон	Центральная длина волны, нм	Коэффициент отражения, 10^{-4}
1	Синий	490	101
2	Зелёный	560	213
3	Красный	665	78
4	Ближний инфракрасный	842	2471
5	Коротковолновый инфракрасный	1610	1079
6	Коротковолновый инфракрасный	2190	495

МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Для анализа спектральных данных используются различные методы, которые позволяют получить более полное представление о свойствах объекта. В рамках области задач определения усыхания деревьев, эти методы можно разделить на две основные группы: основанные на использовании пороговых значений вегетационных индексов и машинного обучения.

Методы, основанные на использовании пороговых значений вегетационных индексов

Существует огромное множество вегетационных индексов, которые рассчитываются на основе спектральных отражательных характеристик объектов, например [4]:

- нормализованный относительный индекс растительности (NDVI);
- модифицированный индекс коэффициента поглощения хлорофилла (MCARI);
- модифицированный треугольный индекс растительности (MTVI);
- фотохимический индекс отражения (PRI).

При помощи вегетационных индексов можно проанализировать различные аспекты земной поверхности, например, количество фотосинтетически активной биомассы из земной поверхности, стресс растительности, содержание хлорофилла, количество угнетенной и стареющей растительности и др.

Методы, на основе использования машинного обучения

Машинное обучение – это одна из форм искусственного интеллекта, использующая математические модели данных, которые помогают компьютеру обучаться без непосредственных инструкций. При машинном обучении с помощью различных алгоритмов выявляются закономерности в данных. На основе их создаётся модель данных для прогнозирования [5].

Поиск закономерностей, описывающих спектральные особенности объектов каждого из классов, на которые разбивается все множество спектральной информации по всем возможным классам объектов, может осуществляться самыми разнообразными методами: например, при помощи регрессионного, факторного анализов; интерполяции, аппроксимации; методов снижения размерности, нейронных сетей и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основные методы анализа спектральных характеристик объектов, регистрируемых аппаратурой ДЗЗ, заключаются в использовании вегетационных индексов, а также различных методов машинного обучения.

Библиографические ссылки

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М. : Техносфера, 2010. 560 с.

2. Тематическая обработка [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://gis-terra.kz/tematicheskaya-obrabotka>. – Дата доступа: 15.05.2024.
3. Тематический и спектральный анализ космических снимков высокого разрешения для решения прогнозно-поисковых задач геологии [Электронный ресурс]. URL: <https://innoter.com/articles/tematicheskij-i-spektralnyy-analiz-kosmicheskikh-snimkov-vysokogo-razresheniya-dlya-resheniya-progno>. – Дата доступа: 15.05.2024.
4. Методика обнаружения патологий хвойных лесных насаждений по данным многоуровневых оптических измерений: отчет о НИР / Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко Белорус. гос. ун-та : рук. Л.В. Катковский. – Минск, 2020. – 669с.
5. *ТраскЭ.* Грокаемглубокое обучение. – Спб. : Питер, 2019. – 352 с.

СОЗДАНИЕ ГОЛОСОВОГО АССИСТЕНТА ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ WINDOWS

К. Е. Филей

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.filey@bsu.by
Научный руководитель — И. Э. Хейдоров,
кандидат физико-математических наук, доцент*

В статье рассматривается создание и работа голосового ассистента для операционной системы Windows, разработанного на базе среды разработки PyCharm и основных библиотек Python: speech recognition, fuzzywuzzy, pyttsx3.

Ключевые слова: голосовой ассистент; Windows; speech recognition; fuzzywuzzy; pyttsx3; распознавание речи; синтез речи; Python.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы голосовые ассистенты активно внедряются в мобильные устройства и настольные операционные системы. Технологии, такие как Amazon Alexa, Google Assistant и Apple Siri, завоевали популярность благодаря своей способности облегчить взаимодействие с устройствами, выполняя команды, предоставляя информацию и автоматизируя задачи. Однако на рынке голосовых ассистентов для Windows существует дефицит решений с аналогичным уровнем функциональности и интеграции.

Цель создания голосового ассистента для Windows - повысить удобство и эффективность взаимодействия с компьютером. Он станет неотъемлемой частью системы, обеспечивая простой и естественный способ работы с компьютером с помощью голоса.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: провести обзор существующих технологий в области голосовых ассистентов, разработать архитектуру системы, включающую модули распознавания речи, обработки естественного языка и генерации речи, реализовать прототип ассистента с использованием выбранных технологий, а также провести тестирование для оценки функциональности и производительности.

АРХИТЕКТУРА ГОЛОСОВОГО АССИСТЕНТА

Работа голосового ассистента для операционной системы Windows включает несколько ключевых этапов: преобразование аудиосигнала в

текст, анализ и понимание пользовательских команд, выполнение функций, а также формирование и синтез речевого отклика.

Первым и важным этапом в работе голосового ассистента является преобразование аудиосигнала в текст. Этот процесс начинается со сбора аудиосигнала через микрофон. Для этого используется модуль PyAudio, который позволяет захватывать и передавать аудиоданные в реальном времени. Затем аудиосигнал проходит предобработку, включая фильтрацию шумов и нормализацию уровня громкости.

После предобработки аудиосигнал передается в библиотеку `speech_recognition`, где используется модуль Google Voice Recognition для распознавания речи. Эта библиотека выбрана из-за её точности и скорости, особенно в условиях русского языка. Единственным минусом является необходимость подключения к Интернету.[1]

После преобразования аудиосигнала в текст начинается второй важный этап — анализ и понимание команд пользователя. На этом этапе текст проходит через несколько шагов обработки. Происходит разбиение текста на отдельные слова или токены, приведение слов к их начальной форме для упрощения анализа, исключение незначительных слов например, предлогов для улучшения качества анализа, определение типа команды например, запуск приложения, поиск информации, идентификация основных действий и параметров команды.

Для обеспечения точного распознавания команд, даже если пользователь говорит нечетко, используется библиотека `fuzzywuzzy`. Она реализует алгоритмы нечеткого сравнения, такие как расстояние Левенштейна, что позволяет сопоставлять и интерпретировать команды с высокой точностью.[2]

Выполнение и отладка функций — это третий этап, на котором голосовой ассистент интерпретирует пользовательскую команду и предпринимает соответствующие действия. Этот процесс включает несколько важных шагов: определение последовательности действий, выполнение команд, обработка ошибок, отладка.

Формирование и синтез речевого отклика — это заключительный этап в работе голосового ассистента, на котором система генерирует и воспроизводит ответ пользователю. Этот процесс включает несколько шагов: генерация текстового отклика, синтез речи, вывод речевого отклика.

Для преобразования текста в речь нам понадобится `pyttsx3`. Интуитивно понятный API библиотеки `pyttsx3` значительно упрощает интеграцию синтеза речи в приложения. Разработчики могут без особых усилий настраивать голос, скорость, громкость и другие параметры.[3]

Благодаря модульной архитектуре, pyttsx3 легко расширяется новыми возможностями. Разработчики могут интегрировать дополнительные возможности, такие как поддержка нескольких голосов, распознавание речи или интеграция с облачными сервисами.[3]

В процессе разработки голосового ассистента использовались несколько инструментов. Первым инструментом является язык программирования Python, который выбран за его популярность, простоту использования и наличие обширных библиотек для обработки и получения данных. Вторым инструментом явились библиотеки: pyttsx3, speech_recognition, os, fuzzywuzzy, datetime, time, webbrowser, re, openai, requests, bs4, pyautogui, tkinter.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГОЛОСОВОГО АССИСТЕНТА

Процесс выполнения команд происходит следующим образом. Пользователь голосом формулирует команду, например, "открой презентацию". Ассистент захватывает аудиосигнал через микрофон и передаёт его в модуль распознавания речи. Аудиосигнал обрабатывается, фильтруется от шумов и нормализуется по уровню громкости. Затем с помощью библиотеки "speech_recognition" и модуля "Google Voice Recognition" аудиосигнал преобразуется в текстовый запрос. Текстовый запрос проходит через несколько этапов обработки: токенизация, лемматизация, удаление стоп-слов, классификация команд и идентификация ключевых слов и параметров. На этом этапе система определяет, что запрос пользователя относится к запуску презентации. Ассистент интерпретирует текстовый запрос и определяет последовательность действий для выполнения команды. В данном примере это будет открытие программы PowerPoint. Ассистент использует соответствующий системный вызов или библиотеку, такую как "os", для запуска PowerPoint. В процессе выполнения команды ассистент выводит промежуточные или финальные результаты в консоль для целей отладки и мониторинга. В данном случае текстовый запрос "открой презентацию" будет выведен в консоль (см.рис.), подтверждая успешную интерпретацию и выполнение команды. После выполнения команды ассистент формирует текстовый отклик для пользователя, подтверждая выполнение задачи. Этот текстовый отклик преобразуется в аудиоформат с помощью библиотеки pyttsx3 и воспроизводится пользователю.


```
Добрый день, повелитель  
Кеша слушает  
[log] Распознано: кеша открой презентацию
```

Результат распознавания голосовых команд

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге был разработан голосовой ассистент для операционной системы Windows, позволяющий с помощью голосового обращения пользователя находить любую информацию, например, открывать статью на заданную тему, включать музыку, загружать презентации, взаимодействовать с клавиатурой компьютера, рассказывать анекдоты, а также говорить точное время по МСК на основе представленных голосовых данных. При этом он проявляет устойчивость к шуму и избегает ошибок, не делая неоправданных выводов без достаточной уверенности. Использование специфических библиотек и архитектуры позволило эффективно анализировать входные данные и использовать их для ответа на поставленный запрос.

В процессе тестового использования ассистент успешно выполнял запросы на основе голосовых данных, демонстрируя устойчивость к нерелевантным словам.

Библиографические ссылки

1. Документация библиотеки SpeechRecognition // Python Package Index [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/SpeechRecognition/> (дата обращения 20.02.2024).
2. Документация библиотеки FuzzyWuzzy // Python Package Index [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/fuzzywuzzy/> (дата обращения 20.02.2024).
3. Документация библиотеки Pyttsx3 // Python Package Index [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/pyttsx3/> (дата обращения 20.02.2024).

РЕАЛИЗАЦИЯ СЕРВЕРА ПРОТОКОЛА SCPI ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СЕМЕЙСТВА ALMAMETER

И. М. Челевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, i.chelevich@gmail.com
Научный руководитель — М.А. Павлышко, старший преподаватель*

Данная статья посвящена разработке программно-аппаратного комплекса для удаленного управления и мониторинга измерительных устройств семейства AlmaMeter. В проекте описаны процесс создания TCP-сервера, поддерживающего протокол SCPI, и его интеграция с измерительными приборами через сеть Интернет.

Ключевые слова: SCPI; Измерительные устройства; Linux; TCP/IP; C++; USB; Ethernet; WEB.

ВВЕДЕНИЕ

Измерительные устройства семейства Almameter, производимые Белорусским государственным университетом (БГУ), не поддерживают протокол SCPI и не имеют web-интерфейса. Отсутствие поддержки протокола SCPI, который является стандартом для управления и взаимодействия с измерительными приборами, ограничивает функциональность и интеграционные возможности устройств Almameter и затрудняет их интеграцию в современные системы автоматизации и мониторинга, требующие стандартизированных протоколов для обмена данными и управления. Для решения этой проблемы на базе библиотеки ASIO и технологии TCP/IP был разработан сервер, способный принимать и обрабатывать SCPI-команды через локальную сеть[1].

SCPI

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) – это стандартный протокол для управления и взаимодействия с программируемыми измерительными приборами, такими как осциллографы, мультиметры и источники питания. Он используется для унификации командного интерфейса, что облегчает интеграцию и автоматизацию приборов от разных производителей[2]. SCPI был выбран для обеспечения совместимости устройств семейства AlmaMeter с современными системами автоматизации и мониторинга. Примеры техники, где используется SCPI, включают осциллографы Tektronix, мультиметры Keysight, анализаторы спектра Rohde

& Schwarz и источники питания Rigol. SCPI применяется в телекоммуникациях, авиации, автомобильной промышленности и научных исследованиях, помогая стандартизировать процедуры тестирования и калибровки оборудования.

ASIO

ASIO (Asynchronous I/O) – это библиотека для языка C++, обеспечивающая высокопроизводительную работу с асинхронным вводом-выводом, включая сетевые операции[3]. В данном проекте ASIO использовали из-за её способности выполнять неблокирующие операции, что позволяет эффективно обрабатывать многочисленные подключения и запросы параллельно. Она предоставляет удобный интерфейс для работы с TCP[1], что идеально подходит для разработки сервера, обрабатывающего SCPI-команды. Будучи частью Boost, ASIO гарантирует надежность и совместимость с различными платформами, что делает её оптимальным выбором для интеграции устройств семейства AlmaMeter в современные системы автоматизации и мониторинга.

АРХИТЕКТУРА ПРОЕКТА

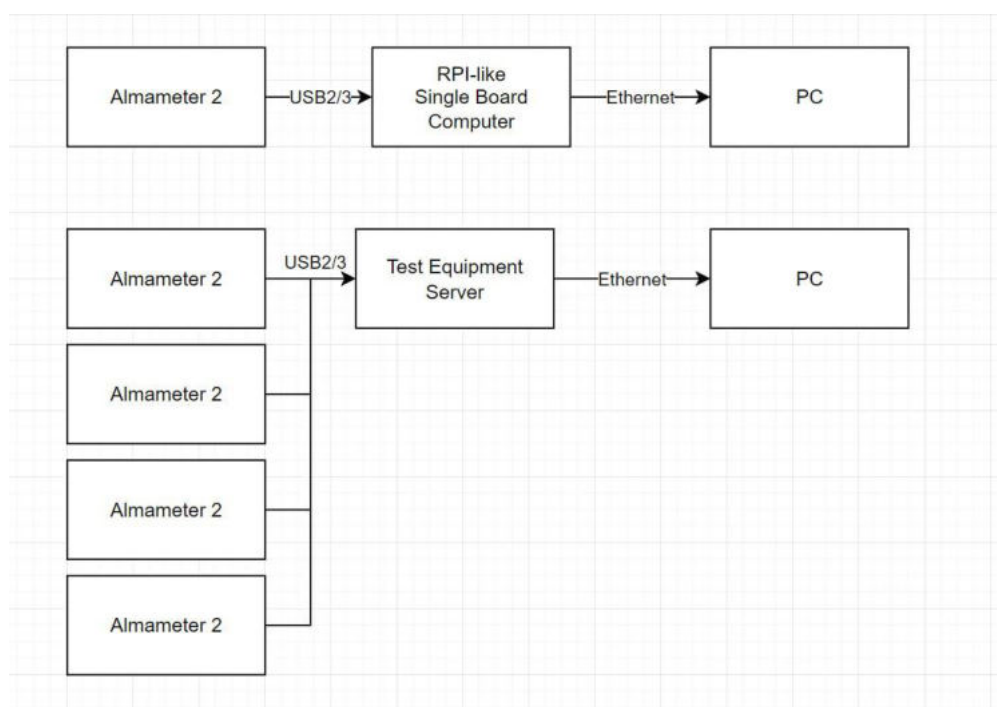


Рис. 1. Блок-схема проекта

Верхний рисунок отображает текущую систему, где одно устройство AlmaMeter 2 подключено к одноплатному компьютеру (например,

Raspberry Pi) через интерфейс USB 2/3. Этот одноплатный компьютер затем подключается к ПК через Ethernet. Такая конфигурация поддерживает только одно устройство Almameter 2, что ограничивает масштабируемость и гибкость системы.

Нижний рисунок показывает планируемое усовершенствование системы. В этой будущей конфигурации несколько устройств Almameter 2 подключаются к серверу измерительного оборудования через интерфейсы USB 2/3. Этот сервер обрабатывает данные от всех подключенных устройств и передает их на ПК через Ethernet. Такой подход значительно расширяет возможности системы, позволяя поддерживать и управлять несколькими устройствами Almameter 2 одновременно. Это улучшение позволит централизовать управление и мониторинг, повысив эффективность и удобство использования системы.

АРХИТЕКТУРА РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА



Рис. 2. Блок-схема проекта

«Клиент» был создан для проверки работоспособности программного обеспечения, он подключается по TCP соединению к серверу, отправляет шаблонную команду и слушает ответ от сервера.

«Сервер» принимает и обрабатывает команды от клиентов. На начальном этапе сервер инициализируется и ожидает подключения клиентов. После установления соединения сервер слушает поступающие команды. При получении команды сервер проверяет её наличие в своем списке поддер-

живаемых команд. Если команда существует, сервер обрабатывает её и отправляет ответ клиенту. В случае отсутствия команды сервер возвращает соответствующий SCPI-код ошибки.

«SCPI-транслятор» служит промежуточным звеном между сервером и измерительными приборами. На начальном этапе транслятор инициализируется с использованием стандартных настроек. Транслятор ожидает поступления SCPI-команд от сервера. При получении команды транслятор сопоставляет её с API устройства и выполняет соответствующий вызов API. Получив ответ от API устройства, транслятор отправляет его обратно серверу.

«Библиотека устройства» при наличии подключенного по USB устройства, отправляет API через Bulk-pipe, в противном случае запускается эмулятор устройства со стандартными настройками, где и инициализируются команды[4].

```
int main(int argc, char** argv) {
    (void) argc;

server_t::server_t(
    const std::string ip, const unsigned short port,
    const unsigned short num_threads) noexcept
: m_ios_acceptors{boost::make_shared<io_service>()},
  m_ios_work_acceptors{boost::make_shared<io_service::work>(& *m_ios_acceptors)},
  m_ios_executors{boost::make_shared<io_service>()},
  m_ios_work_executors{boost::make_shared<io_service::work>(& *m_ios_executors)},
  m_endpoint{ addr: address::from_string( str: ip), port_num: port},
  m_acceptor{ & *m_ios_acceptors, endpoint: m_endpoint},
  m_session{boost::make_shared<session_t>(& *m_ios_executors)},
  m_signals{ & *m_ios_acceptors, signal_number_1: SIGINT, signal_number_2: SIGTERM}
{
    // Add signal handling for graceful termination (CTRL + C)
    m_signals.async_wait( handler: boost::bind( f: &server_t::stop, a1: this));

    spdlog::info( fmt: "starting [{}:{}", ip, port);

    for (unsigned int i = 0; i < num_threads; ++i)
    {
        m_executors_thread_group.create_thread( threadfunc: boost::bind( f: &server_t::worker_thread_callback,
                                                                           a1: this,
                                                                           a2: m_ios_executors));
    }

    m_acceptor.async_accept( & m_session->get_socket(),
                           handler: boost::bind( f: &server_t::accept_handler, a1: this, a2: m_session, a3: error));

    spdlog::info( msg: "started, press CTRL+C to quit");
}
```

Рис. 3. Пример инициализации обработки SCPI-команды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация сервера протокола SCPI для измерительных устройств семейства AlmaMeter представляет собой важный шаг в улучшении и расши-

рении функциональности этих приборов. Она включает создание серверного программного обеспечения с использованием современных технологий, таких как библиотека ASIO на языке C++, обеспечивая высокую производительность и надежную передачу данных через TCP-соединения. Реализация также включает разработку интерфейса для взаимодействия с приборами по протоколу SCPI, что упрощает интеграцию новых устройств и повышает их совместимость с другими системами. В будущем можно рассмотреть добавление веб-интерфейса для удаленного управления, увеличение числа поддерживаемых устройств и улучшение средств безопасности, чтобы сделать приборы AlmaMeter еще более универсальными и востребованными.

Библиографические ссылки

1. Boost. Asio C++ Network Programming/ John Torjo, Wisnu Anggoro // Chapter 2. Understanding the Networking Concepts, С. 63 – 105
2. Mastering Binary Data Transfers With Your Instrument [Электронный ресурс]. URL: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1sl381/1SL381_1e_Binary_transfer_using_SCPI.pdf (дата обращения 30.05.2024).
3. (ASIO) ASIO.BOOST Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://think-async.com/Asio/boost_asio_1_30_2/doc/html/boost_asio/overview.html (дата обращения 30.05.2024).
4. USB endpoints and their pipes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbcon/usb-endpoints-and-their-pipes> (дата обращения 30.05.2024).

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ НА ДОРОЖНОМ УЧАСТКЕ ГОРОДА

З. А. Шевченко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, shevasaxerd@gmail.com*

*Научный руководитель – Е. А. Чудовская, доцент кафедры телекоммуникаций
и информационных технологий, кандидат физико-математических наук, доцент*

В статье исследуется существующий дорожный участок города Минска, с дальнейшим его подробным описанием и построением модели оптимизации движения для всех участников дорожного движения.

Ключевые слова: дорожный участок; оптимизация; дорожное движение.

Предлагаемая работа заключается в разработке модели оптимизации процессов дорожного движения на примере определенного дорожного участка, для увеличения проходимости и сокращения временных простоев участников движения.

Для данной работы нами было выбрано пересечение трёх улиц: Кирова, Бобруйская и Ульяновская в городе Минск (рис. 1).

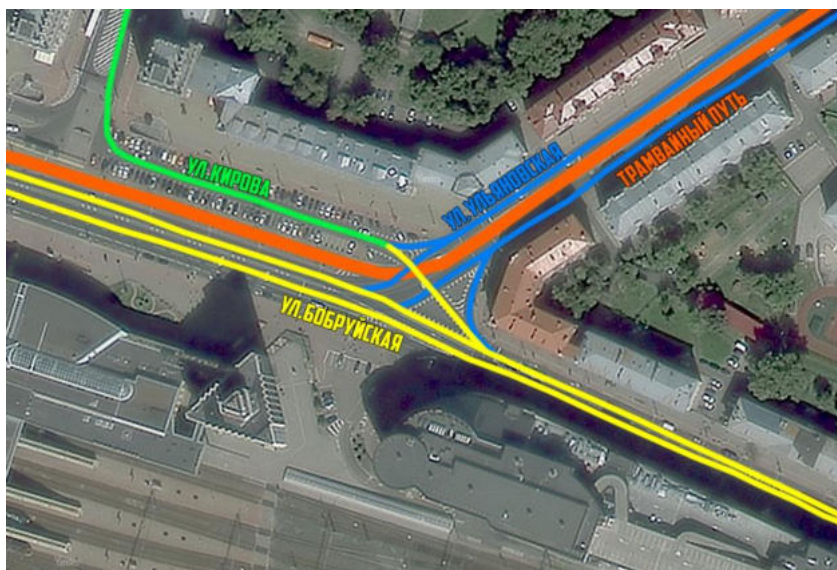


Рис. 1. Выбранный дорожный участок.

Основной особенностью движения автомобилей на данном участке является то, что одновременно по Бобруйской улице не осуществляется движение в обе стороны. Все режимы работы светофоров построены на

периодическом движении в разные стороны. Данная модель так же обозначает движение трамвая, которому предоставляется возможность движения только в один из периодов полного цикла движения. Всего движение на участке разделено на три периода: движение с Ульяновской улицы на Бобруйскую, движение в обе стороны по Бобруйской улице, с возможностью съезда на Ульяновскую улицу. Ниже, на рисунке 2 предоставлен общий график работы светофоров на всем дорожном участке.

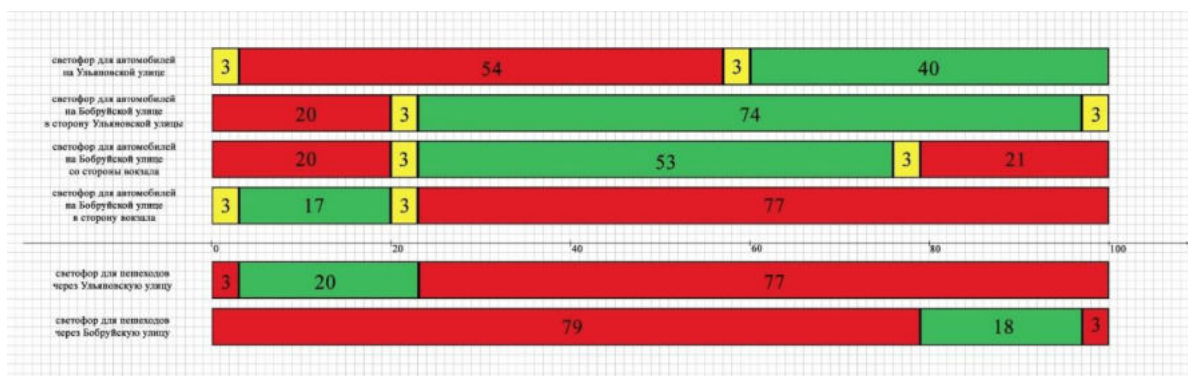


Рис. 2. График работы светофоров на участке

Цель – сократить простой пешеходов на переходах, не ухудшив ситуацию для автомобилей.

Основная проблема, с которой сталкиваются люди – трудность перехода обеих дорог без остановки. Для понимания направления оптимизации, требуется рассчитать время преодоления пешеходами двух дорог и расстояния между ними. Взяв среднюю скорость пешехода 1,6 метра в секунду, зная расстояние, рассчитаем, что для преодоления всего участка требуется примерно 47 секунд. Из которых 17 секунд – преодоление пешеходного перехода через Ульяновскую улицу, 12,5 секунд – преодоление пешеходного перехода через Бобруйскую улицу, 17,5 секунд – преодоление расстояния между ними. Первое что необходимо сделать – сократить паузу между двумя пешеходными светофорами до времени преодоления расстояния между ними, то есть, до 18 секунд. Однако все же речь идет о людях, средние показатели скорости которых разнятся и варьируются, так что необходимо время удлинить на пару секунд. Предлагаемый вариант – 22 секунды. Время зеленой фазы пешеходного светофора через Бобруйскую улицу, исходя из расчетов, можно сократить до 16 секунд (опять же, для преодоления необходимо 12,5 секунд, однако стоит добавить несколько для большей вариативности и свободы движения).

Однако, для того чтобы сократить промежуток между зелеными фазами двух пешеходных светофоров, необходимо поменять местами исходные периоды (рис. 3).



Рис. 3. График работы светофоров после оптимизации

Таким образом, можно смоделировать две ситуации: в первой, мы безостановочно преодолеем весь участок за счет грамотно вымеренных временных промежутков, во второй – после преодоления Бобруйской улицы, на перемещение к следующему пешеходному переходу и ожидание разрешающего сигнала предоставляется 42 секунды, из которых просто можно назвать лишь 20 секунд (учитывая что для преодоления расстояния между светофорами требуется 22 секунды). Ниже (рис. 4) приведен график сравнения простоев до и после оптимизации.

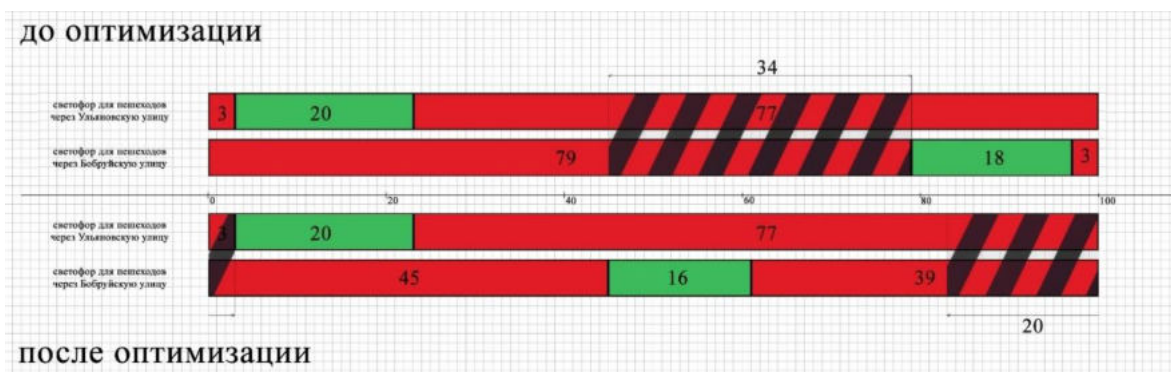


Рис. 4. График сравнения результатов

Путем исследования, анализа и преобразований, мы добились своей цели – оптимизировали весь дорожный участок, сократив простой пешеходов. Однако, еще одной важной целью являлось улучшение, или сохранение и так удачного движения автомобилей. Для наглядной демонстрации мы разработаем модель дорожного участка и сравним варианты до и после оптимизации.

Для моделирования дорожного движения, нами был выбран AnyLogic. AnyLogic — программное обеспечение для имитационного моделирования, разработанное российской компанией The AnyLogic Company. Инструмент обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей. Благодаря разработанной

нами модели (рис. 5), мы сможем сравнить среднее время прохождения дорожного участка для автомобилей при нынешнем режиме регулировки движения, с предложенным нами оптимизированным вариантом (рис. 6).



Рис. 5. Разработанная модель

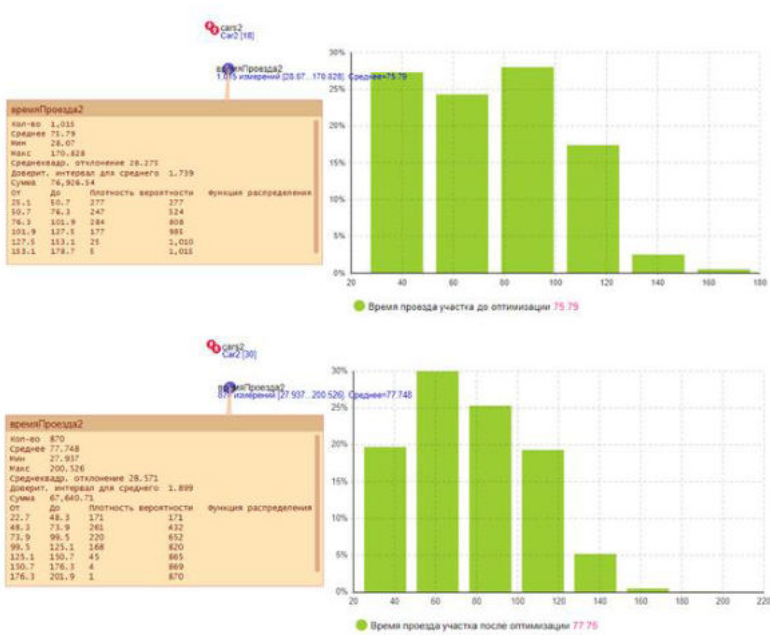


Рис. 6. Сравнение результатов

Как мы можем видеть, среднее время прохождения дорожного участка, учитывая погрешность вычислений, практически идентично. Это означает, что мы действительно оптимизировали движение пешеходов, не ухудшив трафик автомобилей.

DEVELOPMENT OF A SECURE INFORMATION SYSTEM WITH WEB INTERFACE

Wang Hongyuan

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, hw191577@gmail.com*

Supervisor – V. V. Skakun, Ph.D. in physics and mathematics, Associate Professor

This paper researches the methods for design and programming of a secure information system of a hospital based on SQL Server database and a rich Web interface utilizing the programming frameworks Spring Boot and Vue. The designed database schema, information system structure and the protection system are presented. The developed protection system ensures data security and prevents unauthorized access and database attacks.

Keywords: information system; database; web interface; information protection.

РАЗРАБОТКА БЕЗОПАСНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОМ

Ван Хунъюань

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, hw191577@gmail.com*

*Научный руководитель – В. В. Скакун, кандидат физико-математических наук,
доцент*

В статье исследованы методы проектирования безопасной информационной системы госпиталя, основанной на базе данных SQL Server и веб-интерфейсе с использованием фреймворков Spring Boot и Vue. Представлены разработанные диаграммы базы данных, структура информационной системы и средства защиты данных. Разработанная система защиты гарантирует безопасность и предотвращает несанкционированный доступ и атаки на базу данных.

Ключевые слова: информационная система; база данных; веб-интерфейс; защита информации.

Nowadays, hospital information management systems enhance the quality of medical services by digitally storing and processing patient information. However, existing hospital management systems have many security vulnerabilities, such as weak authentication mechanisms and insufficient encryption measures, which can potentially lead to patient information leaks. Therefore, developing a secure hospital management system with multiple protective measures is essential [1]. This system uses Java and JavaScript as backend and frontend development languages, respectively, and adopts a front-

end and back-end separation architecture. SQL Server is deployed at the bottom layer to store and manage business data, ensuring data persistence and integrity. At the same time, multiple protective measures such as encryption suites, TLS protocols, JSON Web Token (JWT), and Spring Boot Security framework are integrated to ensure the security of data transmission and storage.

This paper employs the E-R modeling method to perform information modeling for the hospital management system. First, core entities and their attributes are identified, followed by an analysis of the relationships between entities. Adhering to the database normalization theory, the table structures are standardized to eliminate data anomalies. Entities are mapped to data tables, attributes correspond to table fields, and relationships are represented through foreign key constraints between tables [2]. After consideration, 19 core table structures were determined. E-R diagram is shown in Figure 1.

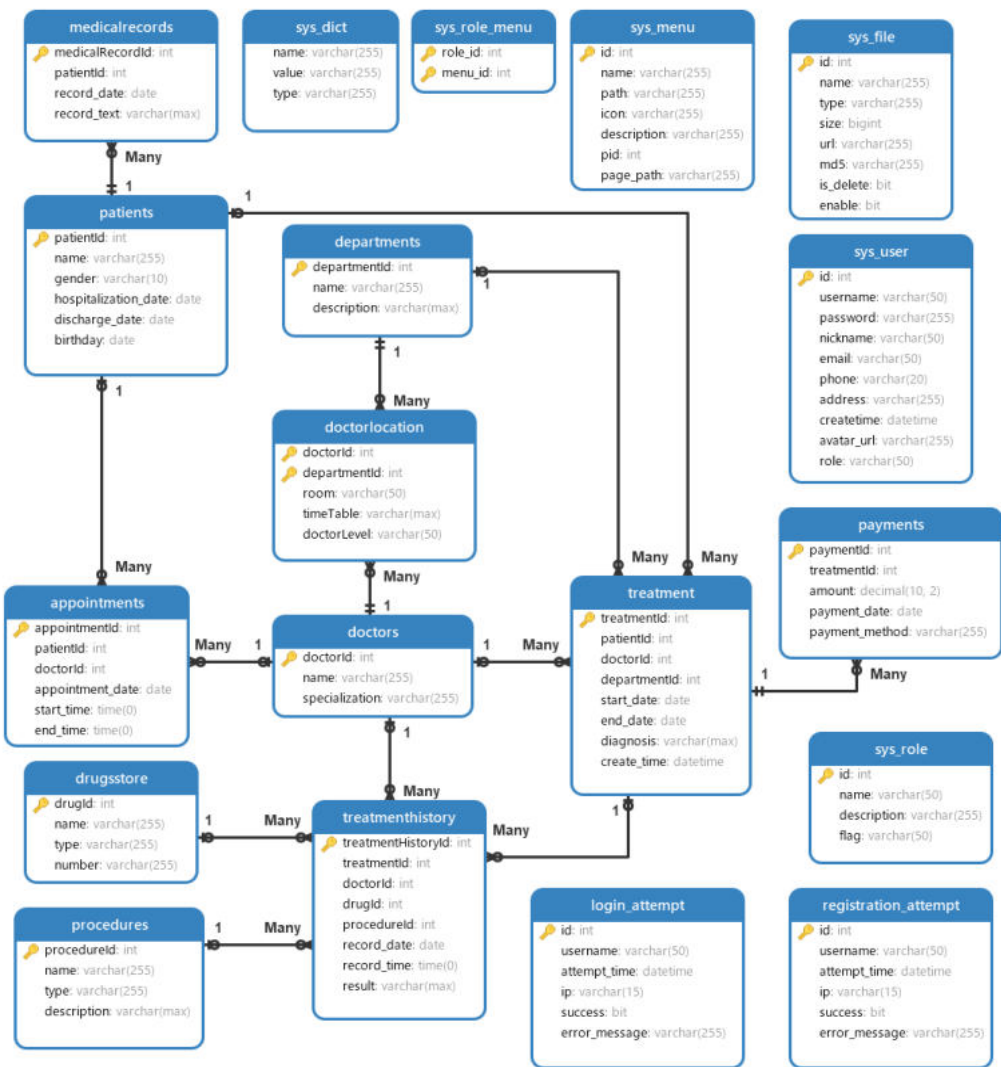


Fig. 1. E-R diagram

The developed system consists of three main layers: the front-end presentation layer, the back-end logic layer, and the data persistence layer and implements front-end and back-end communication following the RESTful architectural style. The front-end UI is built with Vue framework and managed by VueRouter for page routing. Vuex [3] ensures state consistency and reactivity, while Axios handles asynchronous HTTP requests to back-end services. Element UI is used for UI components, and the development environment is supported by webpack-dev-server on Node.js [4]. The back-end uses the Spring Boot framework with an embedded Tomcat server to provide RESTful services. MyBatis Plus handles data access operations, facilitating communication with the database. Auxiliary libraries like Lombok and Hutool simplify routine tasks, and Apache POI processes Excel documents. HTTP protocol standards govern data exchange between the front-end and back-end.

The SQL Server Database manages and stores business data, ensuring data persistence and integrity. The complete architecture of the designed system is shown in Figure 2.

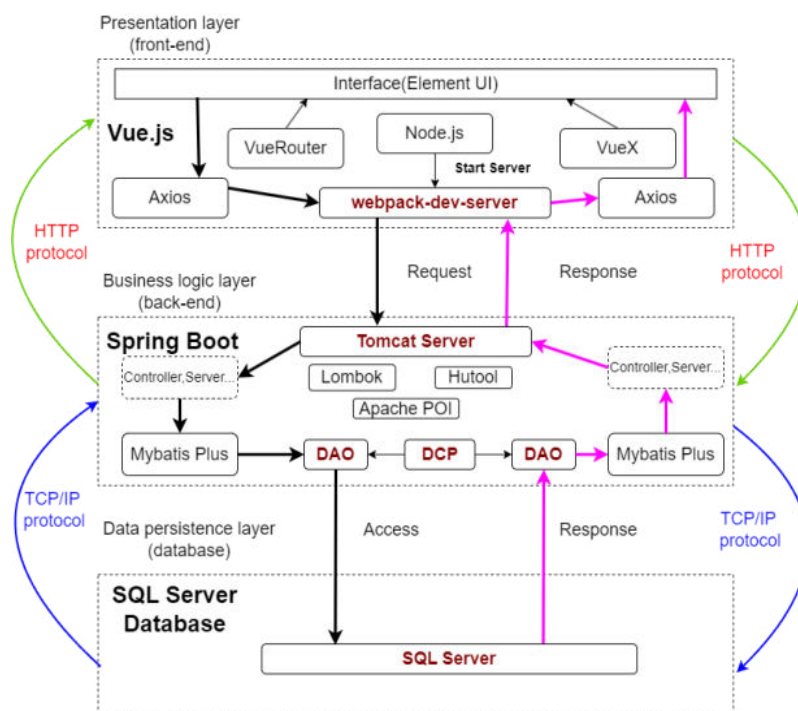


Fig. 2. System structure

To achieve comprehensive security protection for the system, more than basic Role-based access control and menu access control key measures have been taken to fortify data transmission security, request access control, and defense against web-based attacks. It is proposed to set filters at data input and encrypt important information before transmission to the back end. The back end integrates the Spring Boot Security framework [5] and leverages JWT

interceptors for access control. Important information is encrypted again using the SHA-256 algorithm before being transmitted to the database. Meanwhile, data within the database is encrypted using TDE to prevent unauthorized access and protect sensitive information [6].

Additionally, all data transmitted is encrypted through various TLS protocols, preventing unauthorized data interception during communication [7]. Overall security structure is shown in Figure 3.

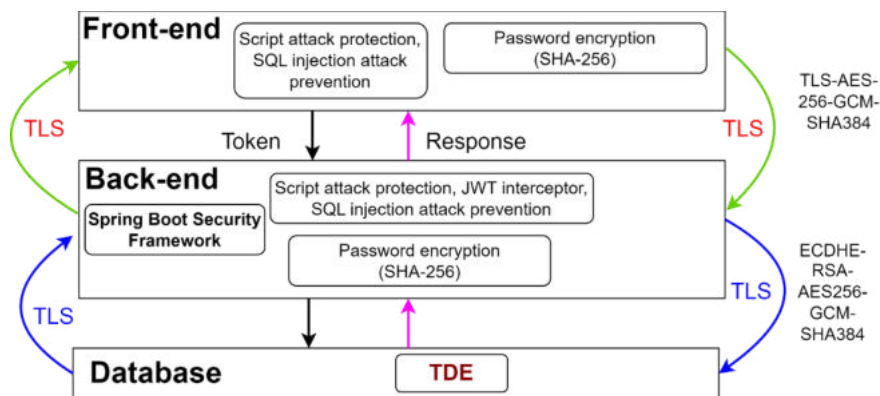


Fig. 3. Overall security structure

After a comprehensive analysis of the existing hospital business processes and management system structure, a secure hospital management system with a web interface was successfully developed, ensuring the usability, reliability, and security of the management system.

References

1. D. Su. Current Status and Analysis of Computer Information System Network Security. *Electronic Communications and Computer Science / D. Su [et al]*, Vol. 4, Issue 6, 2022, 73-75 p.
2. Huawei Technologies Co., Ltd. Database Principles and Technologies—Based on Huawei GaussDB. Beijing: Press Posts&Telecom, 2022.
3. Hot Reloading [Electronic resource]. URL: <https://vuex.vuejs.org/guide/hot-reload.html> (date of access: 03.10.2023).
4. Ricardo Javier Celi Párraga. Web Application Development Using Vue.Js, Axios and PHP. *Revista Multidisciplinar / Ricardo Javier Celi Párraga*, Vol. 4, Issue 1, 2023, 787-799 p.
5. Spring Boot-05-Security Authentication and Authorization (Introduction) [Electronic resource]. URL: https://blog.csdn.net/m0_74353020/article/details/139307225 (date of access: 04.06.2023).
6. Transparent Data Encryption [Electronic resource]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/security/encryption/transparent-data-encryption?view=sql-server-ver16> (date of access: 14.02.2024).
7. Ensuring the security of web applications operating on the basis of the SSL/TLS protocol: E3S Web of Conf. Russia, May 16-19, 2023. / I. Tanaino [et al], 2023, 11 p.

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ХЕМОСЕЛЕКТИВНЫЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО РАСКРЫТИЯ ЦИКЛОПРОПАНОЛОВ В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ(II)

В. А. Завалинич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, viktoryiazavalinich@mail.ru*

*Научный руководитель – В.С. Масюк, кандидат химических наук,
зав. НИЛ элементоорганического синтеза*

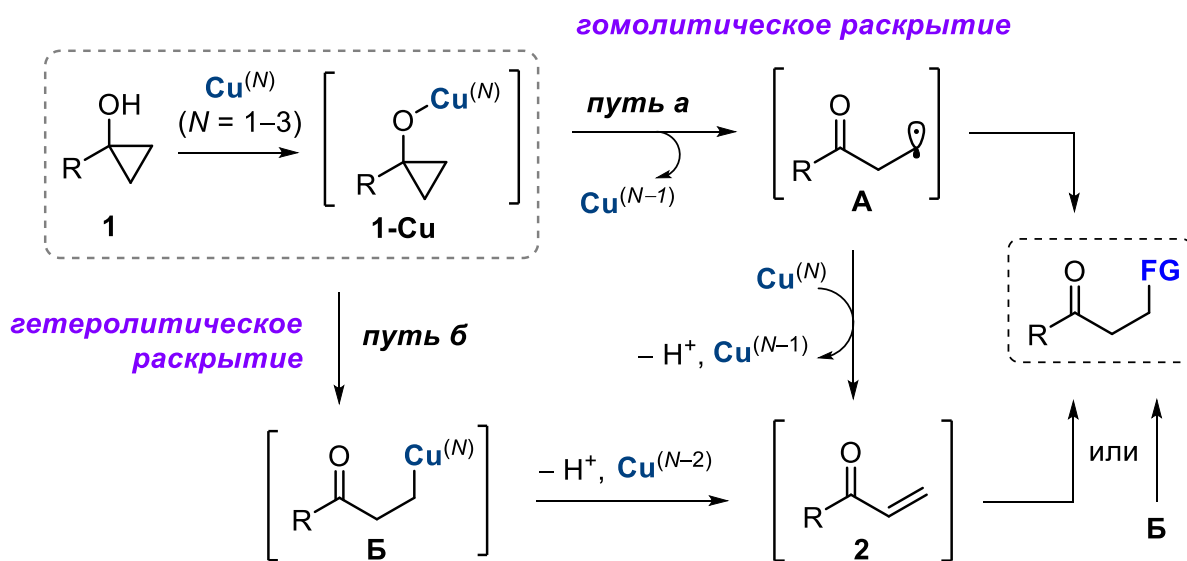
Медные катализаторы широко используются в различных органических превращениях, включая реакции окисления, протекающие с участием молекулярного кислорода. Раскрытие циклопропанолов, катализируемое соединениями меди может протекать по различным механизмическим путям, что предоставляет возможность моделирования превращений с получением соответствующих промежуточных соединений и продуктов. Здесь мы сообщаем о возможности управления селективностью подобных реакций путем выбора лигандов в используемых комплексах меди.

Ключевые слова: циклопропанолы; медь; аэробное окисление; азотсодержащие лиганды.

Медь-катализируемые реакции играют важную роль в превращениях циклопропанолов (**1**), сопровождающихся раскрытием напряженного трехчленного цикла [1]. Подобные реакции могут протекать по нескольким механизмам [2,3]. Так, медный катализатор может выступать в качестве одноэлектронного окислителя [2], что приводит к образованию β -кеторадикала **A** (схема 1, гомолитический путь). В случае же переноса пары электронов реакции протекают через образование гомоенолята меди **B** [3] (схема 1, гетеролитический путь). α,β -Ненасыщенный кетон **2** может получаться по обоим механизмическим путям выступая в качестве интермедиата в ходе последующих превращений циклопропанолов. Конкуренция двух возможных механизмов реакции зачастую приводит к образованию смесей продуктов, что делает актуальным задачу поиска реагентов и условий реакции, позволяющих получать необходимые продукты хемоселективным образом. Отличительной особенностью катализаторов на основе меди также является возможность окисления органических соединений под действием кислорода в качестве «зеленого окислителя» [4].

Известно, что на путь протекания реакции аэробного раскрытия циклопропанолов существенное влияние могут оказывать такие факторы как растворитель, строение субстрата и используемые в качестве катализатора соединения меди [1-3]. Однако, возможность управления селективностью

подобных реакций путем выбора лигандов в используемых комплексах меди ранее не изучалась.



Окислительное раскрытие циклопропанолов исследовалось на примере 1-(2-фенилэтил)циклопропанола (**1a**) в качестве модельного субстрата. Все эксперименты выполнялись на 0,2-0,3 ммоль циклопропанолов **1** в условиях аэробного окисления (открытая колба) при комнатной температуре с использованием 10 мольн. % медного катализатора. В качестве исследуемых лигандов использовались различные амины в количестве 10-20 мольн. %. После обработки синтезов (через 3 ч) состав реакционных смесей, конверсию исходного циклопропанола и соотношение продуктов реакций исследовали с помощью ^1H ЯМР спектроскопии (схема 2).

В ходе аэробного раскрытия циклопропанола **1a** наблюдалось образование четырех продуктов (**2a-5a**), соотношение которых зависело от используемого растворителя и лигандов, а также источника меди (схема 2). Получение винилкетона **2a** предположительно происходит при протекании реакции по гетеролитическому механизму (схема 1, путь б), в то время как 1,2-диоксолан **3a** образуется через присоединение молекулярного кислорода к β -кеторадикалу (**A**, схема 1, путь а). Это предположение подтверждалось реакцией окисления 1,2-дизамещенного циклопропанола **1б** (схема 2, в), гомолитическое раскрытие цикла в котором протекало через образование более стабильного вторичного радикала за счет разрыва более замещенной $\text{C}_1\text{-C}_2$ -связи, в результате чего в качестве основного продукта был получен 1,2-диоксолан **3б**. Гетеролитический же путь реакции реализовывался в данном случае через разрыв связи $\text{C}_1\text{-C}_3$ с преимущественным

образованием ненасыщенного кетона **26**. В ходе реакций наблюдалось также образование β -гидроксикетонов **4**, по-видимому, за счет восстановления связи O-O в диоксоланах **3**.

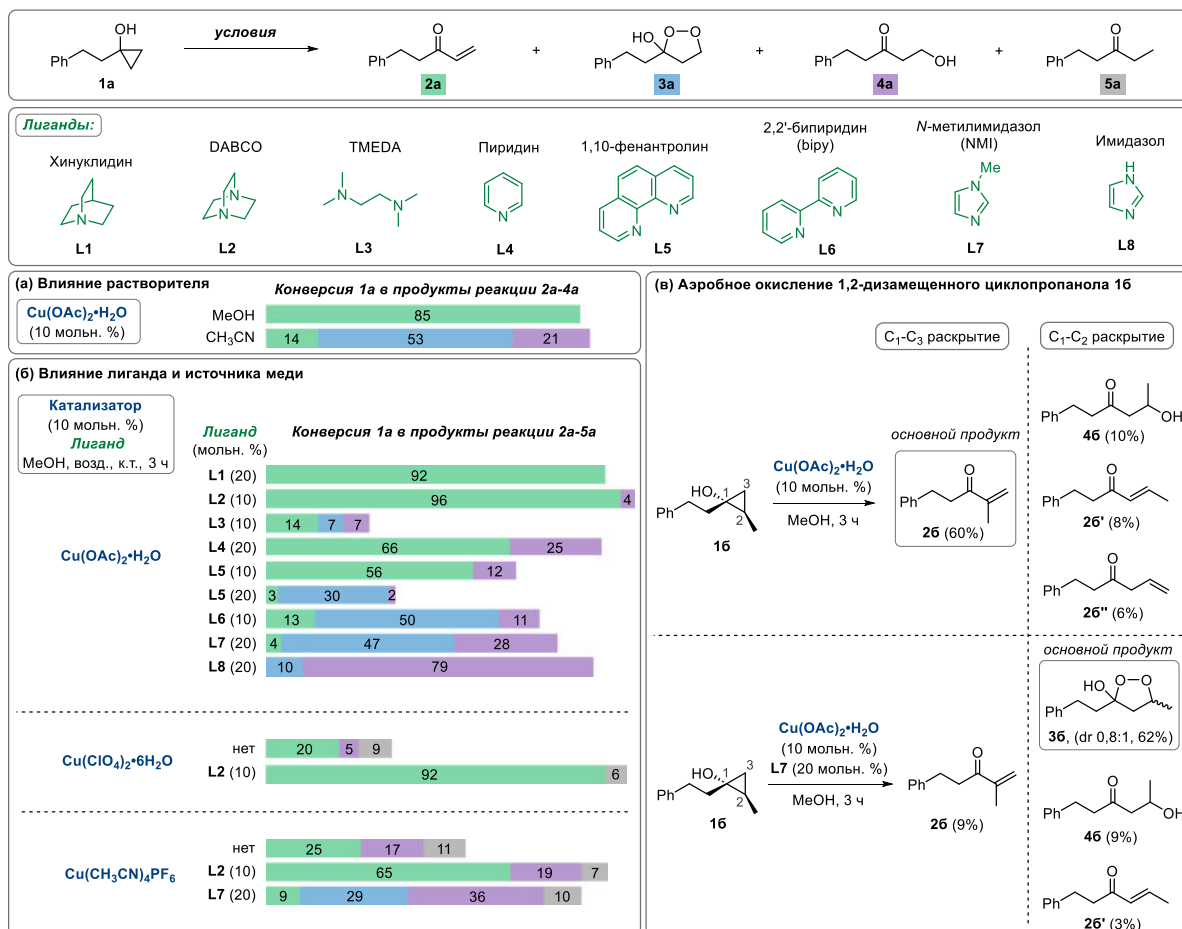


Схема 2

Основываясь на данных наблюдениях образование винилкетона **2a** было выбрано в качестве критерия протекания реакции раскрытия по гетеролитическому пути, а величина объединенного выхода продуктов **3a** и **4a** являлась индикатором реализации гомолитического механизма. В результате были выделены три основных фактора, влияющих на механизм протекания реакций: природа растворителя, значительное влияние лигандов и природа источника меди.

Во-первых, при использовании ацетата меди(II) в качестве катализатора гомолитическое раскрытие циклопропанового фрагмента предпочтительно в случае использования ацетонитрила. В случае же использования метанола в качестве единственного продукта был получен винилкетон **2a** (схема 2, а). Предполагается что молекулы растворителя могут выступать

в качестве дополнительных лигандов, влияя, тем самым, на механизм реакции. Так, ацетонитрил в качестве электронодефицитного лиганда способствует гомолитическому раскрытию.

Во-вторых, было замечено сильное влияние добавления азотсодержащих соединений к ацетату меди(II) на ход протекания реакций. В случае использования σ -донорных лигандов (хинуклидин, DABCO) в качестве основного продукта был получен винилкетон **2a**, в то время как добавление π -акцепторных лигандов (1,10-фенантролин, 2,2'-бипиридин, производные имидазола) приводило к преимущественному образованию продуктов гомолитического раскрытия **3a** и **4a** (схема 2, б). Похожее распределение продуктов наблюдалось также и в случае раскрытия 1,2-дизамещенного циклопропанола **1b** (схема 2, в). Такой результат, по-видимому, обусловлен большими окислительными свойствами комплексов меди с π -акцепторными лигандами за счет лучшей стабилизации меди(I) [5]. Некоторые амины (TMEDA, пиридин) представляли собой пограничный случай и реакции протекали через оба механизма. Еще одним фактором, влияющим на соотношение продуктов раскрытия циклопропанола **1a** являлось соотношение меди и используемых лигандов. Так, в случае соотношения $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ и 1,10-фенантролина 1:1 в качестве основного продукта был получен винилкетон **2a**, двукратный же избыток лиганда приводил к преимущественному образованию 1,2-диоксолана **3a** (схема 2, б).

В-третьих, использование других солей меди, таких как перхлорат меди(II) и $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4]\text{PF}_6$, которые не содержат хорошо координирующих анионов подобно ацетат-аниону, приводило к значительному замедлению скорости реакций (схема 2, б). В данном случае также наблюдалось значительное образование β -гидроксикетона **4a**. Полученный результат показывает, что карбоксилат-анионы в случае использования $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ сами по себе направляют протекание реакции по гетеролитическому механизму. Добавление же азотсодержащих лигандов оказывало такое же влияние, как и в случае использования ацетата меди(II).

В заключение, было показано, что наличие карбоксилат-анионов, метанола и σ -донорных азотсодержащих лигандов приводит к преимущественному протеканию реакции окислительного расщепления циклопропанолов по гетеролитическому пути, в то время как использование электронодефицитных π -акцепторных лигандов способствует протеканию реакции через одноэлектронный механизм окисления с раскрытием цикла по гомолитическому механизму.

Структура и чистота всех полученных соединений были подтверждены методами ^1H , ^{13}C ЯМР и ИК спектроскопии, а также ГХ-МС спектрометрии.

Библиографические ссылки

1. Selective Carbon–Carbon Bond Cleavage of Cyclopropanols / T. R. McDonald [et al.] // *Chem. Rev.* 2021. V. 121, № 1. P. 3-79.
2. Solvent-Dependent Reaction Pathways Operating in Copper(II) Tetrafluoroborate Promoted Oxidative Ring-Opening Reactions of Cyclopropyl Silyl Ethers / *E. Hasegawa* [et al.] // *J. Org. Chem.* 2016. № 81. P. 2692–2703.
3. β -Copper(II) ketones. Generation, coupling, and highly stereoselective trapping by electron-deficient acetylenes / *I. Ryu* [et al.] // *J. Am. Chem. Soc.* 1993. V. 115, № 26. P. 12330–12339.
4. Aerobic Copper-Catalyzed Organic Reactions / *S.E. Allen* [et al.] // *Chem. Rev.* 2013. V. 113, № 8. P. 6234–6458.
5. Cyclic voltammetric studies of copper complexes catalyzing atom transfer radical polymerization / *J. Qiu* [et al.] // *Macromol. Chem. Phys.* 2000. № 201. P. 1625-1631.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований (Беларусь, задания 2.2.01.07 № 20211462 и 2.1.01.02 №20212310).

СИНТЕЗ ОКСИДНО-КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННО- ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

А. В. Куницкий

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, che.kunickiy@bsu.by*

*Научный руководитель — Карпушенкова Лариса Степановна,
кандидат химических наук*

Синтез оксидно-композитных покрытий проводили методом плазменно-электролитического оксидирования в электролитах на основе фосфата и алюмината натрия. Изучено влияние режима оксидирования и состава электролита на формирование ПЭО покрытий, их морфологию и состав. Определены оптимальные параметры ПЭО обработки магниевого сплава AZ61, состав и концентрация электролита.

Ключевые слова: оксидно-композиционное покрытие; плазменно-электролитическое оксидирование; магнийевый сплав AZ61; режимы оксидирования.

ВВЕДЕНИЕ

Магний и его сплавы – одни из самых легких известных на данный момент конструкционных материалов, основным недостатком которых является подверженность коррозии [1]. Надежную защиту магния и его сплавов от коррозии обеспечивают неорганические покрытия [2]. Одним из перспективных способов получения таких покрытий является метод плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО), позволяющий сформировать покрытия с хорошей адгезией, износо- и коррозионной-стойкостью [3]. Механизм формирования ПЭО-покрытия является достаточно сложным и протекает при относительно высоких напряжениях (300-600 В) с одновременным протеканием электрохимических, плазмохимических и термических реакций [1]. Целью данной работы было определение условий формирования антикоррозионных оксидно-композитных ПЭО покрытий на поверхности магниевого сплава AZ61.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы магниевого сплава AZ61 размером 20x25x1 мм оксидировали при плотности тока от 50 до 200 мА/см² и напряжениях до 550 В с использованием источника питания постоянного тока ЕА-PSI 9750-12 2U. Соотношение времени импульсов протекающего тока (вкл/выкл, мс) составляло $t_{on}:t_{off} = 2:6$. Синтез покрытий проводили в течение 1-15 мин в

стеклянной ячейке объемом 1 л (рис. 1а). В качестве электролитов использовали водные растворы: 2 г/л NaOH, 10 г/л Na₃PO₄; 2 г/л NaOH, 8 г/л NaAlO₂; 0.5 г/л NaOH, 5.5 г/л Na₂SiO₃, 5.5 г/л Na₄P₂O₇.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

При проведении ПЭО обработки магниевого сплава было установлено, что равномерные покрытия формировались только в алюминатном электролите в течение 5 мин при плотности тока 100 мА/см² в интервале напряжений от 400 до 450 В (рис. 1). Данный электролит и был выбран для дальнейшего синтеза ПЭО покрытий и определения оптимальных параметров оксидирования.

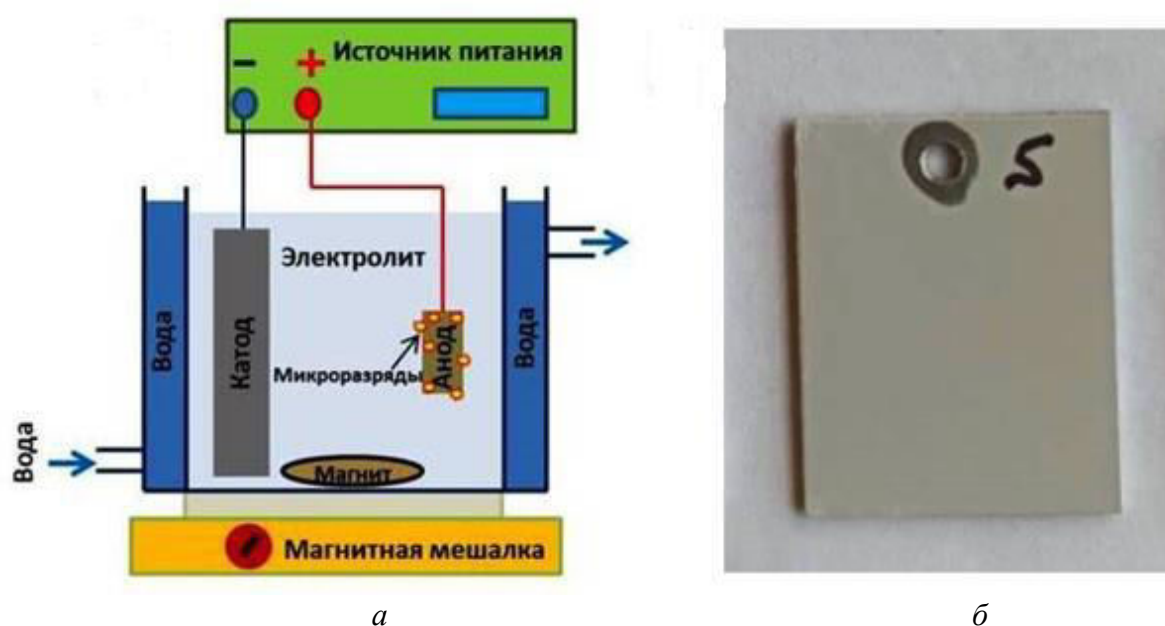


Рис. 1. Схема установки для ПЭО обработки (а) и вид поверхности ПЭО покрытия (б)

Процесс ПЭО характеризуется несколькими стадиями [1-2]: стадия обычного анодирования (I), стадия мелкого искрения (II), стадия среднего и крупного искрения (III) и стадия дуговых разрядов (IV). В данной работе диапазон ПЭО обработки также разделили на четыре режима. На рисунке 2а представлена зависимость напряжения ПЭО обработки от времени и изображения вида искровых разрядов, соответствующих каждому режиму (рис. 2б). Из полученных данных были определены три оптимальных усредненных значения напряжения искрового оксидирования: 400, 425 и 450 В, соответствующие искровым режимам II, III и IV.

Экспериментально установлено (рис. 3а,б), что чем ниже значение заданного напряжения оксидирования, тем быстрее процесс ПЭО переходит из режима постоянного тока в режим постоянного напряжения (40, 60 и 180

с, для 400, 425 и 450 В, соответственно). Следует отметить, что при достижении максимального напряжения плотность тока резко снижается, что создает условия для формирования ПЭО покрытий с плотной структурой и, как следствие, с большей коррозионной стойкостью [2].

На рисунке 3(в-д) представлен вид морфологии поверхности покрытий, сформированных в трех режимах искровых разрядов. Характер и размер разрядов определяют морфологию поверхности покрытия. В режиме мелких искр (II), формируется покрытие с большим количеством мелких пор (1-5 мкм). При переходе к III режиму происходит изменение морфологии поверхности покрытия с образованием мелких (1-5 мкм) и более крупных пор (10-15 мкм). В режиме IV на снимке видны в основном крупные поры (15-25 мкм), возникающие после горения микродуг.

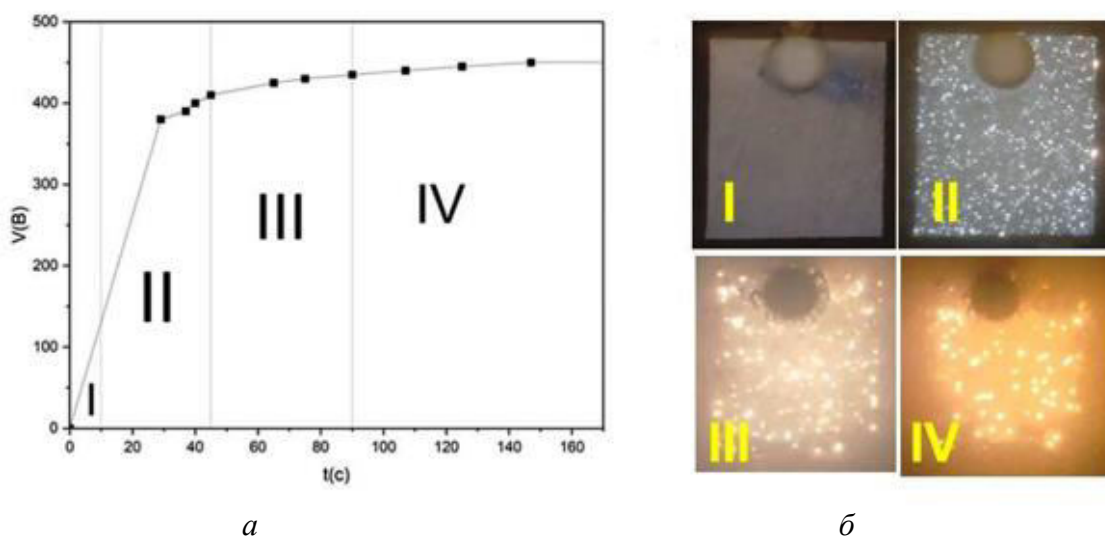


Рис. 2. Зависимость изменения напряжения от времени оксидирования и вид искровых разрядов в каждом режиме оксидирования

По данным рентгенофазового анализа, все три типа ПЭО покрытий содержат мелкокристаллическую фазу алюмината магния $MgAl_2O_4$, т.е. имеют оксидно-композитную структуру смеси мелкокристаллических оксидов магния и алюминия с рентгеноаморфной составляющей.

Согласно [1,2] ПЭО покрытия, сформированные в условиях так называемого «мягкого искрения» (режим II) являются хорошей основой для последующей химической обработки и инкорпорирования различных соединений с коррозионной защитой или каталитической активностью. Режим смешанного искрения (III) позволяет формировать ПЭО покрытия с включением нерастворимых частиц из электролита, которые придают поверхности обрабатываемого сплава магния дополнительные функциональные свойства.

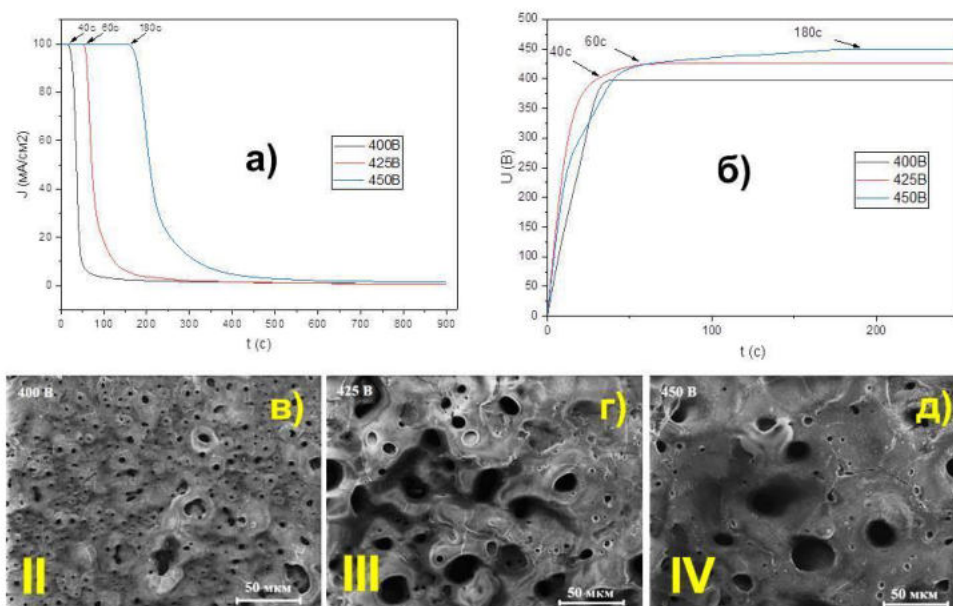


Рис. 3. Зависимость напряжения (а) и плотности тока (б) от ПЭО обработки; микрофотографии поверхности (СЕМ) ПЭО покрытий в трех режимах ПЭО процесса (в,г,д)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы на поверхности магниевого сплава AZ61 в алюминатно-щелочном электролите синтезированы оксидно-композитные покрытия с характерной развитой морфологией поверхности, для синтеза которых определены алюминатный состав электролита и три оптимальных режима искровых разрядов. Установленные режимы ПЭО обработки могут использоваться для синтеза и дальнейшей модификации ПЭО покрытий на поверхности магниевого сплава AZ61 с различными функциональными добавками с целью получения новых функциональных композиционных материалов с заданными свойствами.

Библиографические ссылки

- 1.Applications of Magnesium and Its Alloys: A Review / Jovan Tan, Seeram Ramakrishna // applied science. A. 2021. Vol. 11, № 6861.
- 2.Mechanical properties and applications of Magnesium alloy – Review / S. Jayasathyakawin, M. Ravichandran et al. // Materials Today: Proceedings. A. 2020. Vol. 27, № 2. P. 909-913.
3. Excellent plasma electrolytic oxidation coating on AZ61 magnesium alloy under ordinal discharge mode / Weiyi Zhang, Yunhui Du et al. // Journal of Magnesium and Alloys. A. 2022. Vol. 10, № 9. P. 2460-2474.

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ФАЗОВЫМИ И РАЗМЕРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

М. Е. Сердюк

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, masha.serdyuk.03@gmail.com
Научный руководитель — Боборико Наталья Евгеньевна, кандидат химических наук,
доцент*

В работе изучена зависимость фотокаталитических свойств диоксида титана от его фазового состава и морфологии частиц, контролируемых введением при золь-гель синтезе NH_4F в качестве модифицирующей добавки. Установлено, что наибольшее влияние на фотокаталитическую активность диоксида титана оказывает кристалличность анатаза – чем она больше, тем выше фотокаталитическая активность, развитость поверхности TiO_2 , а также морфология частиц TiO_2 – наноразмерные частицы (порядка 30 нм), имеющие форму многогранников.

Ключевые слова: диоксид титана; золь-гель синтез; фторид аммония; фазовый состав; морфология частиц; фотокаталитические свойства.

Фотокаталитическая активность наноразмерного диоксида титана во многом определяется его структурными и морфологическими характеристиками. Следовательно; актуальной является задача по целенаправленному контролируемому синтезу TiO_2 в заданной кристаллической модификации; с определенным размером и формой частиц. С этой точки зрения оптимальным является золь-гель метод синтеза; позволяющий проводить синтез при невысоких температурах; контролировать структуру и размер частиц за счёт изменения продолжительности реакции; температуры; концентрации и химического состава реагентов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Наноразмерный диоксид титана был синтезирован с использованием тетраизопропоксида титана(IV) в качестве прекурсора; в реакции его контролируемого кислотного гидролиза (при добавлении концентрированной HNO_3) в присутствии изопропилового спирта. В качестве модифицирующей добавки; влияющей на фазовый состав и морфологию частиц получаемого TiO_2 ; основываясь на склонности ионов F^- к селективной адсорбции на кристаллографических гранях TiO_2 ; использовался фторид аммония; вводимый в реакционную смесь на стадии синтеза. Количество вводимого NH_4F из расчета $n(\text{F}^-)/n(\text{Ti}^{4+})$ варьировалось и составляло 4:1; 1:1 и 0;5:1.

Полученные золи высушивались при 80 °С до состояния ксерогеля; после чего прокаливались при 400 °С либо 550 °С в течение 2 часов. Исследовались структурные и морфологические характеристики синтезированных порошков; а также их активность после УФ-активации по фотокаталитической деградации водного раствора метиленового синего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице представлены результаты рентгенофазового анализа синтезированных оксидных материалов; которые указывают на то; что введение NH_4F в качестве модифицирующей добавки позволяет подавить фазовый переход анатаза в рутил при отжиге при 550 и 700 °С и сохранить при этих температурах более фотокаталитически активную фазу анатаза; повысив ее кристалличность.

Фазовый состав синтезированного диоксида титана при варьировании температуры отжига и количества вводимой модифицирующей добавки NH_4F

Температура отжига синтезированного TiO_2 ; °С	Фазовый состав оксидного материала			
	количество NH_4F ; вводимого в синтезе TiO_2 ; $n(\text{F}^-)/n(\text{Ti}^{4+})$			без добавки NH_4F
	4:1	1:1	0;5:1	
400	$(\text{NH}_4)_{0,8}\text{TiOF}_{2,8}$ $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$	анатаз	анатаз	анатаз
550	анатаз	анатаз	анатаз	анатаз; рутил
700	анатаз	анатаз	анатаз	рутил

Изменение количества NH_4F и температуры отжига TiO_2 позволяют контролировать форму и размер частиц TiO_2 (рис. 1). Чем выше содержание NH_4F в системе; тем более выражена тенденция к образованию более крупных несферических частиц. Повышение температуры отжига TiO_2 приводит к увеличению среднего размера частиц за счет их спекания.

Из полученных экспериментальных данных следует; что чем выше температура прогрева образца с сохранением фазы анатаза; тем заметно больше его фотокаталитическая активность; что можно связать с повышением кристалличности материала; однако; увеличение среднего размера частиц TiO_2 приводит к некоторому снижению фотокаталитической активности (рис. 2).

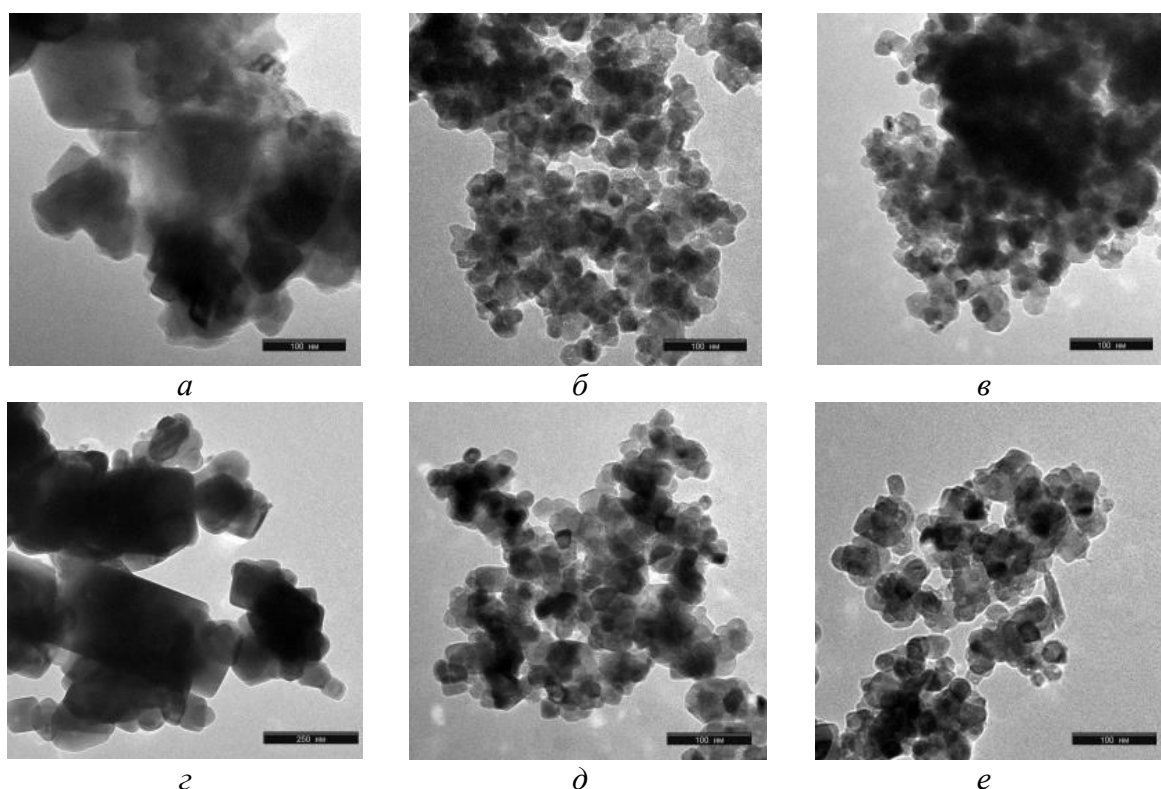


Рис. 1. Микрофотографии образцов; полученных после отжига TiO_2 при 550 °С (а; б; в) и 700 °С (з; д; е) при введении NH_4F на стадии синтеза в количестве $n(\text{F}^-)/n(\text{Ti}^{4+})$ равным 4:1 (а; з); 1:1 (б; д); 0;5:1 (в; е)

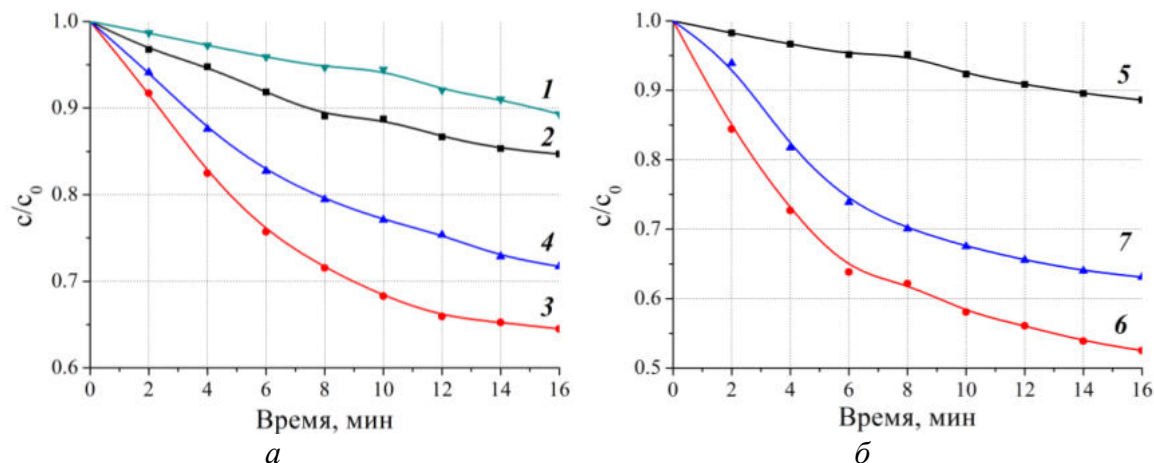


Рис. 2. Фотокаталитическая активность TiO_2 ; прогретого при 550 °С (а) и 700 °С (б): 1 – без NH_4F ; с отношением $n(\text{F}^-)/n(\text{Ti}^{4+})$ равным: 2; 5 – 4:1; 3; 6 – 1:1; 4; 7 – 0;5:1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено влияние температуры прогрева; а также наличия и количества модифицирующей добавки NH_4F на фазовый состав TiO_2 ; синтезированного гидролизом изопропоксида титана в присутствии изопропилового спирта и азотной кислоты. Введение модифицирующей добавки фторида аммония во всём исследованном диапазоне его количеств позволяет

подавить фазовый переход анатаза в рутил и сохранить анатазную кристаллическую модификацию без примеси рутила вплоть до 700 °С. Увеличение температуры прогрева оксидного материала приводит к повышению его кристалличности. Прогрев при 400 °С диоксида титана; синтезированного с использованием той же методики; но без введения модифицирующей добавки NH_4F ; приводит к образованию анатазной модификации TiO_2 ; которая постепенно переходит в рутил при увеличении температуры прогрева до 550 и 700 °С. Использование NH_4F в качестве модифицирующей добавки позволило получить частицы TiO_2 в форме прямоугольников и многогранников; а не сферических наночастиц; обычно образующихся в золь-гель синтезе. Показано; что введение модифицирующей добавки NH_4F на стадии синтеза значительно повышает фотокаталитическую активность полученного TiO_2 . Исходя из полученных экспериментальных данных; наибольшую фотокаталитическую активность проявляет образец диоксида титана; синтезированный при отношении реагентов $n(\text{F}^-)/n(\text{Ti}^{4+})$ 1:1 и прогретый при температуре 700 °С; характеризующийся присутствием анатазной кристаллической модификации с высокой кристалличности и формированием частиц; имеющих форму многогранников; со средним размером около 30 нм.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕЖАТОМНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЛИГАНДОВ С БЕЛКАМИ НА ПРИМЕРЕ СТЕРОИД-ГИДРОКСИЛАЗ ЧЕЛОВЕКА

Е. В. Петрусенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь elenoska.petrusenoska@gmail.com*

*Научные руководители — Н. Е. Бобори́ко, кандидат химических наук, доцент;
Я. В. Диченко, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лабо-
ратории белковой инженерии Института биоорганической химии НАН Беларуси*

Работа посвящена исследованию белок-лигандных взаимодействий лигандов и ферментов стероид-гидроксилаз человека. Проведен статистический анализ параметров связи; проанализированы частоты появления и геометрические параметры межмолекулярных взаимодействий для структур стероид-гидроксилаз человека с лигандами; представленных в базе данных Protein Data Bank.

Ключевые слова: белок-лигандные взаимодействия; стероид-гидроксилазы человека; база данных PDB; гидрофобные взаимодействия; водородные связи; π - π -стэкинг; язык программирования Python.

Изучение белок-лигандных взаимодействий является перспективным направлением с точки зрения разработки новых высокоэффективных лекарств; поскольку оно облегчает идентификацию молекул; способных связываться с определенными мишенями и способствует правильному выбору соединения с заданными физико-химическими и/или биологическими свойствами. В рамках данной работы проанализирована частота общих межатомных взаимодействий между белками и лигандами; для структур стероид-гидроксилаз человека; представленных в базе данных Protein Data Bank (PDB).

ПОДГОТОВКА К АНАЛИЗУ

Для анализа из базы данных PDB были извлечены все структуры стероид-гидроксилаз в комплексах с различными лигандами; с разрешением полученной структуры не более 2;5 Å. Анализ проводили с использованием функционала библиотеки с открытым исходным кодом PLIP версии 2.3.0; для языка программирования Python версии 3.11.7.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Для проведения анализа из базы данных отобрали 42 комплекса белок-лиганд. Все обнаруженные пары атомов лиганда и белка были проанализированы по семи типам взаимодействий. Проводился поиск гидрофобных

связей; водородных связей; водяных мостиков (взаимодействий лиганда с белком через молекулу воды); солевых мостиков (связей между заряженными боковыми цепями белков с противоположно заряженными лигандами); стэкинг-взаимодействий двух типов (π - π , σ - π), галогенных связей; металлических связей. Анализ показал, что между атомами белка и лиганда в исследуемых структурах реализуются взаимодействия всех искомым типов; кроме металлических (рис. 1).

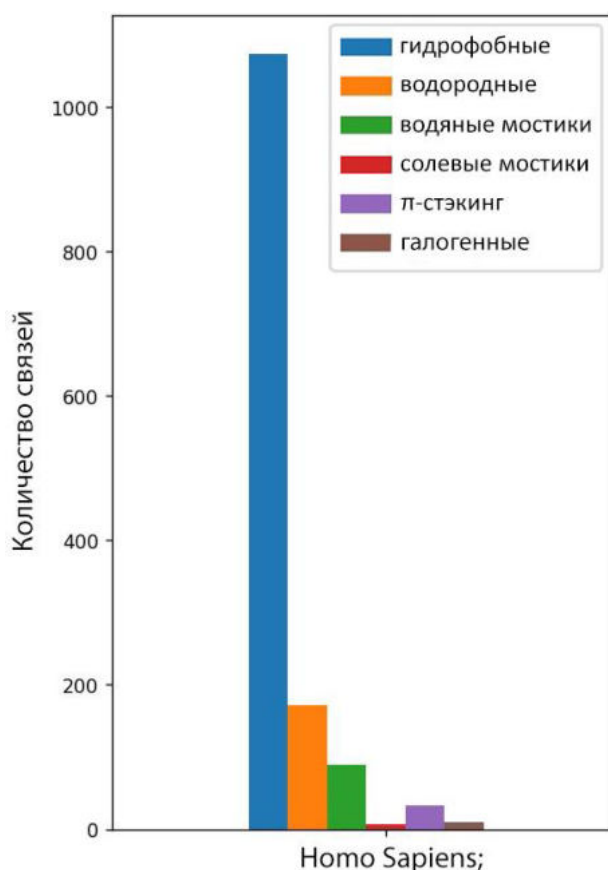


Рис. 1. Схема распределения межатомных связей по типам для атомов белков и лигандов в организме Homo Sapiens

Согласно полученным данным; наибольшее число межатомных взаимодействий относится к трем «классическим» типам взаимодействий: гидрофобные; водородные связи и π -стэкинг. Наличие π - π -стэкинг взаимодействий в некоторых структурах может указывать на высокую аффинность связывания; которая происходит за счет формирования такого типа связи. При этом σ - π взаимодействий обнаружено не было. Также для отдельных лигандов обнаружено наличие галогенных взаимодействий.

Распределение типов связи по аминокислотным остаткам белка показывает; что для гидрофобных взаимодействий лиганды располагались

ближе всего к атомам лейцина (*Leu*) и триптофана (*Tpr*); а дальше – к атомам аспарагина (*Asn*). Средняя длина связи составила 3;5-4;0 Å (рис. 2; а).

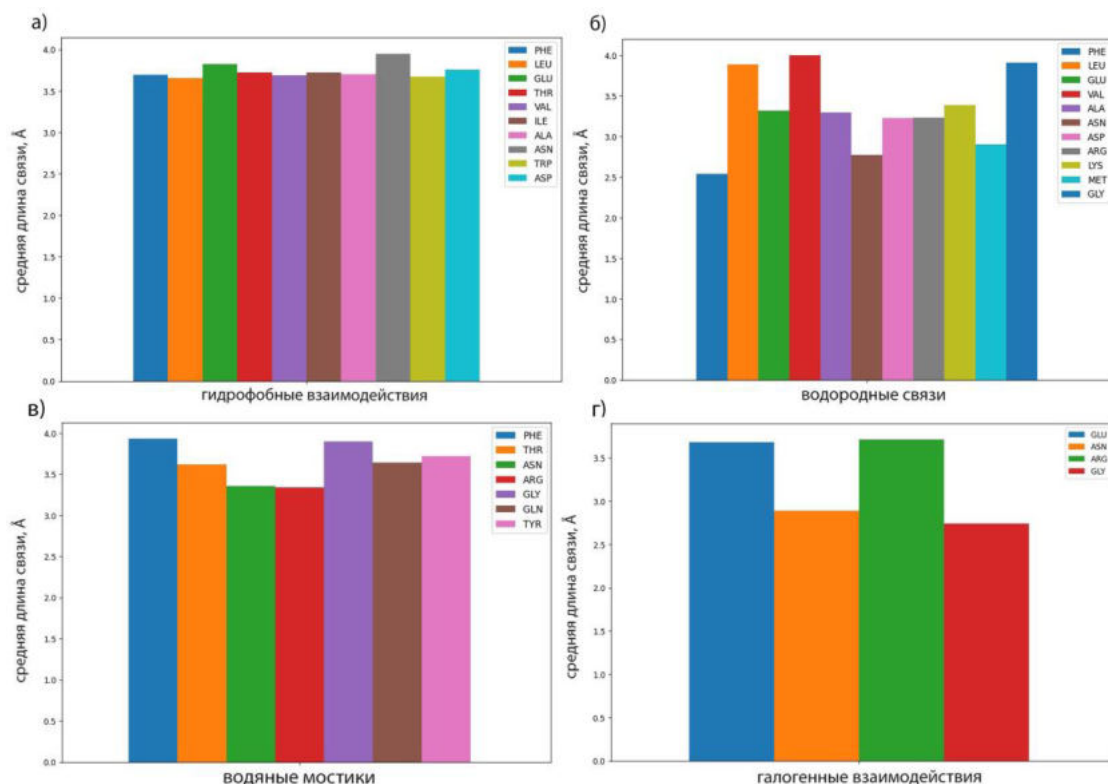


Рис 2. Распределение средней длины связи для: а – гидрофобных взаимодействий; б – водородных связей; в – молекул воды с атомами аминокислотных остатков белков; г – галогенных взаимодействий

Для водородных связей самая низкая средняя длина связи была между атомами лиганда и атомами фенилаланина (*Phe*) – аминокислоты с гидрофобной неполярной боковой цепью (рис. 2; б). В данном случае длина связи оказалась ниже; чем для *Asn* и метионина (*Met*); которые занимают второе и третье место; и ниже; чем для и аспарагиновой кислоты (*Asp*); и аргинина (*Arg*). Высокая длина связи наблюдается для валина (*Val*); рядом с ним находится лейцин (*Leu*) и глицин (*Gly*).

Солевые мостики обнаружены только в двух структурах; и все они образовались между атомом аминокислотной группы положительно заряженного *Arg* и атомом кислорода D-(L-A-аминоадипоил)-цистеин-D-изодегидрвалина. Средняя длина связи составила 3;14 Å.

В водных мостиках белок связывается с лигандом через воду. Самая низкая средняя длина связи между атомами белка и атомами воды получилась для *Arg*; а самая высокая – для *Phe* (рис. 2; в).

Для галогенного взаимодействия (рис. 2; г) получена низкая средняя длина связи для *Gly* и высокая для *Arg*. Такой тип взаимодействий был

найден в белках; которые содержали в качестве лиганда 5-хлор-3,3-диметил-2-[5-[1-(1-метилпиразол-4-карбонил)азетидин-3-ил]окси-3-пиримидил]изоиндолин-1-он. В одной из структур атом хлора лиганда образовывал связь с атомом азота аминокислоты *Arg*; а во второй структуре то же самое происходило с атомом азота аминокислоты *Asn*. Интересен факт; что связывание происходило на одной и той же аминокислоте; находящейся рядом с карбоксильной.

Взаимодействия по типу π - π -стэкинга были также найдены только в нескольких структурах. Связывание происходило с фенилаланином и триптофаном (*Trp*). Вероятно, только эти две аминокислоты оказались в достаточной близости и в нужном положении к бензольным кольцам лиганда; для того чтобы образовать такое взаимодействие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием языка программирования Python разработаны скрипты для поиска основных типов межатомных взаимодействий (гидрофобных; водородных связей; водных и солевых мостиков; стэкинг-взаимодействий двух типов (π - π , σ - π); галогенных и металлических связей) в структурах белков с лигандами; представленных в базе данных Protein Data Bank. Установлено; что чаще всего связывание лиганда с белком осуществляется за счет гидрофобных взаимодействий; водородных связей; водных мостиков и стэкинг-взаимодействий. Проведен анализ длин связей между атомами лиганда и белка; в результате чего установлено; что при наличии гидрофобных взаимодействий атомы лиганда располагаются ближе всего к аминокислотным остаткам *Leu*; *Trp*; *Asn*; при наличии водородных связей – к *Phe*; *Asn*; *Met*.

РАЗРАБОТКА НОВОГО СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА ТРАНС-2;6-ДИЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАГИДРОПИРАНОВ КАСКАДНОЙ РЕАКЦИЕЙ ОЛЕФИНИРОВАНИЯ ЛАКТОЛОВ / ЦИКЛИЗАЦИЕЙ ПО ОКСА-МИХАЭЛЮ

Е. А. Некрасова

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь *ekaterina.nek@gmail.com*
Научный руководитель – В.С. Масюк, кандидат химических наук,
заведующий НИЛ элементоорганического синтеза

2;6-Дизамещенные тетрагидропирановые циклы являются распространенными структурными элементами множества природных соединений с разнообразной биологической активностью. В данной статье предложен эффективный подход к стереоселективному синтезу *транс*-2;6-дизамещенных тетрагидропиранов через последовательность реакций олефинирования лактолов; легкодоступных на основе взаимодействия альдегидов с аллильными производными; и последующей циклизации по *окса*-Михаэлю.

Ключевые слова: *транс*-2;6-дизамещенные тетрагидропираны; стереоселективный синтез; олефинирование лактолов; реакция *окса*-Михаэля.

Большое число природных соединений; обладающих широким спектром биологической активности; содержат 2;6-дизамещенные тетрагидропирановые циклы в качестве основного структурного фрагмента углеродного скелета. Например; соединение сплайсеостатин В (**1**); выделенное из бактерий рода *Pseudomonas*; проявляет цитотоксичность в отношении раковых клеток НСТ-116; MDA-MB-235 и H232A [1]. Природные макролактоны морского происхождения; такие как неопелтолид (**2**) и форбоксазолы А (**3**) и В (**4**); обладают крайне высокой противоопухолевой активностью по отношению к раковым клеткам человека уже в наномолярных концентрациях [2;3]. Диоспонгины А (**5**) и В (**6**) – соединения; полученные из экстракта корневищ растения *Dioscorea spongiosa*; проявляют атниостеопоротический эффект из-за своей способности ингибировать резорбцию костей подавляя высвобождение кальция [4] (схема 1).

Низкое содержание в природных источниках подобных соединений значительно ограничивает изучение их свойств и применение в фармацевтической и лечебной практике; поэтому разработка новых подходов к синтезу природных соединений и их структурных фрагментов является важной и актуальной задачей органической химии.

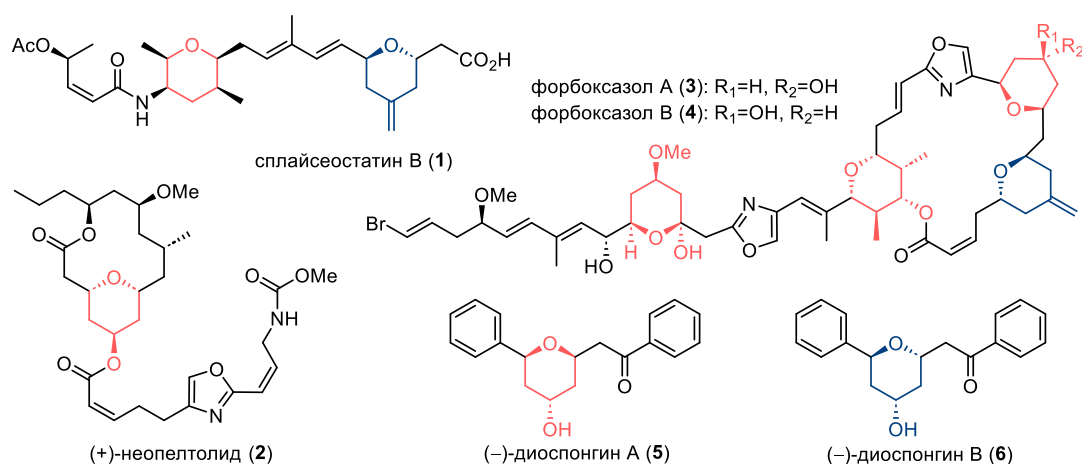


Схема 1

Реакция присоединения легкодоступных аллилметаллических производных **7-9** [5] к различным альдегидам (**10**) обеспечивает возможность эффективного синтеза циклических полуацеталей (**11**); последующее вовлечение которых в реакцию олефинирования в присутствии фосфоната **12** может приводить к образованию $\alpha;\beta$ -ненасыщенных эфиров **13**. При этом, образующиеся эфиры **13** могут вступать в условиях реакции в основно-катализируемую внутримолекулярную реакцию *окса*-Михаэля с получением 2;6-дизамещенных тетрагидропиранов **14** (схема 2). Стоит также отметить, что стереоселективность внутримолекулярной реакции Михаэля определяется строением субстрата и условиями проведения реакции; что делает возможным стереоселективный синтез как 2;6-*цис*- так и 2;6-*транс*-тетрагидропиранов [5].

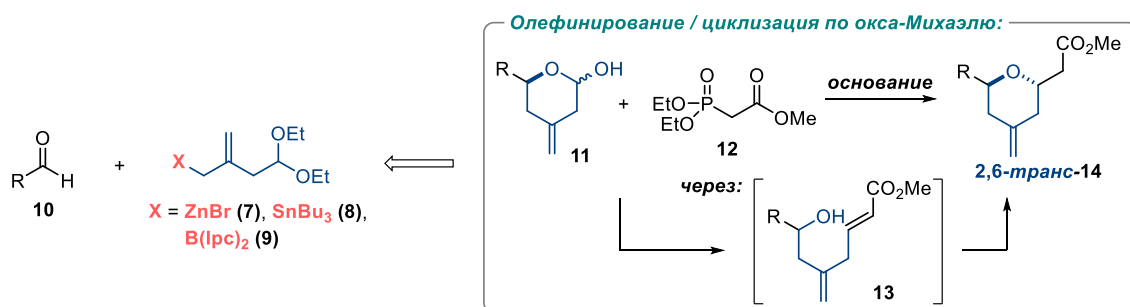


Схема 2

Лактолы **11** были эффективно синтезированы через последовательность реакций аллилирования альдегидов **10**; циклизации получаемых таким образом гомоаллиловых спиртов **15** и последующего гидролиза циклических ацеталей **16** под действием PPTS в среде ацетона и воды. При этом в случае циклического ацетала **16в** реакция происходила с частичным сня-

тием силильной защитной группы. Фенольное производное **11г** было отделено колоночной хроматографией и также использовано на дальнейших этапах исследования (схема 3).

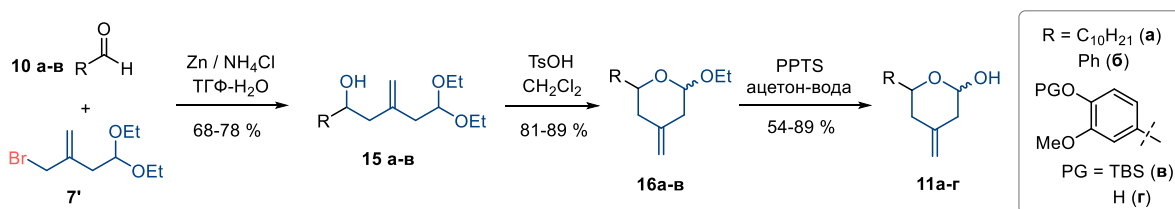


Схема 3

Оптимизация условий получения *транс*-2;6-тетрагидропирана **14a**¹

№	Основание	12 (экв.)	Растворитель	T, °C	14a:17a ²	14; <i>транс:цис</i> ² <i>dr</i>
1	NaHMDS (1;5 экв.)	1;5	ТГФ	-78→20	83:17	85:15
2	NaH (1;5 экв.)	1;5	ТГФ	-78→20	60:40	87:13
3	NaHMDS (2;75 экв.)	3	ТГФ	-78→20	76:24	87:13
4	NaHMDS (2;5 экв.)	3	ТГФ	-78→20	80:20	87:13
5	NaHMDS (2;5 экв.)	3;5	ТГФ	-78→20	80:20	85:15
6	t-BuOK (2;75 экв.)	3	ТГФ	-78→20	70:30	92:8
7	KHMDS (2;75 экв.)	3	ТГФ/толуол	-78→20	47:53	87:13
8	LiHMDS (2;75 экв.)	3	ТГФ	-78→20	80:20	69:31
9	NaHMDS (2;5 экв.)	3	ТГФ	0→20	81:19	86:14
10	NaHMDS (2;5 экв.)	3	толуол	0→20	85:15	93:7
11	NaHMDS (2;5 экв.) ³	3	толуол	0→20	82:18	92:8 (70 %) ⁴

Примечания: 1) реакции проводились на 0;15 ммоль лактола **11a**; в 0.05M растворе в течение 24 ч. 2) определялось из ¹H ЯМР анализа реакционных смесей. 3) реакция проводилась на 0.5 ммоль лактола **11a** в 0.075M растворе. 4) выход продукта после хроматографической очистки.

В качестве модельного соединения для поиска подходящих условий каскадной реакции олефинирования лактолов и последующей циклизации

по окса-Михаэлю был выбран алифатический субстрат **11a** (таблица). Первоначально; реакция не протекала в присутствии оснований умеренной силы (DBU; Cs₂CO₃) в толуоле или ацетонитриле. Использование эквивалентных количеств NaH и NaHMDS (1;5 экв.) в качестве оснований с постепенным отогреванием от –78 °С до 20 °С приводило к образованию целевого тетрагидропирана **14a** (эксперименты 1;2); однако конверсия исходного лактола **11a** была не полной; и в дальнейших экспериментах использовался избыток основания и фосфоната **12**. Так; в присутствии 2;75 экв. NaHMDS и 3 экв. **12** реакция протекала с полной конверсией **11** с образованием **14a** в виде *транс*-изомера (эксперимент 3); что было подтверждено на основании ЯМР экспериментов. Протекание реакции осложнялось процессом изомеризации кратной связи с образованием ненасыщенного эфира **17a**; поэтому была выполнена дальнейшая оптимизация условий с целью стереоселективного получения *транс*-**14a** с образованием минимального количества побочных продуктов.

Использование 2;5 экв. основания позволило уменьшить долю **17a** (эксперимент 4); в то время как увеличение количества фосфоната **12** оказалось неэффективным (эксперимент 5). Замена основания приводила либо к увеличению побочного продукта **17a** (эксперименты 6;7); либо к значительному понижению стереоселективности реакции (эксперимент 8). Повышение температуры реакции в присутствии NaHMDS не приводило к увеличению доли процессов изомеризации и понижению стереоселективности (эксперимент 9). Замена растворителя на толуол позволила получить *транс*-**14a** с высокой стереоселективностью и минимальным количеством побочного продукта (эксперимент 10). Выход продукта реакции после масштабирования составил 70 % (эксперимент 11).

Найденные оптимальные условия получения *транс*-2;6-тетрагидропиранов были далее опробованы на ряде субстратов (схема 4). Реакции проводились на 0.5 ммоль исходных лактолов **11** и позволили стереоселективным образом синтезировать тетрагидропираны; содержащие в своем составе алифатический (**14a**); ароматический (**14б**) фрагменты; а также функционализированные заместители (**14в;г**); с хорошими выходами 62–71 %.

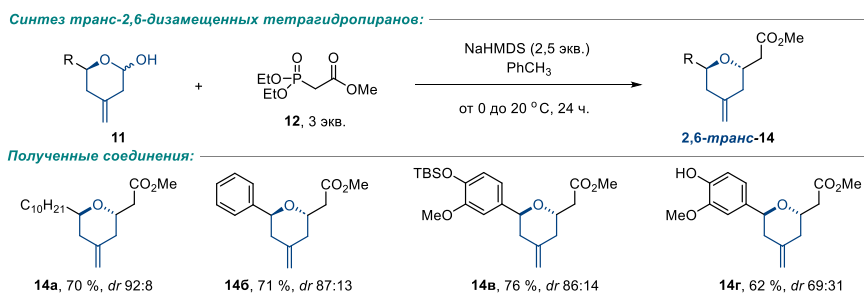


Схема 4

Структура и чистота всех полученных соединений были подтверждены методами ^1H ; ^{13}C ЯМР и ИК спектроскопии; а также ГХ-МС спектрометрии.

Библиографические ссылки

1. Isolation and characterization of spliceostatin B; a new analogue of FR901464; from *Pseudomonas* sp. / Liu; X. [et al.] // J Antibiot 2013. № 2663; P. 555-558.
2. Neopeltolide; a macrolide from a lithistid sponge of the family neopeltidae / Wright A. E. [et al.] // J. Nat. Prod. 2007. Vol. 70; № 3; P. 412–416.
3. Absolute Configuration of Phorboxazoles A and B from the Marine Sponge *Phorbas* sp. 1. Macrolide and Hemiketal Rings / Searle; P. A. [et al.] // J. Am. Chem. Soc. 1996. Vol.118; iss. 39. P. 9422–9423.
4. New diarylheptanoids from the rhizomes of *Dioscorea spongiosa* and their antiosteoporotic activity / Yin J. [et al.] // Planta Med. 2004. Vol. 70; № 1. P. 54–58.
5. Stereodivergent Assembly of 2;6-cis- and -trans-Tetrahydropyrans via Base-Mediated Oxa-Michael Cyclization: The Key Role of the TMEDA Additive / Masiuk U. S. [et al.] // J. Org. Chem. 2023. Vol. 88; № 1. P. 355–370.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований (Беларусь; задания 2.2.01.07 № 20211462 и 2.1.01.02 №20212310).