ISSN 2223–2966

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 4–2 2025 (АПРЕЛЬ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

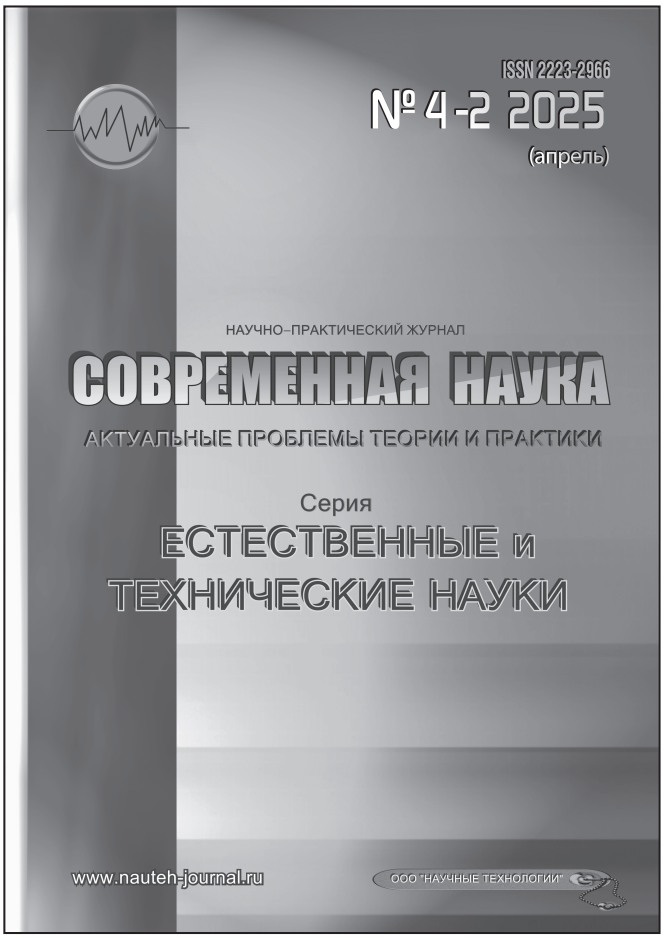
Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016

В течение года можно произвести подписку
на журнал непосредственно в редакции.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.х, 2.3.х, 3.1.х)



В НОМЕРЕ:

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ,
КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Издатель:
Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

Адрес редакции и издателя:
109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10
Тел/факс: 8(495) 142-8681

E-mail: redaktor@nauteh.ru
http: //www.nauteh-journal.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Журнал отпечатан в типографии
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296

Подписано в печать 28.04.2025 г. Формат 84х108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966
9 7 7 2 2 2 3 2 9 6 6 0 7

Редакционный совет

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

Общая биология

Информатика, вычислительная техника и управление

Клиническая медицина

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.01

ВОЗБУДИТЕЛИ МОНОГЕНЕИДОЗОВ CYPRINUS CARPIO БАССЕЙНА РЕКИ КРЫНКА

PATHOGENS OF MONOGENOIDOSIS CYPRINUS CARPIO OF THE KRYNKA RIVER BASIN

N. Alekseeva
P. Dolzhanov
O. Mironenko
E. Perkova

Summary. The results of a study of the parasitofauna of Cyprinus carpio in the Krynka River basin, which indicate a significant prevalence of monogeneidosis, are presented. The object of the study is 26 specimens of carp subjected to a complete parasitological autopsy. The species diversity of parasites was revealed: arthropods (Lernaea cyprinacea, Ergasilus sieboldi) and flatworms (Dactylogyrus extensus, Diplozoon paradoxum, Caryophyllaeus fimbriceps). Dactylogyrus extensus is the dominant species (EI 73.1 %), Diplozoon paradoxum and Ergasilus sieboldi are also significant. The discovered parasites, having adapted to Cyprinus saglio, use different strategies of defeat — from gills to intestines.

Keywords: species identification, dominant parasite species, monogeneia, parasitological analysis.

Алексеева Наталья Викторовна
Кандидат ветеринарных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»
alekseevadonagra@yandex.ru
Должанов Павел Борисович
Кандидат ветеринарных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»
pbdol@mail.ru
Мироненко Оксана Александровна
Кандидат ветеринарных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»
ksumirondok@mail.ru
Перькова Елена Александровна
Кандидат экономических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»
perkoffa@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования паразитофауны Cyprinus carpio бассейна реки Крынка, которые свидетельствуют о значительном распространении моногенеидозов. Объект исследования — 26 экземпляров карпа, подвергнутого полному паразитологическому вскрытию. Выявлено видовое разнообразие паразитов: членистоногие (Lernaea cyprinacea, Ergasilus sieboldi) и плоские черви (Dactylogyrus extensus, Diplozoon paradoxum, Caryophyllaeus fimbriceps). Dactylogyrus extensus является доминирующим видом (ЭИ 73,1 %), значимы также Diplozoon paradoxum и Ergasilus sieboldi. Обнаруженные паразиты, адаптировавшись к Cyprinus carpio, используют разные стратеги поражения — от жабр до кишечника.

Ключевые слова: видовая идентификация, доминирующие виды паразитов, моногенеи, паразитологический анализ.

Для оценки эпизоотического благополучия водного объекта важно установить состав и численность паразитофауны. Среди возбудителей паразитарных заболеваний особое место занимают моногенеи — видоспецифичные эктопаразиты с прямым жизненным циклом, обитающие на коже, жабрах или плавниках рыб. Их влияние на состояние здоровья и продуктивность аквакультуры нельзя недооценивать, особенно в условиях интенсивного рыбоводства. Бассейн реки Крынка, с его разнообразными биотопами и активно развивающимся карповодством, представляет особый интерес как объект для изучения моногенеидозов *Cyprinus carpio*, с целью разработки эффективных методов профилактики и борьбы [1, 3, 4, 6, 8].

Ряд авторов указывает на то, что температура воды играет ключевую роль в развитии, размножении и скорости жизненного цикла моногеней. Кроме того, загрязнение воды органическими веществами и другими поллютантами приводит к снижению иммунитета рыб, замедлению роста и увеличению восприимчивости к заражению. Также влияет на распространенность моногенеидозов высокая плотность посадки рыб, ограниченный водообмен, качество корма и другие факторы, связанные с управлением рыбоводным хозяйством [2, 5, 7].

Данные по определению видового состава возбудителей моногенеидозов в водных объектах Донецкой Народной Республики отсутствуют, а их изучение позволит оценить эпизоотическую ситуацию и разработать стратегию управления паразитарной нагрузкой в аквакультуре карповодческих хозяйств региона.

Цель работы: комплексное изучение паразитофауны *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка с определением доминирующих видов.

Материалы и методы

В рамках научно-исследовательской работы по тематическому плану «Мониторинг качества и безопасности водных биологических ресурсов и среды их обитания внутренних водоемов ДНР» было проведено изучение видового состава фауны паразитов с определением численности доминирующих видов.

Изучение паразитофауны *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка, проводилось посредством анализа статистических данных полученных в результате паразитологического вскрытия.

Материал для исследования отбирали с августа по ноябрь 2024 года в бассейне реки Крынка. Методом полного паразитологического вскрытия изучено 26 экземпляров *Cyprinus carpio* разных возрастных групп.

При проведении паразитологического вскрытия рыб придерживались стандартных методов, описанных в работе И.Е. Быховской-Павловской (1985) [1]. Идентификацию паразитов проводили с использованием «Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР» (1984, 1985, 1987).

При паразитологическом анализе использованы показатели уровня зараженности: экстенсивность инвазии (ЭИ), интенсивность инвазии (ИИ), амплитуда интенсивности (АИ).

Результаты исследования и их обсуждение

Река Крынка является одной из четырех средних рек Донецкой Народной Республики. Ее исток расположен юго-западнее города Енакиево, где сливаются реки Булавинка и Садки. Общая протяженность бассейна составляет 180 км, из них 165 км находится на территории Шахтерского и Амвросиевского районов Республики, а 15 км — Ростовской области. Видовой состав объектов ихтиофауны реки Крынка представлен девятью видами из трех семейств *Cyprinidae, Percidae* и *Astacidae* [8] с превалированием вида *Cyprinus carpio*.

Паразитологическое вскрытие *Cyprinus carpio* проводили в следующей последовательности: биологический анализ, визуальный внешний осмотр, внутреннее вскрытие, фиксация паразитов и идентификация. Особое внимание уделяли исследованию кожи, плавников и жабр на наличие моногеней. С кожи в направлении от головы к хвосту и всей длины плавников и жаберных дуг делали соскобы тупой стороной скальпеля, которые помещали на предметные или компрессорные стекла и просматривали под микроскопами с трехмерным изображением — МБС-2 и двухмерным — Микмед-6.

Паразитофауна *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка в 2024 г представлена членистоногими *(Arthropoda)* класса Веслоногие рачки (*Copepoda)* и Плоскими червями *(Plathelminthes)* классов Моногеней *(Monogenea)* и Цестод *(Cestoda)* — таблица 1.

Таблица 1.

Встречаемость паразитических организмов *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка

Вид паразита	Локализация
Тип: Членистоногие *(Arthropoda)* Класс: Веслоногие рачки *(Copepoda)*	
*Lernaea cyprinacea (*сем. *Lernaeidae,* род *Lernaea)*	жабры
*Ergasilus sieboldi (*сем. *Ergasilidae,* род *Ergasilus)*	жабры
Тип: Плоские черви *(Plathelminthes)* Класс: Моногенея *(Monogenea)*	
*Dactylogyrus extensus (*сем. *Dactylogyridae*, род *Dactylogyrus)*	жабры
*Diplozoon paradoxum (*сем. Mazocraeidae, род *Diplozoon)*	жабры
Класс: Цестода *(Cestoda)*	
*Caryophyllaeus fimbriceps (*сем. *Caryophyllaeidae*, род *Caryophyllaeus)*	кишечник

Для идентификации паразитических организмов использовали морфологические признаки — форма тела, размер, наличие присосок, крючьев и других структур (рис. 1–5).

При проведении видовой идентификации Моногеней *(Monogenea),* плоские черви, которые на переднем конце тела имели две пары пигментированных глаз, глотку, кишечник, копулятивный орган, матку, влагалище, желточник, яичник, семенник, а на заднем конце тела прикрепительный диск (гаптор) вооруженный двумя срединными крючьями «якорями» с соединительными пластинками и четырнадцатью краевыми крючьями (меньшего размера), были отнесены к роду *Dactylogyrus,* а по форме крючьев и копулятивного органа — к виду *Dactylogyrus extensus* (рис. 3, 6-9).

При видовой идентификации плоских червей вида *Diplozoon paradoxum* в первую очередь обращали внимание на двустороннюю симметрию (рис. 4). Были обнаружены как взрослые особи (соединенные попарно), так и молодые «дипорпы». Взрослая особь *Diplozoon paradoxum* — две, сросшиеся между собой дипорпы, причем каждая дипорпа с помощью брюшной присоски захватывает дорсальный сосочек другой и тогда они вместе созрева-

Рис. 1. *Lernaea cyprinacea*

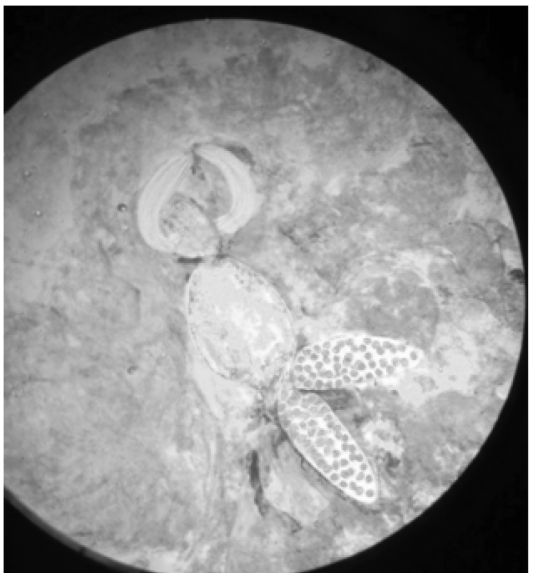


Рис. 2. *Ergasilus sieboldi*

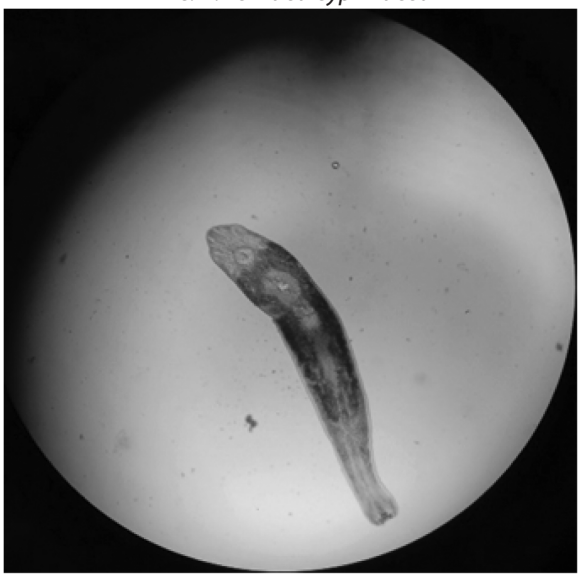


Рис. 3. *Dactylogyrus extensus*

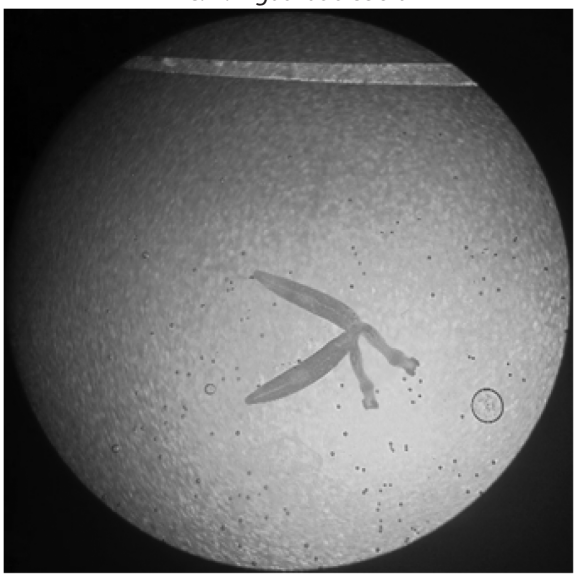


Рис. 4. *Diplozoon paradoxum*

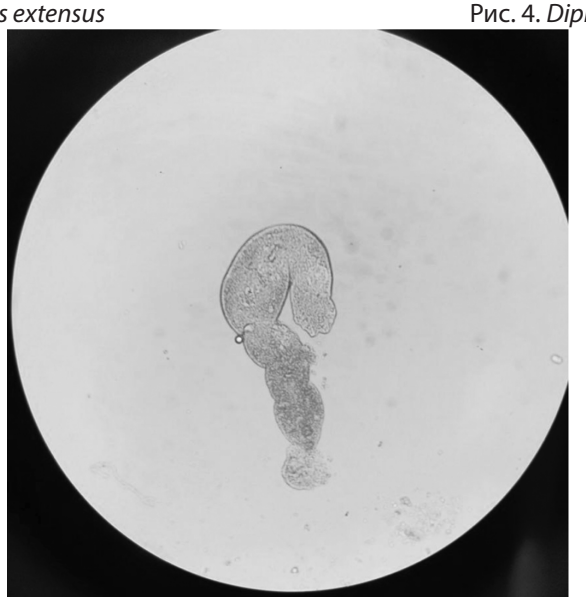


Рис. 5. *Caryophyllaeus fimbriceps*

Рис. 6. Задний конец *Dactylogyrus extensus* вооруженный «якорями» и краевыми крючьями

Рис. 7. Копулятивный орган *Dactylogyrus extensus*

Рис. 8. Гаптор *Dactylogyrus extensus* вооруженный двумя средними крючьями с соединительными пластинками и краевыми крючьями

Рис. 9. Гаптор *Dactylogyrus extensus* вооруженный «якорями» и краевыми крючьями

ют, а если этого не происходит — погибают. Также у этого вида паразита на переднем конце тела находится выраженный рот с присосками, глоткой, кишечником и желточником, а на заднем — половые железы, прикрепительные диски с четырьмя парами клапанов и крючьями.

Разнообразие плоских червей, представленных моногенеями *Dactylogyrus extensus* и *Diplozoon paradoxum*, а также цестодой *Caryophyllaeus fimbriceps*, свидетельствует о сложной паразитарной системе, сложившейся в популяции *Cyprinus carpio*. Моногенеи вызывают раздражение тканей и воспаление жаберного аппарата рыб, а цестоды, обитающие в кишечнике, поглощают питательные вещества *Cyprinus Carpio,* замедляя его рост и развитие.

Присутствие *Lernaea cyprinacea* и *Ergasilus sieboldi*, относящихся к классу веслоногих рачков, подчеркивает уязвимость жаберного аппарата *Cyprinus carpio* к поражению эктопаразитами. Эти виды, прикрепляясь к жабрам, могут вызывать механические повреждения и нарушать газообмен, что потенциально приводит к ослаблению рыбы и повышению восприимчивости к другим заболеваниям.

Определение доминирующих видов паразитов в паразитофауне *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка проводили, используя количественные показатели зараженности по каждому из 26 исследованных экземпляров *Cyprinus carpio* (таблица 2).

Таблица 2.

Зараженность *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка возбудителями паразитарных болезней

Вид паразита	Показатели зараженности		
	ЭИ, %	ИИ, экз/рыб	АИ, экз
Lernaea cyprinacea	11,5	2	1–3
Ergasilus sieboldi	19,2	4	2–6
Dactylogyrus extensus	73,1	7	5–21
Diplozoon paradoxum	15,4	3	2–5
Caryophyllaeus fimbriceps	3,8	2	2

Данные проведенного паразитологического анализа зараженности позволил установить наиболее значимые виды возбудителей паразитарных болезней *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка: *Dactylogyrus extensus, Ergasilus sieboldi* и *Diplozoon paradoxum*. Выявление доминирующих видов паразитов имеет важное значение для разработки эффективных мер по контролю и профилактике паразитарных заболеваний в рыбном хозяйстве и в естественных водоемах.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение жизненных циклов этих паразитов, их влияния на физиологическое состояние рыб и разработку стратегий по снижению уровня зараженности, с целью поддержания здоровья популяции карпа и сохранения биоразнообразия в бассейне реки Крынка.

Выводы

Паразитофауна *Cyprinus carpio* бассейна реки Крынка демонстрирует разнообразие, представленное как членистоногими *(Lernaea cyprinacea, Ergasilus sieboldi)*, так и плоскими червями (*Dactylogyrus extensus, Diplozoon paradoxum, Caryophyllaeus fimbriceps*). Обнаруженные виды паразитов демонстрируют различные стратегии адаптации к хозяину, варьируя от эктопаразитов поражающих жабры, до эндопаразитов обитающих в кишечнике.

Количественные показатели зараженности (экстенсивность, интенсивность и амплитуда инвазии), позволили выявить наиболее распространенные и потенциально опасные для популяции *Cyprinus carpio* виды паразитов. Так, на основании проведенного паразитологического исследования карпа бассейна реки Крынка, можно сделать вывод о значительном уровне распространения моногенеидозов. Результаты паразитологического анализа четко указывают на *Dactylogyrus extensus* как на доминирующий вид в паразитофауне исследованных рыб, что подтверждается высоким показателем экстенсивности инвазии (73,1 %). Также, значительную роль в паразитарной нагрузке *Cyprinus carpio* играют *Diplozoon paradoxum* и *Ergasilus sieboldi*, что делает их эпизоотически значимыми видами для данной экосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быховская-Павловская, И.Е. Паразиты рыб: руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. — Ленинград: Наука, 1985. — 121 с.
2. Динамика зараженности разновозрастных групп карпа моногенетическими сосальщиками в водоемах Нижней Волги / Э.А. Гайфуллина, В.С. Владимиров, Ю.Н. Грозеску, А.А. Бахарева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. — 2014. — № 2. — С. 21–26.
3. Карабекова, Д.У. Итоги и перспективы исследований моногеней (Monogenea) в республиках Средней Азии / Д.У. Карабекова // Исследование живой природы Кыргызстана. — 2017. — № 1. — С. 31–34.
4. Керимова, А.А. Моногенеи — возбудители опасных заболеваний рыб / А.А. Керимова, В.Н. Хорошельцева, И.А. Савчук // Современная наука и молодые учёные: сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 23 июня 2022 года. — Пенза: Наука и Просвещение, 2022. — С. 39–41.
5. Кузнецова, Е.В. Паразитофауна и паразитарные болезни рыб, выращиваемых в садковых хозяйствах европейской части России / Е.В. Кузнецова // Паразитология. — 2017. — Т. 51, № 5. — С. 436–444.
6. Осипова, А.А. Моногеноидозы / А.А. Осипова // Проблемы диагностики болезней рыб: Сборник статей. — Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2023. — С. 142–149.
7. Паразиты карпа (*Cyprinus carpio Linnaeus*) в водохранилищах Ростовской области / М.В. Суханова, В.Н. Хорошельцева, А.А. Керимова, И.А. Савчук // Водные биоресурсы и аквакультура Юга России: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Краснодар, 17 мая 2022 года. — Краснодар: Кубанский государственный университет, 2022. — С. 115–117.
8. Экологическое состояние водных объектов недр местного значения Донецкой Народной Республики / Н.В. Алексеева, П.Б. Должанов, О.А. Мироненко, А.Б. Завелицкий // Промышленность и сельское хозяйство. — 2024. — № 5(70). — С. 62–68.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.23

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА НАСЕЛЕНИЯ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ

ECOLOGICAL CULTURE OF THE POPULATION AS A FACTOR IN REDUCING THE LEVEL OF MORBIDITY

S. Nurmagomedova
R. Daudova
Z. Alieva
Z. Rashkueva

Summary. The article examines the impact of the population's ecological culture on morbidity rates. An analysis of existing studies confirms that increasing ecological literacy contributes to reducing the incidence of diseases caused by adverse environmental factors. Statistical data demonstrate the correlation between air, water, and soil pollution and the rise of respiratory, cardiovascular, and gastrointestinal diseases. Measures to enhance ecological culture through educational programs, government initiatives, and social projects are discussed. The most effective strategies aimed at improving public health through environmental awareness and responsible behavior toward nature are identified.

Keywords: ecological culture, public health, environmental pollution, morbidity, environmental education, sustainable development, eco-awareness, disease prevention, anthropogenic factors, environmental protection.

Нурмагомедова Саният Гаджиевна
Кандидат медицинских наук, доцент,
Дагестанский государственный медицинский университет (Махачкала)
nurma.san@yandex.ru
Даудова Рабият Далгатовна
Кандидат биологических наук, доцент,
Дагестанский государственный педагогический университет им Р. Гамзатова (Махачкала)
daudova1@mail.ru
Алиева Заира Абдурахмановна
Кандидат биологических наук, доцент,
Дагестанский государственный педагогический университет им Р. Гамзатова (Махачкала)
Alza67@mail.ru
Рашкуева Заира Исмаиловна
Кандидат биологических наук, доцент
Дагестанский государственный педагогический университет им Р. Гамзатова (Махачкала)
rashkueva_afg@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние уровня экологической культуры населения на уровень заболеваемости. Проведен анализ существующих исследований, подтверждающих, что повышение экологической грамотности способствует снижению числа заболеваний, вызванных неблагоприятными факторами окружающей среды. Приведены статистические данные, демонстрирующие связь между загрязнением воздуха, воды, почвы и ростом респираторных, сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний. Рассмотрены меры по повышению экологической культуры через образовательные программы, государственные инициативы и социальные проекты. Выявлены наиболее эффективные стратегии, направленные на улучшение состояния здоровья населения за счет экологического просвещения и формирования ответственного отношения к окружающей среде.

Ключевые слова: экологическая культура, здоровье населения, загрязнение окружающей среды, заболеваемость, экологическое образование, устойчивое развитие, экопросвещение, профилактика заболеваний, антропогенные факторы, охрана окружающей среды.

Введение

В современных условиях стремительного развития промышленности, урбанизации и роста антропогенной нагрузки на окружающую среду наблюдается увеличение числа заболеваний, вызванных экологическими факторами. Загрязнение атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвы, а также неблагоприятные климатические изменения оказывают негативное воздействие на здоровье населения, приводя к росту хронических заболеваний, аллергий, онкологических и респираторных патологий.

В этой связи важную роль приобретает формирование экологической культуры населения как ключевого фактора, способствующего снижению уровня заболеваемости. Экологическая культура включает в себя систему знаний, ценностей, норм поведения и практических на-

выков, направленных на сохранение окружающей среды и поддержание здорового образа жизни. Осознание населением взаимосвязи между состоянием экосистем и здоровьем человека способствует принятию экологически ориентированных решений, снижению вредного воздействия антропогенных факторов и формированию ответственного отношения к природным ресурсам [9, с. 188].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска эффективных механизмов повышения экологической осведомленности и вовлечения граждан в природоохранную деятельность. Развитие экологической культуры может стать важным инструментом профилактики заболеваний и повышения качества жизни населения.

Целью данной работы является анализ влияния уровня экологической культуры на показатели заболеваемости, а также выявление возможных стратегий и направлений её повышения для улучшения состояния здоровья общества.

Задачи исследования включают:

- изучение теоретических аспектов экологической культуры и её влияния на здоровье населения;
- анализ современных тенденций в области экологического просвещения;
- выявление взаимосвязи между уровнем экологической культуры и показателями заболеваемости;
- разработка рекомендаций по повышению экологической культуры населения.

Настоящее исследование основано на методах анализа литературы, статистических данных, а также эмпирических исследований, позволяющих определить значимость экологической культуры в снижении уровня заболеваемости.

Обзор литературы

Вопрос формирования экологической культуры населения как фактора снижения заболеваемости исследуется в работах многих отечественных и зарубежных ученых. Экологическая культура рассматривается как совокупность знаний, ценностей и практических навыков, способствующих ответственному отношению к окружающей среде и здоровью человека [2; 3; 5; 8; 10; 15].

Современные исследования подчеркивают, что высокая экологическая осведомленность населения способствует снижению воздействия неблагоприятных экологических факторов на здоровье [6, с. 292]. В работах отечественных авторов отмечается, что загрязнение воздуха и воды приводит к росту респираторных и желудочно-кишечных заболеваний, а экологическое воспитание может существенно снизить эти риски. Кроме того, отдельно стоит отметить работы отечественных ученых, посвященные воздействию экологических условий на антропометрические показатели подростков, что подтверждает необходимость развития экологической культуры среди молодежи для минимизации негативных последствий неблагоприятной экологической обстановки, а также вопросы формирования экологической культуры школьников [5, с. 32; 13, с. 163].

Зарубежные исследования демонстрируют прямую связь между уровнем экологического образования и состоянием общественного здоровья. В странах с высокими стандартами экопросвещения наблюдается более низкий уровень заболеваний, вызванных загрязнением окружающей среды. По данным исследований Европейского агентства по охране окружающей среды (2022), в регионах с активной экологической политикой заболеваемость хроническими болезнями дыхательной системы ниже на 20–30 % по сравнению с районами с высоким уровнем промышленного загрязнения [16].

В научных публикациях также рассматриваются меры по повышению экологической культуры среди населения. Подчеркивается необходимость комплексного подхода, включающего внедрение образовательных программ, информационные кампании, развитие эко-дружелюбной инфраструктуры и законодательные инициативы.

Таким образом, анализ литературы показывает, что экологическая культура играет ключевую роль в снижении негативного воздействия окружающей среды на здоровье населения. Исследования подтверждают, что повышение уровня экологической грамотности способствует профилактике заболеваний и формированию здорового образа жизни. В данной работе будут рассмотрены направления развития экологической культуры для улучшения здоровья общества.

Данные различных организаций мирового уровня показывают, что низкий уровень экологической культуры населения приводит к увеличению числа заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 24 % всех глобальных случаев смерти связаны с воздействием неблагоприятных экологических факторов, таких как загрязнение воздуха, воды и почвы [17].

В России исследования в данной области также подтверждают этот тренд. Согласно данным Роспотребнадзора, в регионах с высоким уровнем загрязнения воздуха частота заболеваний дыхательных путей у детей на 30–40 % выше, чем в более благополучных районах. В то же время в субъектах РФ, где ведется активная эко-

логическая политика и просветительская работа, наблюдается снижение заболеваемости, связанной с экологическими факторами [14].

Материалы и методы

Экологическая культура влияет на здоровье населения через несколько ключевых механизмов:

- Формирование здорового образа жизни — осознание экологических рисков мотивирует людей к использованию чистых продуктов питания, фильтрации воды, отказу от вредных привычек и активному отдыху на природе [7, с. 60].
- Экологически ответственное поведение — население с высоким уровнем экологической культуры выбирает более безопасные способы утилизации отходов, снижает использование пластиковых изделий и поддерживает программы по сохранению окружающей среды [8, с. 104].
- Активное участие в экологических инициативах — повышение осведомленности населения приводит к вовлечению в экологические акции, общественный контроль за состоянием окружающей среды и взаимодействие с органами власти [2, с. 380].

Статистические данные подтверждают эту взаимосвязь. Например, в странах с высокими стандартами экологического просвещения (Германия, Швеция, Финляндия) средняя продолжительность жизни на 5–7 лет выше, чем в странах с низким уровнем экологической культуры. В этих странах также фиксируется на 25–30 % меньше случаев заболеваний, вызванных загрязнением окружающей среды [4, с. 46].

Для эффективного снижения уровня заболеваемости через развитие экологической культуры необходимо применять комплексные меры, включающие:

- *Развитие экологического образования на разных уровнях*. Внедрение образовательных программ в школах и вузах, направленных на формирование экологического сознания у молодежи. Организация экскурсий и практических занятий по изучению экологии, как предложено в рассмотренных выше исследованиях [13, с. 165].
- *Государственная поддержка и регулирование*. Разработка и реализация программ по снижению загрязнения окружающей среды. Введение законодательных инициатив, стимулирующих предприятия к использованию экологически безопасных технологий [10, с. 24].
- *Информационные кампании и социальные инициативы*. Проведение акций по сбору и переработке отходов. Развитие социальных проектов, популяризирующих экологическое поведение среди населения [3, с. 83].

В мировой практике существует множество примеров успешного влияния экологического образования на состояние здоровья населения. Например, в Швеции, благодаря государственным программам по экологическому образованию, уровень заболеваемости респираторными болезнями снизился на 15 % за последние 10 лет. В Германии введение строгих экологических стандартов для промышленных предприятий позволило снизить уровень загрязнения воздуха на 40 % за последние два десятилетия, что привело к сокращению числа заболеваний сердечно-сосудистой системы [4, с. 50].

В России регионы, активно внедряющие экологическое просвещение (например, Москва, Санкт-Петербург, Казань), показывают более низкие показатели заболеваемости, связанной с загрязнением окружающей среды, по сравнению с индустриально развитыми регионами с низким уровнем экологической грамотности [1; 11; 12].

Таким образом, развитие экологической культуры населения является важным фактором снижения уровня заболеваемости и повышения качества жизни. Повышение уровня экологического образования, внедрение эффективных программ просвещения и поддержка экологически безопасных инициатив могут значительно сократить негативное влияние окружающей среды на здоровье людей.

Результаты

Анализ статистических данных показал, что регионы с более высоким уровнем экологического просвещения демонстрируют снижение заболеваемости на 15–30 % по сравнению с регионами с низким уровнем экологической культуры. Например, в городах с активными экологическими программами (Москва, Санкт-Петербург, Казань) показатели заболеваемости, вызванные загрязнением окружающей среды, на 20 % ниже, чем в индустриально развитых районах без подобных инициатив [1; 11; 12].

Исследование подтвердило, что основными факторами, негативно влияющими на здоровье населения, являются:

- Загрязнение атмосферного воздуха — в регионах с высоким уровнем загрязнения дыхательные заболевания встречаются на 35–40 % чаще, чем в экологически благополучных районах.
- Качество питьевой воды — регионы с неудовлетворительным качеством воды показывают повышенный уровень заболеваний желудочно-кишечного тракта (на 25–30 % выше средних значений).
- Утилизация отходов — отсутствие культуры раздельного сбора мусора и переработки отходов приводит к загрязнению почвы и воды, что увеличивает риск инфекционных заболеваний.

Данные опросов и исследований показали, что внедрение экологических образовательных программ способствует:

- Повышению уровня экологической грамотности среди молодежи на 40–50 % после участия в образовательных проектах.
- Росту числа людей, осознанно выбирающих экологически чистые продукты и безопасные бытовые привычки, таких как сортировка мусора, отказ от пластика и использование общественного транспорта.
- Снижению числа заболеваний, связанных с экологическими факторами, среди студентов, участвующих в экологических проектах — на 15–20 % по сравнению с их сверстниками, не вовлеченными в подобные инициативы.

Анализ существующих практик показал, что регионы, активно внедряющие экологические программы и государственные инициативы (такие как программы по улучшению качества воздуха и воды, внедрение экопросвещения в школы), демонстрируют устойчивое снижение заболеваемости на 10–25 %.

Особенно эффективными оказались:

- Государственные инициативы по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, приводящие к сокращению респираторных заболеваний.
- Программы по улучшению качества питьевой воды, позволившие снизить число заболеваний ЖКТ на 15 %.
- Популяризация раздельного сбора отходов и экологически ответственного поведения среди населения, способствующая снижению уровня загрязнения почвы и воды.

Выводы

Высокий уровень экологической культуры способствует снижению заболеваемости, особенно в отношении болезней дыхательной системы, сердечно-сосудистых заболеваний и заболеваний желудочно-кишечного тракта. В то же время развитие экологического образования и просветительских инициатив позволяет значительно повысить осведомленность населения о влиянии окружающей среды на здоровье и изменить поведенческие привычки.

Государственные программы и законодательное регулирование играют решающую роль в снижении негативного влияния экологических факторов на здоровье населения.

Комплексный подход, включающий экологическое воспитание, улучшение экологической ситуации и поддержку устойчивого развития, является наиболее эффективной стратегией по снижению уровня заболеваемости.

Эти результаты подчеркивают необходимость развития экологической культуры как одного из ключевых направлений профилактики заболеваний и улучшения здоровья населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.В. К вопросу об оценке уровня экологической культуры населения Санкт-Петербурга / С.В. Алексеев, Р.С. Оганов, Е.В. Тутынина // Экопоэзис: экогуманитарные теория и практика. — 2022. — Т. 3, № 1. — С. 30–42. — DOI 10.24412/2713-1831-2022-1-30-42. — EDN VHACRM.
2. Баклакова, В.В. Разработка методологии определения уровня экологической культуры населения / В.В. Баклакова, Ю.Д. Качан // Modern Science. — 2020. — № 11-1. — С. 380–385. — EDN VJBJQG.
3. Волкова, А.В. Особенности социальной экологической рекламы как механизма формирования экологической культуры населения / А.В. Волкова, А.Д. Милованова, Е.Н. Петрова // Успехи современного естествознания. — 2020. — № 7. — С. 83–88. — DOI 10.17513/use.37436. — EDN NJAIJH.
4. Гиряева В.Н. Экология, экологическое сознание и качество жизни в Германии в цифрах (Обзор) // Охрана окружающей среды и качество жизни: правовые аспекты. — 2011. — №2011. — С. 46–66.
5. Даудова, Р.Д. Влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на антропометрические показатели подростков / Р.Д. Даудова, З.И. Рашкуева, У.А. Гаджиева // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Психолого-педагогические науки. — 2021. — Т. 15, № 2. — С. 32–38. — DOI 10.31161/1995-0675-2021-15-2-32-38. — EDN UOKOLA.
6. Даудова, Р.Д. Нарушение экологии и здоровье современного ребенка / Р.Д. Даудова, К.М. Магдиева // Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов: материалы докладов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Махачкала, 27–28 апреля 2023 года. — Махачкала: Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, 2023. — С. 292–296. — EDN ZOQZBY.
7. Даудова, Р.Д. Экология питания современных студентов / Р.Д. Даудова // Современные проблемы формирования экологической культуры, здорового образа жизни младших школьников: сборник Международной научно-практической конференции, Махачкала, 01 октября 2023 года. — Махачкала: Алеф, 2023. — С. 60–64. — EDN HMTFJA.
8. Дружакина, О.П. Формирование экологической культуры населения и подготовка лидеров экопросвещения / О.П. Дружакина // Образование и проблемы развития общества. — 2020. — № 4(13). — С. 104–109. — EDN KASBYW.
9. Замалиева, А.М. Разработка программного обеспечения для формирования экологической культуры населения / А.М. Замалиева, Р.С. Зарипова // Научно-технический вестник Поволжья. — 2023. — № 4. — С. 188–191. — EDN QTGJDI.

10. Коданева, С.И. Роль экологического правосознания в формировании экологической культуры населения России / С.И. Коданева // Московский юридический журнал. — 2023. — № 3. — С. 24–32. — DOI 10.18384/2949-513X-2023-3-24-32. — EDN RRDSHE.
11. Корунова, В.О. Экологическая культура в Республике татарстан: оценка экологической обеспокоенности населения / В.О. Корунова // Электронный экономический вестник Татарстана. — 2022. — № 4. — С. 76–80. — EDN PCEVMT.
12. Нарваткина, В.А. Использование ресурсов национального парка «Лосиный остров» Г. Москвы для повышения экологической грамотности и культуры населения / В.А. Нарваткина // Актуальные исследования. — 2023. — № 49-1(179). — С. 85–87. — EDN WRKGEI.
13. Рашкуева, З.И. Экскурсия как средство экологического воспитания школьников / З.И. Рашкуева, Р.Д. Даудова // Наука и образование состояние, проблемы, перспективы развития: Материалы научной сессии профессорско-преподавательского состава, Махачкала, 25–26 мая 2023 года. — Махачкала: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова», 2023. — С. 163–165. — EDN HXKPOO.
14. Роспотребнадзор. [Электронный источник]. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru (дата обращения: 18.02.2025).
15. Чалова, О.А. Экологическая реклама как средство воспитания экологической культуры населения / О.А. Чалова, В.А. Булычева // Наука и бизнес: пути развития. — 2023. — № 7(145). — С. 135–138. — EDN WHYNHD.
16. European Environment Agency. 2024. [Электронный источник]. URL: https://www.eea.europa.eu/en (дата обращения: 20.02.2025).
17. World Health Organisation. Zoonotic diseases: global situation and recommendations. 2024. [Электронный источник]. URL: https://www.who.int/ru (дата обращения: 20.02.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.24

АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ НА АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ (СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗА, КАТАЛАЗА, ПЕРОКСИДАЗА) ПОДСОЛНЕЧНИКА ОДНОЛЕТНЕГО (HELIANTHUS ANNUUS) В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS ON THE ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES (SUPEROXIDE DISMUTASE, CATALASE, PEROXIDASE) OF ANNUAL SUNFLOWER (HELIÁNTHUS ÁNNUUS) IN A MODEL EXPERIMENT

T. Osinkina
G. Solovykh
G. Kolchugina
E. Kanunikova
G. Tikhomirova

Summary. The article presents the results of an experimental study of the effect of PCBs on the biochemical parameters of antioxidant protection of annual sunflower (*Heliánthus ánnuus*) in a model experiment. For the level of SOD and catalase, a sharp increase in activity was recorded at all stages of development under the influence of the minimum concentration of PCBs (0.0005 mg / l), for SOD by 2.7 times (seedlings), during the flowering period by 3 times. In the case of catalase, the activity at a PCB concentration of 0.0005 mg/l during the flowering period exceeded the control value by 14 times and by 3.95 times at a PCB concentration of 0.0012 mg/g. The activity of peroxidase in response to the primary impact of PCBs changed insignificantly. Thus, for the enzymes superoxide dismutase and catalase of annual sunflower (*Heliánthus ánnuus*), the phenomenon of a «paradoxical dose-effect relationship» was established when exposed to PCBs at a minimum concentration (0.0005 mg/l) at the MAC level.

Keywords: biochemical parameters, model experiment, polychlorinated biphenyls, annual sunflower, superoxide dismutase, catalase, peroxidase, enzyme isoforms.

Осинкина Татьяна Владимировна
кандидат биологических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
osinkina12@mail.ru
Соловых Галина Николаевна
доктор биологических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
k_biology@orgma.ru
Кольчугина Гюзель Фарыховна
кандидат биологических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
k_biology@orgma.ru
Кануникова Елена Александровна
кандидат медицинских наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
k_biology@orgma.ru
Тихомирова Галина Михайловна
кандидат биологических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
k_biology@orgma.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования влияния ПХБ на биохимические показатели антиоксидантной защиты подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*) в модельном эксперименте. Для уровня СОД и каталазы фиксировался резкий рост активности на всех стадиях развития при действии минимальной концентрации ПХБ (0,0005 мг/л), для СОД в 2,7 раза (проростки), в период цветения в 3 раза. В случае каталазы активность при концентрации ПХБ (0,0005 мг/л) в период цветения превысила значение контроля в 14 раз и в 3,95 раз при концентрации ПХБ 0,0012 мг/г. Активность пероксидазы в ответ на первичное

воздействие ПХБ менялась незначительно. Таким образом, для ферментов супероксиддисмутазы и каталазы подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*) установлено явление «парадоксальной зависимости «доза–эффект»» при воздействии ПХБ в минимальной концентрации (0,0005 мг/л) на уровне ПДК.

Ключевые слова: биохимические показатели, модельный эксперимент, полихлорированные бифенилы, подсолнечник однолетний, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, изоформы ферментов.

Введение

В настоящее время, учитывая высокий уровень развития технологических процессов, в том числе особо в сфере химической промышленности, а также областей, сопряженных с возможными залповыми выбросами фракций потенциальных загрязнителей природных биотопов, следует заострять внимание на наиболее динамичных компонентах природной среды. При проведении исследований, касаемых влияния токсикантов, одним из основных объектов анализа выступает почва. В этом слое реализуется накопление поллютантов и выстраивается путь их передачи по трофической цепи с вовлечением растений, приводящий прямо или опосредованно (через животных) в организм человека [1, С. 44–45].

В доступной литературе есть описание вероятного механизма губительного воздействия полихлорированных бифенилов (ПХБ). Он основан на выраженной индукции монооксигеназной системы, содержащей цитохром Р450. Данная система отвечает за окислительную деструкцию ксенобиотиков, имеющих гидрофобную природу [2, С. 69]. Известно, что под действием ПХБ в организме начинаются реакции свободнорадикального окисления. С течением времени наблюдается снижение общей антиоксидантной защиты по причине выраженного угнетения уровня активности супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы, глутатионтрансферазы, γ-глутамилтрансферазы и заметного падения потенциала неферментативного звена антиоксидантных компонентов в виде уменьшения тканевого содержания восстановленного глутатиона, аскорбата, α-токоферола и свободных сульфгидрильных групп [3, С. 435].

Достаточно высокое содержание полихлорированных бифенилов в почвенном слое продолжительное время (период полураспада составляет около 5–8 лет) зачастую определяет повышенное содержание данных соединений в грунтовых водах, воздухе атмосферном и, часто, жилых помещениях [4, С. 70]. В связи с выше сказанным, анализ влияния ПХБ в модельном эксперименте на биохимические показатели растений разных возрастов представляется актуальным. В свете специфического метаболизма растений, характеризующимся достаточно быстрой ответной реакцией на ксенобиотики, прикрепленного образа жизни и роли в биоценозах.

Материалы и методы

Материалом исследования выступили 2–5-ти дневные проростки подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*), неповрежденные механически листовые пластинки во время вегетации, цветки и молодые семена растения. Выращивались в контейнерах с почвой, предназначенной для цветочных культур и рассады в течение 1,5 месяцев. В течение этого времени с периодичностью (проростки, вегетация и цветение) растения подвергались воздействию раствора «Совтол» (смесь полихлорированных бифенилов: три-, тетра-, пентахлоридов) в концентрациях 0,0005 мг/л, 0,001 мг/л, 0,0012 мг/л — полив производили однократно — от излишков раствора поддон растений освобождался сразу после полива. Контрольные образцы растений поливали отстоянной водопроводной водой без добавления удобрений и стимуляторов роста [5, С. 159].

Активность супероксиддисмутазы определяли методом, основанном на способности СОД ингибировать аутоокисление адреналина в адренохром в щелочной среде (карбонатный буферный раствор pH=10,2). Процент ингибирования вычисляли по формуле:

$$A(\%) = \frac{(\text{Ек} - \text{Ео}) \times 100}{\text{Ек}} \quad (1)$$

Где А — активность фермента, %;
Ек — экстинкция контроля;
Ео — экстинкция опыта [6, С. 5].

Активность каталазы определяли стандартным методом перманганатометрии. Активность фермента рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(K - O) \times 0{,}85 \times E}{T} \quad (2)$$

К — количество $KMnO_4$, пошедшего на титрование в контроле, мл;
О — количество $KMnO_4$, пошедшего на титрование в опыте, мл;

0,85 — количество мл H_2O_2, соответствующее 1 мл 0,05н $KMnO_4$;

Т — время инкубации (10 мин);

Е — разведение [7, С. 72].

Фотоэлектроколориметрический метод определения активности фермента пероксидазы основан на изменении времени, за которое опытный раствор достигнет определенной оптической плотности. В качестве субстрата использовался бензидин, в результате окисления которого образовывались продукты реакции синего цвета.

Навеску растительного материала (70–150 мг) растирали в ступке с водой, переносили в мерную колбу на 50 мл и доводили дистиллированной водой до метки. Растительную вытяжку настаивали в течение 5–15 мин, затем центрифугировали в течение 10–15 мин при 3000 об./мин. Надосадочную жидкость использовали для определения активности пероксидазы. Для определения активности фермента брали две кюветы толщиной 1 см. По контрольной кювете устанавливали ноль прибора, предварительно заполнив ее 1,5 мл бензидина (1-% раствор), 1,5 мл фильтрата и 1,5 мл воды. Во вторую опытную кювету вливали 1,5 мл бензидина, 1,5 мл фильтрата и 1,5 мл 0,3 %-ного раствора пероксида водорода, при этом сильная струя пероксида перемешивала содержимое кюветы. Добавление пероксида служило началом реакции. Одновременно с вливанием пероксида водорода включали секундомер. В опытной кювете раствор синел, стрелка прибора передвигалась справа налево. Отмечали время, за которое стрелка достигнет 0,2 делений прибора (единицы оптической плотности). Активность пероксидазы рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{Д \times E}{t \times d} \quad (3)$$

Д — оптическая плотность (0,1–0,2);

Е — разведение (пересчет на 1 г сырой массы);

t — время, с;

d — толщина слоя жидкости, толщина кюветы (1 см) [8, С. 69].

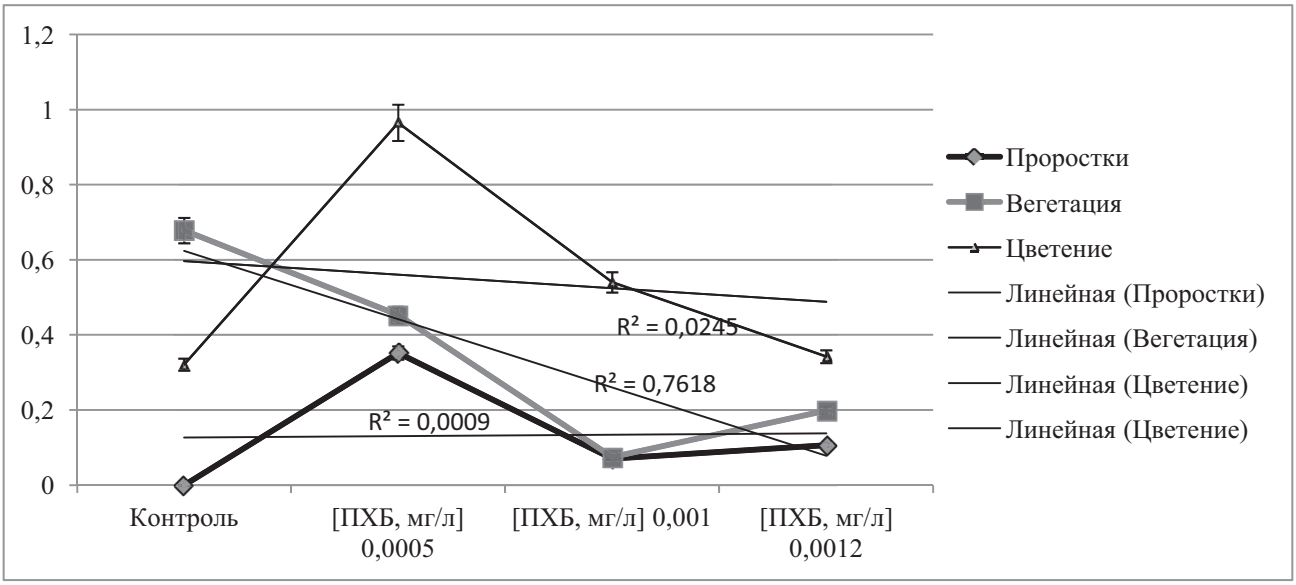
Определение активности ферментов производились в трех повторностях на каждом этапе анализа — стадии «проростков», «вегетации», «цветения».

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили с использованием пакета MS Excel 2010 «Анализ данных» (Microsoft, USA).

Основные результаты

В ходе модельного эксперимента показано, что в периоде активного вегетативного роста подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*) начиная от стадии проростков до стадии вегетации — фиксировался рост активности супероксиддисмутазы (СОД) (см. рисунок 1). В среднем в 2,7 раза, при первичном воздействии даже минимальных концентраций полихлорированных бифенилов (ПХБ) со значением 0,0005 мг/л.

В период цветения при данной концентрации ПХБ активность СОД увеличилась в 3 раза в сравнении с контролем. Максимальная концентрация воздействия ПХБ (0,0012 мг/л) приводила к падению активности СОД в фазе цветения в 1,58 раза. Супероксиддисмутаза — металлсодержащий фермент в активном центре которого находится медь (Cu^{2+}). В связи с тем, что ПХБ чаще всего представляют собой смесь веществ (реактив «Совтол»)



Источник: составлено автором на основании [результаты эксперимента https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YqPGTbW3kDR_Rnbh0xSgA06ngQupugXv/edit?usp=drive_link&ouid=112134356927575780838&rtpof=true&sd=true]

Рис. 1. Активность супероксиддисмутазы (ед. А, %) подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*)

состоящих из соединенных между собой нескольких, обычно 2–3 бензольных колец, каждое из которых содержит по 4–5 хлорид-ионов, логично предположить факт соединения свободных валентностей меди в активном центре СОД с хлорид-анионами [9, С. 68]. С уменьшением возможности утилизации супероксидного анион-радикала, уровень которого возрастает в растении именно при подготовке его к цветению и в ходе цветения, в связи с блокировкой активного центра фермента ПХБ — в некоторой степени снижается его активность. При этом на стадиях проростков и вегетации значительных изменений показателя при действии данной концентрации ПХБ не происходило.

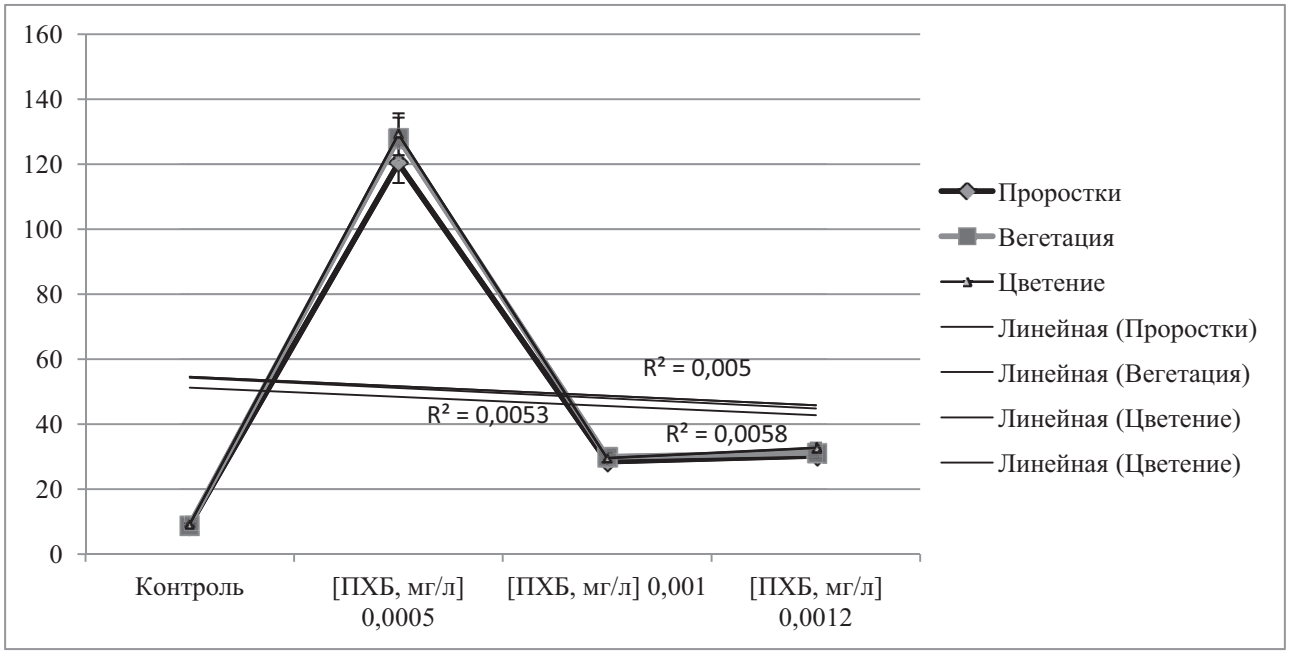
Анализ линий тренда для «проростков», «вегетации» и «цветения» показал, что на стадии «проростки» линия тренда для активности СОД не является надежным критерием оценки изменения показателя и характеризуется незначительной динамикой снижения активности фермента: величина достоверности аппроксимации сильно отлична от 1 (0,0009), поскольку в целом значения лежат в пределах 0,07–0,352 %. Для стадии вегетации линия тренда является надежной, так как величина её достоверности аппроксимации лежит близко к 1 (0,7618) в этом случае значения показателя СОД имеют тенденцию к росту. Рост активности СОД в периоде цветения подтверждается и характером линии тренда, что согласуется с общей тенденцией роста, поскольку хотя график имеет наклон, свидетельствующий о снижении средних значений показателя в данном случае это не является достоверным, так как величина аппроксимации значительно меньше 1 (0,0245).

Активность каталазы также возрастала от стадии проростков и в период цветения превысила фазу прорастающих семян в 1,2 раза (см. рисунок 2).

Следует отметить, что при воздействии концентрации ПХБ (0,0005 мг/л) в период цветения показатель превысил значение контроля в 14 раз и в 3,95 раза возросла активность каталазы при воздействии концентрации ПХБ (0,0012 мг/л). Согласно рисунку 2 динамика активности каталазы имела сходный характер изменения во все три периода определения — «проростки», «вегетация», «цветение» об этом свидетельствуют и линии тренда, имеющие тенденцию снижения активности фермента.

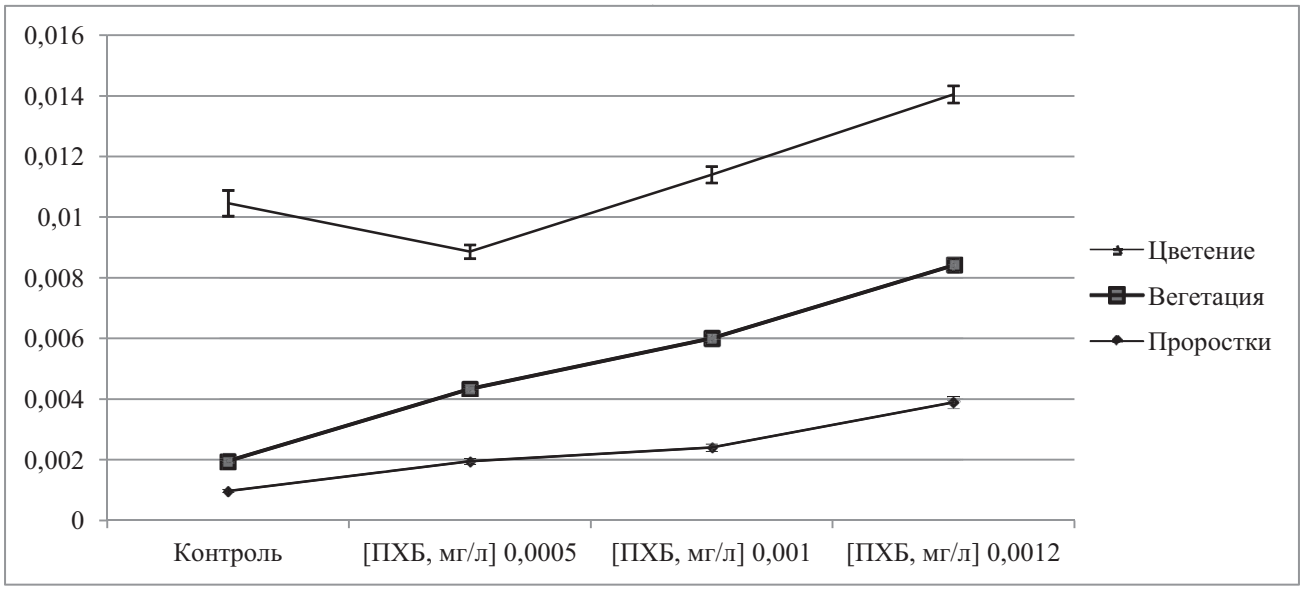
В случае каталазы, как и при рассмотрении СОД, отмечена сходная ответная реакция растительных ферментов на воздействие ПХБ: при первичном попадании токсикантов в клетки растений в модельной системе — активность СОД и каталазы резко возрастала, а затем снижалась при росте концентрации ПХБ в связи с воздействием поллютантов на активные центры металлсодержащих ферментов. В случае каталазы нарушению подвергается и апофермент — поскольку при действии ПХБ возможно разрушение целостной структуры фермента, распадающегося на неактивные субъединицы. Глобулы фермента, находясь в неассоциированном состоянии, при росте их количества в среде сами дополнительно снижают активность неизмененной каталазы.

Резкое возрастание показателя при условии первичного попадания концентрации ксенобиотика нехарактерного для данного организма является проявлени-



Источник: составлено автором на основании [результаты эксперимента https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YqPGTbW3kDR_Rnbh0xSgA06ngQupugXv/edit?usp=drive_link&ouid=112134356927575780838&rtpof=true&sd=true]

Рис. 2. Активность каталазы (мл O_2 / г×мин) подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*)



Источник: составлено автором на основании [результаты эксперимента https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YqPGTbW3kDR_Rnbh0xSgA06ngQupugXv/edit?usp=drive_link&ouid=112134356927575780838&rtpof=true&sd=true]

Рис. 3. Активность пероксидазы (ΔD_{670}/г×с) подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*)

ем «парадоксальной зависимости «доза-эффект»» [10, С. 73], явление которое в целом иллюстрирует характер реакции «протеста» организма в ответ на токсикант при первой встречи защитных механизмов (в данном случае антиоксидантных ферментов) с ним.

В отличие от реакций СОД и каталазы на первичное воздействие ПХБ активность пероксидазы при данных концентрациях не возрастала (см. рисунок 3), а достигала максимума только при наибольшей концентрации ПХБ (0,0012 мг/л) на стадии вегетации в 4,56 раза.

При цветении активность фермента снизилась в 1,5 раза, что может свидетельствовать о присутствии в подсолнечнике однолетнем одной из изоформ пероксидазы [11, С. 37], [12, С. 125], [13, С. 189] активность которой возрастает именно в период цветения и является наиболее эффективной для утилизации пероксида водорода и перекисных продуктов, концентрация которых закономерно возрастает в период цветения на фоне усиления скорости обменных процессов, направленных на синтез фитогормонов и сигнальных молекул, стимулирующих развитие генеративных тканей растений. Однако подобная форма пероксидазы, по-видимому, более чувствительна к действию повышенного содержания токсикантов экзогенной природы, в частности ПХБ, чем и объясняется некоторое снижение её активности.

Таким образом, оценивание воздействия полихлорированных бифенилов на развитие подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*) в модельном эксперименте, позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1) Зафиксирована неодинаковая реакция антиоксидантных ферментов — супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*) на минимальные концентрации полихлорированных бифенилов на уровне ПДК для вод водно-питьевого и культурно-бытового водопользования;
2) Для ферментов супероксиддисмутазы и каталазы подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*) установлено явление «парадоксальной зависимости «доза-эффект»» при воздействии ПХБ в минимальной концентрации (0,0005 мг/л) на уровне ПДК;
3) Характер изменения активности пероксидазы при минимальном (стимулирующем) и максимальном (ингибирующем) воздействии ПХБ в короткий период времени, позволил предположить вероятное существование у подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*) изоформы пероксидазы, устойчивой к действию токсикантов органической природы;
4) Результаты, полученные при анализе воздействия ПХБ на активность основных антиоксидантных ферментов в модельном эксперименте могут быть использованы для диагностики повреждающего влияния полихлорированных бифенилов на антиоксидантный аппарат растений в природных экосистемах в сходных условиях произрастания и стадиях развития, а также степени вовлечения почвенного покрова в циркуляцию органических поллютантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белинская Е.А. Влияние стойких органических загрязнителей и бенз(а)пирена на прорастание семян ячменя обыкновенного (Hordéum vulgáre, L) / Е.А. Белинская, С.Е. Мазина, Е.К. Пичугина, Г.В. Зыкова // Токсикологический вестник. — 2020. — № 4(163). — С. 44–48.
2. Баева И.Ю. Оценка токсичности почв полихлорированными бифенилами для высших растений / И.Ю. Баева, Н.А. Черных // Вестник РУДН серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». — 2015. — №4. — С. 100–105.
3. Sridevi N. Oxidative stress modulates membrane bound ATPases in brain regions of PCB (Aroclor 1254) exposed rats: protective role of alpha-tocopherol / N. Sridevi, P. Venkataraman, K. Senthilku mar et al. // Biomed. Pharmacother. — 2007. — Vol. 61. — N7. — P. 435–4 0.
4. Баева И.Ю. Оценка токсичности почв полихлорированными бифенилами для высших растений / И.Ю. Баева, Н.А. Черных // Вестник РУДН серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». — 2015. — №4. — С. 100–105.
5. Винокурова Н.В. Влияние полихлорированных бифенилов на фотосинтезирующий аппарат макрофитов на примере роголистника (CERATOPHYLLUM DEMERSUM L.) / Н.В. Винокурова, Г.Н. Соловых // ИНТЕЛЛЕКТ. ИННОВАЦИИ. ИНВЕСТИЦИИ. — 2013. — № 1. — С. 158–161.
6. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений Текст: пат. 2144674 C1 Рос. Федерация: МПК7 G01 N 33|52, 33|68
7. Воскресенская О.Л. Большой практикум по биоэкологии: уч. пособ. / ГОУ ВПО Марийский государственный университет / Воскресенская О.Л., Алябишева Е.А., Половникова М.Г. — Йошкар-Ола, 2006. — 107 с.
8. Воскресенская О.Л. Большой практикум по биоэкологии: уч. пособ. / ГОУ ВПО Марийский государственный университет / Воскресенская О.Л., Алябишева Е.А., Половникова М.Г. — Йошкар-Ола, 2006. — 107 с.
9. Аладин Д.Ю. Влияние микрорельефа на распределение полихлорбифенилов в почвах / Д.Ю. Аладин // Теоретическая и прикладная экология. — 2017. — №2. — С. 64–70.
10. Шитиков В.К. Модели «доза — эффект» для оценки экологического риска при техногенном загрязнении почвы / В.К. Шитиков, В.А. Терехова, Б.А. Узбеков, К.А. Кыдралиева, Б.М. Худайбергенова // Принципы экологии. — 2015. — № 3. — С. 73–88.
11. Мишко А.Е. Динамика активности пероксидазы и ее изоформ в листьях разных сортов яблони / А.Е. Мишко, Е.О. Луцкий // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. — 2021. — 182(3). — С. 37–43.
12. Рач А. Селективная реакция изоформ растительной пероксидазы класса на экологически значимые дозы УФ-В / А. Рач // Физиология растений — 2018 (февраль). — С. 125–131.
13. Стаценко А.П. Растительные пероксидазы — маркеры химического загрязнения природных сред / А.П. Стаценко, Л.И. Тужилова, А.А. Вьюговский // Вестник ОГУ. — № 10(92). — 2008. — С. 188–191.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.28

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПО РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) ЗА 2000–2023 ГГ.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF LONG-TERM ATMOSPHERIC EMISSIONS IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) FOR 2000–2023

N. Semenova

Summary. This paper presents the long-term dynamics of changes in emissions of pollutants from stationary sources in the Republic of Sakha (Yakutia) for the period from 2000 to 2023. The evaluation of the analyzed data was carried out using generally accepted parametric and nonparametric criteria of mathematical statistics with a preliminary test of the obtained data for the normality of the distribution. The quantitative indicators of the study formed the basis for the construction of diagrams and tables. The analysis showed that the priority pollutants of atmospheric air throughout the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) are: suspended solids (total dust), carbon monoxide, nitrogen dioxide, benz(a)pyrene, sulfur dioxide, hydrogen sulfide, average annual concentrations, which in many cities of the republic exceed the maximum permissible concentration several times. The main stationary sources of atmospheric air pollution in the republic are enterprises of housing and communal services, coal mining and diamond mining, as well as oil and gas production.

Keywords: ecology, atmospheric air, atmospheric pollution, emissions.

Семенова Наталья Павловна
Кандидат биологических наук,
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России)» (г. Москва)
ns38@bk.ru

Аннотация. В данной работе представлена многолетняя динамика изменения выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников на территории Республика Саха (Якутия) за период с 2000 года по 2023 год. Оценка анализируемых данных проводилась с использованием общепринятых параметрических и непараметрических критериев математической статистики с предварительным испытанием полученных данных на нормальность распределения. Количественные показатели исследования легли в основу построения диаграмм и таблиц. Проведенный анализ показал, что приоритетными загрязняющими веществами атмосферного воздуха на всей территории Республики Саха (Якутия) являются: взвешенные вещества (общая пыль), оксид углерода, азота диоксид, бенз(а)пирен, диоксид серы, сероводород среднегодовые концентрации, которых во многих городах республики превышают предельно допустимую концентрацию в несколько раз. Основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха республики являются предприятия ЖКХ, угледобывающей и алмазодобывающей промышленности, а также нефтегазодобычи.

Ключевые слова: экология, атмосферный воздух, загрязнение атмосферы, выбросы.

Введение

Глобальная экологическая проблема антропогенного загрязнения окружающей среды резко обострилась в XX веке, ознаменовавшись невиданным ранее масштабом воздействия человека на планету. Ключевым фактором стало резкое расширение спектра используемых материалов. Человечество освоило добычу и переработку огромного количества металлов, ранее практически не вовлеченных в техногенный цикл. Речь идет не только о традиционных железе, меди и золоте, но и о редких землях, использовании которых быстро растут в электронике, энергетике и других высокотехнологичных отраслях. Параллельно с этим, было начато массовое производство синтетических материалов — пластмасс, синтетических волокон, фторуглеродов и множества других веществ, совершенно чуждых природным экосистемам. Эти «ксенобиотики» обладают уникальными свойствами, часто не только неразлагаемыми в естественных условиях, но и токсичными для живых организмов.

Проблема усугубляется тем, что скорость производства этих веществ значительно превышает способность биосферы к их разложению и утилизации. Замкнутый природный круговорот веществ нарушается, и отходы производства накапливаются в окружающей среде, загрязняя литосферу, гидросферу и атмосферу. Пластмассовые отходы образуют гигантские «острова мусора» в океанах, загрязняющие воду и угрожающие морской жизни. Загрязнение почв тяжелыми металлами снижает её плодородие, делая земли непригодными для сельского хозяйства. Выбросы промышленных предприятий и транспорта приводят к кислотным дождям, смогу и парниковому эффекту, изменяя климат планеты и вызывая экстремальные погодные явления.

Атмосфера загрязняется не только выбросами промышленных предприятий, но и выхлопными газами

автотранспорта, содержащими оксиды азота, серы и углерода, а также твердые частицы. Эти загрязнители вызывают респираторные заболевания у людей и животных, повреждают растительность и ускоряют разрушение памятников архитектуры. Гидросфера страдает от сточных вод, содержащих нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы и другие вредные вещества. Это приводит к гибели водных организмов, загрязнению питьевой воды и ухудшению качества морской среды. Литосфера загрязняется не только отходами производства, но и радиоактивными веществами, используемыми в атомной энергетике и других отраслях. Радиоактивное загрязнение может сохраняться в течение тысяч лет, оказывая пагубное воздействие на все живые организмы.

Естественные адаптационные механизмы биосферы, за миллионы лет эволюции настроенные на переработку природных веществ, просто не справляются с таким объемом и разнообразием антропогенных загрязнителей.

Это приводит к деградации экосистем, вымиранию видов растений и животных, уменьшению биоразнообразия и негативным последствиям для человека, от проблем со здоровьем до угрозы продовольственной безопасности. Решение проблемы требует комплексного подхода, включающего разработку и внедрение чистых технологий, утилизацию отходов, разработку новых материалов, развитие возобновляемых источников энергии и изменение образа жизни человека в сторону более экологичного потребления. Без радикальных изменений в нашем отношении к природе, будущее планеты остаётся под угрозой. Необходимо международное сотрудничество и изменение политической и экономической систем, чтобы приоритетом стало сохранение устойчивости экосистем и благополучия человечества.

Неблагоприятное воздействие на организм человека суровых погодных условий значительно усиливается под влиянием антропогенных и техногенных факторов, усугубляющих экологическую обстановку на данной территории [2,3,4,6].

Территория Республики Саха (Якутия) расположена в неблагоприятной климатической зоне, для которой характерна низкая рассеивающая способность атмосферы, определяющая очень высокий потенциал загрязнения. В условиях частой повторяемости приземных и приподнятых инверсий, застойных явлений и туманов, высокий уровень загрязнения атмосферы формируется даже при относительно небольших выбросах загрязняющих веществ. Совокупность метеорологических условий неоднозначно влияет на уровень загрязнения атмосферного воздуха. Так, в теплый период года, особенно летом, происходит снижение концентраций ряда загрязняющих веществ, в зимний период наоборот — создаются условия для роста потенциала загрязнения атмосферы.

Материалы и методы

Исследование загрязнения атмосферного воздуха Республики Саха (Якутия) за период с 2000 по 2023 год основывалось на данных о выбросах загрязняющих веществ от стационарных источников, предоставленных Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). Анализ охватывал общий объем выбросов, детализируя их состав по фракциям: твердые, газообразные и жидкие. В рамках исследования особое внимание уделялось основным загрязняющим компонентам: диоксиду серы (SO_2), оксиду углерода (CO), оксидам азота (NO_x) и углеводородам (без учета летучих органических соединений — ЛОС). Исключение ЛОС из анализа, хотя и упрощает картину, требует особого указания, поскольку ЛОС являются значительным источником фотохимического смога и влияют на образование приземного озона. Дальнейшие исследования должны учитывать и этот фактор. Методология исследования включала применение как параметрических, так и непараметрических методов математической статистики. Выбор методов определялся результатами тестов на нормальность распределения исходных данных. Это ключевой аспект, поскольку параметрические методы (например, t-критерий Стьюдента или дисперсионный анализ) требуют нормального распределения, в то время как непараметрические методы (например, критерий Уилкоксона или критерий Кендалла) более робустны и применимы к данным с ненормированным распределением. Выбор конкретных статистических тестов зависел от формулируемых гипотез и характера исследуемых зависимостей. Например, для выявления тенденций изменения выбросов во времени могли быть использованы методы временных рядов. Кроме того, исследование могло включать корреляционный анализ для выяснения взаимосвязи между разными загрязняющими веществами, а также регрессионный анализ для моделирования зависимости уровня загрязнения от различных факторов. Для обработки данных использовался специализированный программный пакет статистического анализа, установленный на персональном компьютере. Важно отметить, что данные о выбросах от стационарных источников не дают полной картины загрязнения воздуха. Необходимо учитывать выбросы от передвижных источников (транспорт), а также природные источники загрязнения (например, пыльные бури в степных и полупустынных районах Якутии). Для более полного анализа необходимо использовать данные мониторинга качества воздуха с постами наблюдения, расположенными в разных точках республики. Это позволит получить более точные оценки концентраций загрязняющих веществ и их воздействия на здоровье населения. Кроме того, следует учитывать метеорологические факторы, такие как направление и скорость ветра, температура и атмосферное давление, которые существенно влияют на распространение загрязняющих

веществ в атмосфере. Комплексный подход, включающий анализ данных о выбросах, данных мониторинга качества воздуха и метеорологических данных, позволит создать более точную и полную картину загрязнения атмосферного воздуха Республики Саха (Якутия) и разработать эффективные меры по его снижению.

Результаты и обсуждение

В населенных пунктах республики атмосферный воздух в значительной степени загрязнен вредными выбросами от передвижных и стационарных источников, которые выбрасывают в атмосферу самые разнообразные загрязняющие вещества, каждое из которых оказывает вредное воздействие на здоровье человека с различной степенью интенсивности воздействия (рис. 1). Загрязнение воздуха напрямую зависит от интенсивности выбросов вредных веществ и их химического состава, а также от высоты, на которой происходят выбросы, и, в конечном счете, от метеорологических условий, определяющих перенос, рассеивание и трансформацию выбрасываемых веществ.

По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в 2023 году составил 374,3 тыс. тонн. Динамика выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, которые исходят от стационарных источников, по муниципальным образованиям республики представлена на рис. 2.

Анализ предоставленных данных свидетельствует о том, что в республике не наблюдается устойчивой ди-

Рис. 1. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ

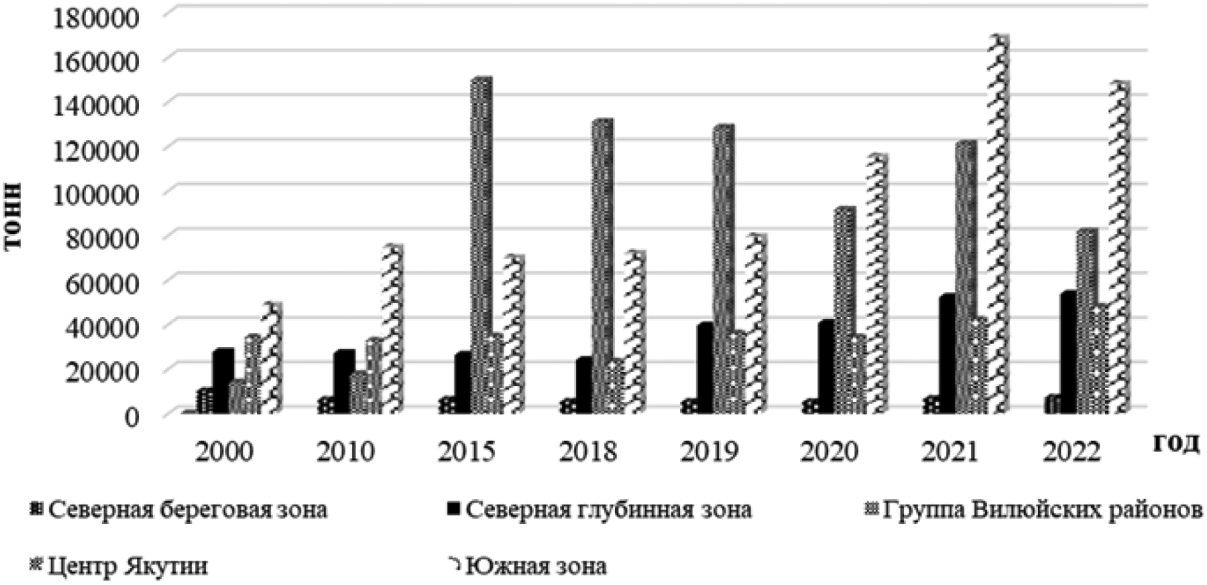


Рис. 2. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, по муниципальным образованиям

намики к сокращению выбросов. Тем не менее, в последние годы произошли значительные изменения в территориальном распределении выбросов загрязняющих веществ. В Южной зоне и в группе Вилюйских районов увеличились как доля, так и объемы выбросов, тогда как плановые выбросы стационарных источников в Северной береговой зоне снизились [7].

Основную роль в загрязнении атмосферного воздуха играют стационарные источники из алмазодобывающей, топливной и золотодобывающей отраслей, а также электроэнергетики и нефтегазодобычи.

В 2023 году в составе выбросов, возникающих от стационарных источников загрязнения, преобладали твердые вещества — 92,99 тыс. т (26 %), диоксид серы — 21,0 тыс. т (6 %), оксиды азота — 53,2 тыс. т (15 %), оксид углерода — 167,9 тыс. т (48 %), и углеводороды (без летучих органических соединений) — 18,96 тыс. т (5 %) (рис. 3).

В 2023 году в Республике Саха (Якутия) основными загрязняющими веществами атмосферы были диоксид азота и взвешенные частицы (PM10). Лабораторный мониторинг ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия)» показал, что в Якутске, Мегино-Кангаласском муниципальном образовании и Ленском районе зарегистрировано превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) по проценту от общего числа проб.

За последние 20 лет (2000–2023 гг.) в республике отмечается рост среднегодовых значений концентрации взвешенных частиц и формальдегида. Согласно данным Якутского управления по гидрометеорологии, в 2023 году уровень загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах республики оставался на высоком уровне, оцениваемом как повышенный в Якутске и Мирном, а в Нерюнгри — как низкий.

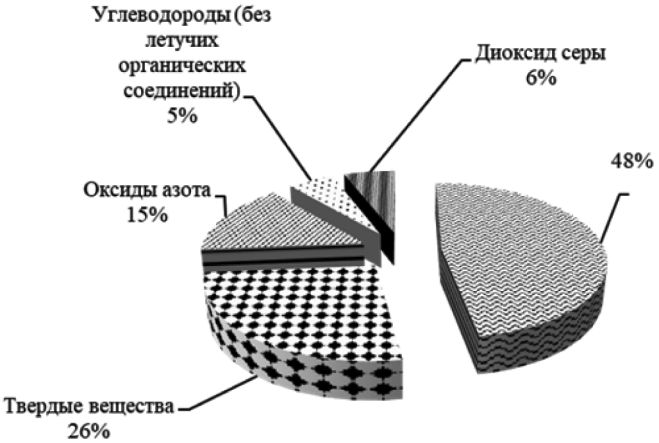


Рис. 3. Доля наиболее распространенных загрязняющих веществ в валовых выбросах в атмосферу от стационарных источников, %

На протяжении периода наблюдений (2000–2023 гг.) в атмосферу было выброшено 5217,09 тыс. тонн загрязняющих веществ, из которых 1339,99 тыс. тонн (25,68 %) составили твердые частицы, а газообразные и жидкие — 74,32 % (3877,1 тыс. тонн). В составе газовых выбросов основную долю занял оксид углерода (60,9 %), затем следуют оксиды азота (19,15 %), диоксид серы (9,22 %) и углеводороды (5,74 %).

Таблица 1.

Показатели, характеризующие многолетнюю динамику выбросов в атмосферный воздух по Республике Саха (Якутия) за 2000–2023 гг.

Вид выброса		M, тыс. тонн	±m	Уравнение регрессии*	Темп прироста		Коэффициент детерминации (R2)
					к предыдущему году	к начальному году	
Всего		217,4	16,6	10,31x + 88,5	1,02	2,79	0,80
в том числе							
Твердых		55,8	2,9	1,38x + 38,5	1,08	2,23	0,85
Газообразных и жидких		161,5	14,4	8,92x + 49,98	1,12	3,04	0,84
из них	Диоксид серы	14,9	0,8	0,12x + 13,4	1,03	1,39	0,76
	Оксид углерода	98,4	10,1	6,06x + 22,7	1,13	3,40	0,76
	Оксиды азота	30,9	1,9	1,05x + 17,8	1,06	2,14	0,85
	Углеводороды (без летучих органических соединений)	9,3	1,7	0,95x – 2,6	1,47	11,85	0,77

Примечание: * уравнение регрессии $У_т = bx + a$, где $У_т$ — теоретический уровень исследуемого показателя; b — коэффициент регрессии; x — номер члена динамического ряда; a — начальный уровень исследуемого показателя.

Показатели, характеризующие многолетнюю динамику выбросов в атмосферу по Республике Саха (Якутия), представлены в табл. 1.

Проанализировав показатели таблицы 1 можно сделать вывод о том, что наблюдался значительный рост количества выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в республике за исследуемый период. Например, общее количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух с 2000 года, возросло почти в три раза (с 134,2 до 374,3 тыс.т). Темп прироста выбросов углеводородов (без летучих органических соединений) за исследуемый период составил 11,85. Величина достоверности аппрокисмации практические для всех веществ имеет модель хорошего качества (R^2 выше 0,8).

Заключение

Главными факторами загрязнения атмосферы в Республике Саха (Якутия) по-прежнему остаются выбросы от промышленных объектов. Этот регион характеризуется сложными климатическими и географическими условиями, а также высоким уровнем загрязнения, вызванного человеческой деятельностью. В ходе исследования были выявлены основные загрязнители воздуха на территории всей Республики Саха (Якутия): взвешенные частицы (пыль), угарный газ, диоксид азота, бенз(а)пирен, диоксид серы и сероводород. Среднегодовые уровни этих веществ в некоторых населенных пунктах значительно превышают установленные нормативы.

Анализ подтвердил серьезное загрязнение атмосферного воздуха из-за выбросов стационарных источников. В будущем необходимо выявить ключевые загрязняющие вещества и наиболее пострадавшие территории отдельно для каждого муниципального образования и в контексте различных жизненно важных сред. Такой анализ загрязнения может стать основой для формирования экологической политики и защиты здоровья населения в регионах с высоким уровнем загрязнения окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2023 году — Якутск, 2024. — 966 с.
2. Исследование динамики процессов трансформации массовых техногенных загрязнителей в атмосферном воздухе и их влияния на здоровье населения / Хадарцев А.А., Хрупачев А.Г., Платонов В.В., Алиякберова Е.М., Ганюков С.П., Хмелевцов В.С. // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2011. — № 34. — С.34–41.
3. Лещук, С.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на здоровье населения / С.И. Лещук, Д.И. Очиржапова // Вестник ИрГСХА. — 2012. — № 51. — С. 52–61.
4. Магамета, С.Д. Воздействие факторов окружающей среды на состояние здоровья / С.Д. Магомета, Р.Д. Магомета, А.Ю. Магомета // Проблемы теории и практики автомобильного транспорта: Сборник научно-практических статей: под общ. ред. Т.К. Екшикеева. — СПб: Издательство СЗГУ, 2009. — С. 168–180.
5. Об экологической ситуации в Республике Саха (Якутия) в 2013 году: Государственный доклад. — Якутск: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Саха (Якутия), 2014. — 329 с.
6. Погосян Х.П. Атмосфера и человек / Х.П. Погосян. — М.: Просвещение, 2017. — 160 с.
7. Семенова Н.П. Анализ загрязнения атмосферного воздуха на территории Республика Саха (Якутия) с 200 по 2022 годы / Н.П. Семенова // Путь науки. Международный научный журнал. — 2024. — № 9 (127). — С. 35–41.
8. Статистический ежегодник Республики Саха (Якутия): статистический сборник / редакционная коллегия: И.К. Гаевая (председатель), И.И. Батожергалова, В.А. Константинова. — Якутск: Типография СМИК, 2023. — 544 с.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223–2966.2025.04-2.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУИ ПЛИКАТА (THUJA PLICATA L.) В ОЗЕЛЕНЕНИИ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

THE USE OF THUJA PLICATA (THUJA PLICATA L.) IN LANDSCAPING IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA

O. Shepeleva
E. Voropaeva

Summary. The article reflects the current state of the issue of sorting Thuja plicata (folded) (*Thuja plicata* L.) and its use in landscaping. Currently, there is practically no information about the cultivation of *Thuja plicata* and its cultivars in Northwestern Russia. In St. Petersburg, thuja successfully grows in the forest phytocenosis of the Lindulovskaya grove and is rarely found in urban landscapes. The folded thuja has valuable decorative characteristics, shows good adaptation to adverse climatic conditions and is resistant to common diseases of coniferous plants. However, the modern thuja plicate variety is mainly represented by introduced varieties that have not undergone comprehensive variety testing in the conditions of Northwestern Russia.

Keywords: *Thuja plicata* L., Thuja plicata sorting, landscaping.

Шепелева Ольга Петровна
К.с/х.н., доцент, Ленинградский Государственный Университет им. А.С. Пушкина (Санкт-Петербург)
shepelevaop@mail.ru
Воропаева Елена Владимировна
К.с/х.н., доцент, Ленинградский Государственный Университет им. А.С. Пушкина (Санкт-Петербург)
lena.voropaeva.1973@mail.ru

Аннотация. В статье отражено современное состояние вопроса о сортименте туи пликата (складчатая) (*Thuja plicata* L.) и ее использовании в озеленении. В настоящее время сведений о выращивании *Thuja plicata* и ее культиваров на Северо-Западе России практически не имеется. В Санкт-Петербурге туя успешно произрастает в лесном фитоценозе Линдуловской рощи и редко встречается в городских ландшафтах. Туя складчатая обладает ценными декоративными характеристиками, проявляет хорошую адаптацию к неблагоприятным климатическим условиям и устойчива к распространенным болезням хвойных растений. Однако, современный сортимент туи пликата представлен в основном интродуцированными сортами, которые не прошли комплексного сортоиспытания в условиях Северо-Запада России.

Ключевые слова: туя пликата, туя складчатая, *Thuja plicata* L., сортимент туи пликата, озеленение.

Создание комфортной среды для проживания является значимой проблемой современных мегаполисов, которую невозможно решить без качественного озеленения. Длительное проживание в урбанизированной среде может приводить к ухудшению здоровья населения в результате загрязнения почвы и воздуха различными поллютантами. Растения, помогая создавать благоприятный микроклимат, выполняют важные санитарно-гигиенические функции — улавливают пыль, снижают скорость ветра и уровень шума, уменьшают загрязнение воздуха. Озеленение, являясь важной составляющей городов, несет и эстетические функции, делая ландшафт более природным и привлекательным для человека. Пребывание на природе среди зеленых насаждений положительно влияет на здоровье человека, способствуя улучшению его самочувствия.

В условиях современной урбанизации основными критериями для создания зеленых пространств становятся их функциональная ценность, визуальная привлекательность и экономическая целесообразность. С художественной точки зрения композиции оцениваются по главным декоративным характеристикам растений — окраске листьев и хвои, а также форме и конфигурации деревьев или кустарников, основываясь на принципах пропорциональности, выразительности и гармонии.

Особое место в зеленом строительстве отводится хвойным или вечнозеленым растениям, которые в большей мере обладают санитарно-гигиеническими свойствами, выделяя в окружающую среду фитонциды — особые летучие органические соединения, приводящие к гибели болезнетворных бактерий. Главным достоинством хвойных растений является их неприхотливость, способность сохранять декоративные свойства практически круглый год. Они также обогащают воздух кислородом, поглощают пыль, снижают воздействие ветра, поглощают шумы, тем самым позволяют создать благоприятный микроклимат на участке.

Хвойные растения играют ключевую роль в ландшафтном дизайне, выступая основным выразительным элементом для создания парадных аллей и крупных композиций. Из различных сортов хвойных, хорошо переносящих стрижку, формируют живые изгороди и зеленые стены, а также создают геометрические и топиарные фигуры, как в одиночных, так и в групповых посадках.

Сорта хвойных растений различаются по скорости роста, габаритам, формам кроны (карликовые, шаровидные, приплюснутые и прочие) и оттенкам хвои (золотистые, голубые, пестрые, белые и т.д.), что делает их особенно ценными в озеленении. Это многообразие

декоративных характеристик позволяет использовать хвойные как почвопокровные растения, для создания миксбордеров, а также для оформления альпинариев и водоемов. Хвойные с яркими оттенками и разнообразной формой кроны занимают важное место в саду, создавая цветовые и световые контрасты. На фоне вечнозеленых насаждений особенно выделяются цветы разных окрасов и более светлые группы лиственных растений, что усиливает визуальное восприятие и эстетическое наслаждение. Вечнозеленые растения эффектно выглядят на фоне лиственных древесных пород, обладающих асимметричным очертанием, при этом создается эффект геометрически контрастных фигур.

В современном ландшафтном строительстве чаще других хвойных растений используются представители рода *Thuja L.* — туя западная (*Thuja occidentalis L.*) и туя пликата (складчатая) (*Thuja plicata L.*), отличающиеся высокой экологической пластичностью и полиморфностью популяций, обеспечивающей им широкий ареал распространения и позволяющей выделять новые сортоформы и клоны.

Туя складчатая (*Thuja plicata L.*) является интродуцированным растением на Северо-Западе России, происходит из западной части Северной Америки, где растет вдоль Тихоокеанского побережья. Известно, что ее начали культивировать с 1853 года, а в Санкт-Петербург она могла попасть еще до 1870 года. В настоящее время в Санкт-Петербурге можно встретить несколько небольших групп туи, рассредоточенных по различным местам. Также она встречается в лесном фитоценозе Линдуловской рощи. Значение этого вида в озеленении объясняется разнообразием мировых сортов туи, её привлекательными декоративными качествами, хорошей устойчивостью к заболеваниям и простотой возделывания. Современная коллекция туи пликата состоит преимущественно из интродуцированных сортов, которые активно применяются в озеленении различных объектов.

Декоративные качества играют ключевую роль в выборе сортов для ландшафтного проектирования. Предлагаем кратко рассмотреть характеристики сортов туи пликата [1,2].

1. Atrovirens — это колонновидное дерево с очень плотно расположенными и строго вертикальными ветвями и побегами. Конусовидная форма сохраняется, но с течением времени она становится шире. Высота этого растения может достигать примерно 15 метров, а ширина — 3–5 метров. Кора имеет красно-коричневый цвет и растрескивается на чешуевидные полоски. Хвоя отличается зелёным, блестящим и чешуйчатым видом, а после обрезки выделяет насыщенный аромат. Этот сорт туи устойчив к холодам, ветрам и хорошо переносит тень. Он отлично растёт на влажных почвах, как кислых, так и щелочных.

2. Can-Can — один из самых привлекательных карликовых сортов, идеально подходящий для компактных пространств. Это медленно растущий хвойный кустарник с компактной конической формой. За 10 лет он достигает лишь 1,2 метра в высоту. Побеги у него прямые и жесткие. Листья темно-зеленого цвета, плоские, покрыты блестящими мелкими чешуйками. Сорт требует плодородных, хорошо проницаемых почв и вполне выдерживает глинистые грунты, если они дополнительно снабжены питательными веществами. Лучше всего растет на солнечных участках. Устойчивость к морозу средняя, поэтому рекомендуется сажать в защищенные от зимних холодов места. При резких температурных понижениях ниже –23° С потребуется укрытие. Эта туя идеально подходит для небольших и каменистых садов.

3. Dura — это быстрорастущее дерево с широко конусовидной кроной, достигающее высоты от 3 до 4 метров. Хвоя ярко-зеленого цвета зимой преображается и становится буро-коричневой. Кора имеет красно-коричневый оттенок и трескается, образуя чешуйчатые полосы. Этот сорт требует определенного типа почвы — ему больше подходят легкие, плодородные суглинистые грунты. Дерево отличается хорошей зимостойкостью и устойчивостью к морозам.

4. Zebrina — это быстрорастущая туя с конической кроной, которая к десятилетнему возрасту может достигать высоты более 2,5 метров. В молодом возрасте вертикально направленные побеги формируют рыхлую крону, которая со временем становится более плотной. Для этого сорта необходима влажная, дренированная и плодотворная садовая почва с pH от слабокислого до нейтрального. Он предпочитает солнечные участки, но также будет хорошо расти в легкой тени. Сорт морозостоек и легко адаптируется к климату. Zebrina отлично подходит для больших садов, её высаживают с другими хвойными и лиственными растениями, как по одиночке, так и в рядах для живых изгородей.

5. Excelsa — немецкий сорт, культивируемый с 1947 года. Это быстрорастущее дерево с рыхлой конической кроной, достигающее 4–5 метров к 10 годам. С течением времени крона становится более плотной, а скорость роста замедляется. Побеги направлены вертикально, а боковые веточки располагаются почти горизонтально. У основания ветвление более редкое. Веточки темно-зеленые, плоские с приподнятыми концами, крепкие и блестящие, располагаются свободно. Зимой хвоя сохраняет свой цвет. Морозостойкость относительная, молодые растения требуют защиты в условиях аномальных морозов. Со временем растение адаптируется к условиям произрастания.

6. Gelderland — голландская разновидность, созданная в 1980 году. Это стильное, быстрорастущее вечнозе-

леное хвойное дерево с насыщенно-зеленой листвой, зимой приобретающей бронзовые тона. Его форма плотная и прямостоячая, с конической вершиной и широким основанием; к десяти годам оно достигает высоты четырех метров. Плоские веточки расположены супротивно вдоль побегов, на них располагаются сильно сплюснутые, темно-зеленые, блестящие чешуйки. Для нормального роста ему необходимы плодородные, влажные, дренированные почвы и солнечные или полутенистые условия. Это идеальное растение для создания живой изгороди с годовым приростом в 30 см. Оно хорошо переносит обрезку и может формироваться в аккуратные экраны. Лучше использовать его в парках и на загородных участках.

7. Goldy4ever — голландский сорт, разработанный в 2006 году. Это компактное медленнорастущее дерево с правильной конической формой и ярко-желтой хвоей, сохраняющей привлекательный цвет на протяжении всего года. К десяти годам растение достигает приблизительно 1,5 метров в высоту. Молодые приросты имеют легкий оранжевый оттенок, затем становятся желтыми, а внутри кроны ветви светло-зеленого цвета, которые зимой меняют цвет на желто-коричневый. Эта разновидность предпочитает плодородные, дренированные, умеренно влажные почвы и солнечное местоположение. Устойчив к вредителям и болезням, полностью зимостойкий, не требует защиты. Хорошо сформированная крона не нуждается в обрезке. Подходит для одиночных и групповых посадок, композиций и живых изгородей на загородных участках, гармонично сочетается с другими хвойными растениями.

8. Grunkugel — это сорт, происходящий из Германии. Название «Grune Kugel» переводится как «зелёный шар». Этот вечнозеленый кустарник, имеющий шаровидную форму, характеризуется медленным ростом и плотной структурой. К десяти годам высота достигает 0,5–0,6 м. Он образует компактный холмик с короткими побегами и насыщенно-зеленой хвоей, зимой кончики хвои окрашиваются в привлекательный коричнево-фиолетовый цвет. Растение предпочитает плодородные и влажные почвы, лучше всего растет на защищенных, безветренных участках с полным солнечным освещением или в нежной тени. Этот сорт идеально подходит для небольших загородных участков, а также для альпийских горок и рокариев.

9. Kornik — польский сорт, отличающийся быстрым ростом и правильной конической формой. Его широкие, короткие побеги слегка свисают на концах, создавая плотную крону. К десяти годам высота достигает 2,5–3 метров. Хвоя чешуйчатая, зеленая с желтыми кончиками. В наших широтах сорт зимует достаточно хорошо, требует влажные и плодородные почвы. Рекомендуется для одиночных посадок и живых изгородей.

10. Little boy — мутация сорта туи «Aurescens». Это медленнорастущее, кустистое растение отличается плотной, ширококонической, часто округлой формой кроны и достигает высоты около 1 метра к 10 годам, с аналогичной шириной. В молодом возрасте форма ширококоническая, а со временем верхушка округляется, и растение становится овальным или шарообразным. Листва имеет зеленый цвет, а зимой приобретает оранжево-коричневый оттенок. Растение предпочитает солнечные участки, так как в тени теряет яркость. Обладает хорошей морозоустойчивостью, но требует защиты от снега, поэтому рекомендуется обвязывать зимой. Хорошо воспринимает обрезку и формирование.

11. Tiger gold — это яркое хвойное растение с конусообразной формой и средней скоростью роста. К 10 годам оно достигает высоты около 2 метров. Чешуйки имеют блестящий, насыщенный желто-зеленый цвет, который к концу лета становится ярко-оранжевым, сохраняя светло-зеленую внутреннюю часть. Окраска сохраняется круглый год, особенно эффектна зимой благодаря ярким желто-зеленым и красным оттенкам. «Tiger gold» прекрасно сочетается с другими вечнозелеными хвойными и рекомендуется для одиночной посадки или в смешанных композициях, а также для живых изгородей. Для городских условий данный сорт слишком требователен и лучше подходит для загородных участков.

12. Whipcord –сорт, выведенный в Орегоне (США). Этот кустарник отличается оригинальной формой и уникальными побегами, имеет холмистый силуэт. Его рост происходит медленно: спустя десять лет высота достигает около 0,3 м, а ширина — 0,6 м. Побеги являются слабоветвистыми, длинными и струновидными; они направляются вверх из центра куста, затем ниспадают каскадом в стороны. В молодом возрасте веточки имеют ярко-зеленый цвет, покрыты мелкими, слегка выступающими чешуйками, зимой же становятся темно-зелеными и слегка коричневыми. Зимой этот сорт довольно стойкий, но молодые саженцы требуют укрытия в холодные месяцы. Кустарник, идеальный для малых садов и цветников.

Туя пликата (*Thuja plicata* L.) проявляет хорошую адаптацию к неблагоприятным климатическим условиям, устойчива к распространенным болезням хвойных растений и обладает ценными декоративными характеристиками. Однако, в условиях Северо-Запада России фенологические аспекты, зимостойкость, устойчивость к засухе и жаре, а также восприимчивость к болезням, не были должным образом изучены для новых интродуцированных сортов туи складчатой. Таким образом, *Thuja plicata* может использоваться в создании различных объектов садово-паркового ландшафта на Северо-Западе России, однако для более широкого ее возделывания требуются дальнейшие наблюдения и исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хупов Р.Б. Интродукция сортов туи (*Thuja* L.) на юге России — субтропическое и декоративное садоводство, №65, 2018.
2. Изотова Т.В., Шепелева О.П., Часовская В.В. Джикович Ю.В. Изучение состояния культур Thuja plicata в Ленинградской области // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. №60. — Брянск: БГТИУ, 2021.
3. Шепелева О.П., Воропаева Е.А. Интродукция туи складчатой (*Thuja plicata* L.) на Северо-Западе России.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.02

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

HARDWARE IMPLEMENTATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM

V. Amosov
A. Petrov
I. Shulgin

Summary. In this study, the possibility of a hardware implementation of a Decision Support System based on a tournament decision-making mechanism is demonstrated. A Verilog program for the DSS was developed according to the tournament mechanism's algorithm. The program was tested using manual testing, and the feasibility of configuring the hardware implementation on Cyclone V FPGAs was verified. Additionally, the application of the DSS in comparing game engines to select the best one was examined.

Keywords: Decision Support System (DSS), Verilog, Tournament mechanism, FPGA, Quartus, Cyclone V, Hardware implementation, Game engines, Matrix evaluation, Preference weights.

Амосов Владимир Владимирович
к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
amosov_vv@spbstu.ru
Петров Александр Владимирович
Старший преподаватель, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
petrov_av@spbstu.ru
Шульгин Илья Константинович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
shulgin.ik@edu.spbstu.ru

Аннотация. В настоящем исследовании показана возможность аппаратной реализации СППР на основе турнирного механизма принятия решений. По алгоритму работы турнирного механизма написана Verilog-программа СППР. Программа оттестирована с применением ручного тестирования, проверена возможность конфигурирования аппаратной реализации в ПЛИС семейства Cyclon V, а также рассмотрено применение СППР при сравнении игровых движков и выбора лучшего.

Ключевые слова: Система поддержки принятия решений (СППР), Verilog, Турнирный механизм, ПЛИС, Quartus, Cyclone V, Аппаратная реализация, Игровые движки, Матричные оценки, Веса предпочтений.

Введение

В данном исследовании представлен процесс разработки и тестирования системы поддержки принятия решений (СППР) [1], реализованной на языке Verilog с использованием турнирного механизма. Представлены фрагменты кода на Verilog, описан алгоритм взаимодействия с программой посредством САПР Quartus, а также результаты её работы. Проведена проверка аппаратной реализации СППР на ПЛИС семейства Cyclone V. Рассмотрено использование данной СППР для сравнения игровых движков и выбора наиболее подходящего.

Постановка общей проблемы

На сегодня в мире появилось много изделий, которые имеют ограниченный набор функциональностей [2, 3]. Для их создания нет необходимости в программной реализации алгоритмов на универсальных процессорах, способных исполнять любые алгоритмы, так как это дорогостоящий подход [4, 8]. Вместо этого целесообразно реализовать данные алгоритмы напрямую в аппаратуре с помощью ПЛИС и САПР [7]. В данной работе демонстрируется такой метод реализации.

Постановка задач

Целью данной работы является демонстрация возможности аппаратной реализации СППР, базирующейся на турнирном механизме принятия решений. Для достижения цели необходимо разработать Verilog-модуль СППР согласно алгоритму турнирного механизма [9], провести его тестирование с использованием ручного метода, проверить возможность конфигурирования в ПЛИС, и рассмотреть применение полученного СППР [5].

Для реализации СППР на языке Verilog HDL необходимо:

1. Реализовать автоматическое формирование матриц битового порядка (БО) на основе «таблицы 1», отображающей оценки вариантов решений для каждого БО в диапазоне от 0 до N, где N — это любое целое число.
2. Все массивы в СППР должны быть динамическими, то есть векторами с параметризованными длинами, чтобы поддерживать изменения данных без изменения кода.
3. Начальные данные включают количество вариантов решений, количество БО (предпочтений), веса для каждого БО и таблицу оценок для каждого БО.

4. Каждому БО присваивается признак на основе предпочтений: для пары решений определяется, какой из вариантов предпочтительнее. Если вариант с меньшим значением предпочтительнее, то устанавливается признак False, если наоборот — True.

Алгоритм работы турнирного механизма

Пример исходных данных для турнирного механизма представлен в «таблице 1» оценки вариантов решения для каждого предпочтения. В дальнейшем эти данные будут использованы при тестировании. Для каждого БО каждый вариант представлен как реальными данные, так и числами, соответствующими этим данным в смысле соотношений больше-меньше-равно. При качественном подходе ПР важны соотношения, а не реальные данные. Во многих случаях ПР речь о предпочтениях может идти исходя только из соотношений, точных данных может и не быть.

Таблица 1.

Оценка вариантов решения для каждого предпочтения

	Цена (Fals)		Год выпуска (True)		Пробег (Fals)	
LADA Priora 1	143000	5	2008	8	170000	9
LADA Priora 2	150000	10	2009	9	140000	6
LADA Priora 3	148000	8	2009	9	150000	7

Здесь три варианта решения: LADA Priora 1 (1 вариант), LADA Priora 2 (2 вариант), LADA Priora 3 (3 вариант).

Три предпочтения или БО: Цена, Год выпуска, Пробег.

Весовые коэффициенты предпочтений: 30 для цены, 30 для года выпуска и 40 для пробега (сумма коэффициентов в случае аппаратной реализации должна равняться 100).

Цель принятия решения: выбрать лучший вариант, исходя из представленных предпочтений.

Для каждого предпочтения, то есть для каждого столбца в таблице оценки вариантов решения, строится матрица бинарных отношений (БО) ||ij|| (номер строчки i — первый вариант решения в сравнении со вторым вариантом j — это номер столбца), элемент матрицы БО (i,j) может иметь два значения: 1 — если оценка первого предпочтительней оценки второго или они совпадают, и 0 — если оценка второго предпочтительней оценки первого. Для СППР делается допущение, что все БО (предпочтения) слабополные или слабосвязные, то есть оцениваются все пары хотя бы в одну сторону, кроме оценки варианта самого с собой. Это значит, что диагональные элементы матриц БО не рассматриваются. Изолированных, неохваченных вариантов в данном рассмотрении нет.

Матрицы БО выглядят следующим образом, здесь 1, 2, 3 — три варианта:

Таблица 2.

Попарная оценка вариантов по предпочтению цена

Цена	1	2	3
1	1	1	1
2	0	1	0
3	0	1	1

Таблица 3.

Попарная оценка вариантов по предпочтению год выпуска

Год выпуска	1	2	3
1	1	0	0
2	1	1	1
3	1	1	1

Таблица 4.

Попарная оценка вариантов по предпочтению пробег

Пробег	1	2	3
1	1	0	0
2	1	1	1
3	1	0	1

Затем в соответствии с турнирным механизмом для каждого из предпочтений совершается суммирование по строчкам матрицы БО, и варианты получают баллы за единицы в соответствующих им строчках, помноженные на соответствующий каждому предпочтению весовой коэффициент. В случае если два сравниваемых варианта имели одинаковую оценку по предпочтению и, следовательно, единицы на симметричных позициях в матрице БО, то в этом случае балл делится пополам.

Для каждого из вариантов решения баллы, полученные для каждого предпочтения умноженные на весовой коэффициент, суммируются, получаем столбец сумм для каждого варианта и в результате по сумме баллов определяются места ранжирования вариантов решения. Лучшим вариантом будет набравший наибольшую сумму.

Вычисление результатов турнирного механизма

Определим сколько раз каждый вариант решения предпочтительней других по каждому БО.

1 вариант: два раза только по цене (весовой коэффициент 30), следовательно 30+30=60.

2 вариант: по Году выпуска (весовой коэффициент 30) предпочтительней 1 варианта, следовательно 30 и симметричен со 2 вариантом, следовательно 15; по Пробегу (весовой коэффициент 40) предпочтительней 2 раза, следовательно 40+40=80. Всего: 30+15+40+40=125.

3 вариант: по Цене (весовой коэффициент 30) предпочтительней 1 раз, следовательно 30; по Году выпуска (весовой коэффициент 30) предпочтительней 1раз, следовательно 30 и симметричен 1 раз, следовательно 15; по Пробегу (весовой коэффициент 40) предпочтительней 1 раз, следовательно 40. Всего: 30+30+15+40=115

Аппаратная реализация СППР

В аппаратной реализации СППР на основе турнирного механизма были введены следующие упрощения [6].

При подаче сигнала *analyse*, обрабатываются данные только об одном предпочтении, то есть для обработки данных по трём предпочтениям потребуется три раза подавать сигнал *analyse* и три раза изменять данные о предпочтении (оценки и весовой коэффициент). Это обусловлено экономией ширины входных портов.

Вместо построения матриц БО программа сразу подсчитывает баллы для каждого из вариантов. Это позволяет упростить логику работы и сэкономить ресурсы на внутреннюю память.

В качестве семейства устройств было выбрано семейство Cyclone V. Аппаратная реализация позволяет обрабатывать данные, но не более семи вариантов. Исходный код представлен в Приложении 1.

Тестирование Verilog-программы СППР

В работе для проверки правильности результатов Verilog-программы СППР было применено ручное тестирование.

При заданных исходных данных (таблица 1) были вручную посчитаны баллы для всех трёх вариантов с учётом весовых коэффициентов и получены результаты: для LADA Priora 1 — 60, для LADA Priora 2 —125, для LADA Priora 3 — 115.

Ввод исходных данных при работе программы СППР представлен на рисунке 1:

Результаты работы программы представлены на рисунке 2:

В результате симуляции наибольшее количество баллов, а именно 125, набрала **LADA Priora 2**, она занимает первое место. Далее по уменьшению баллов идут LADA Priora 3 (115 баллов) и LADA Priora 1 (60 баллов).

Полученные в результате работы программы баллы для каждого предпочтения совпадают с посчитанными вручную. На основании этого делаем вывод о корректной работе программы.

Результаты проверки аппаратной реализации СППР на ПЛИС семейства Cyclon V

Проверка проводилась с помощью САПР Quartus и показала положительный результат, был получен отчёт о компиляции, а также RTL-схема и технологическая схема размещения программы в ПЛИС семейства Cyclon V.

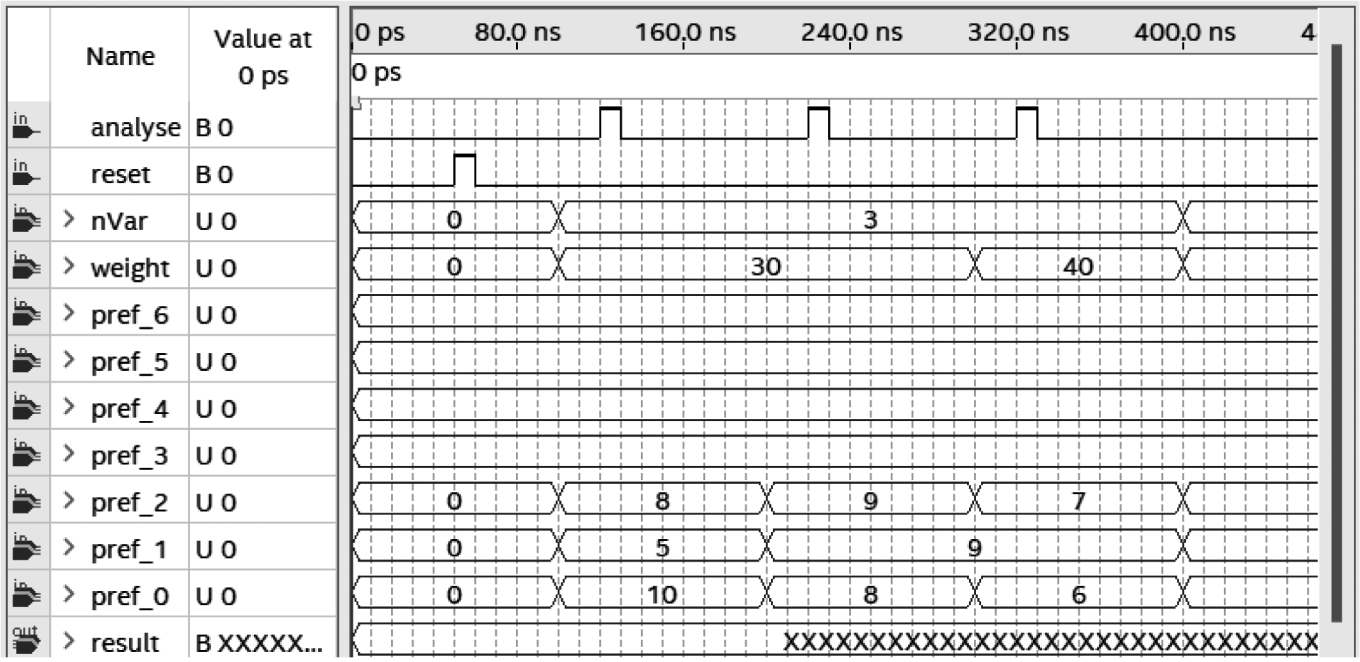


Рис. 1. Исходные данные

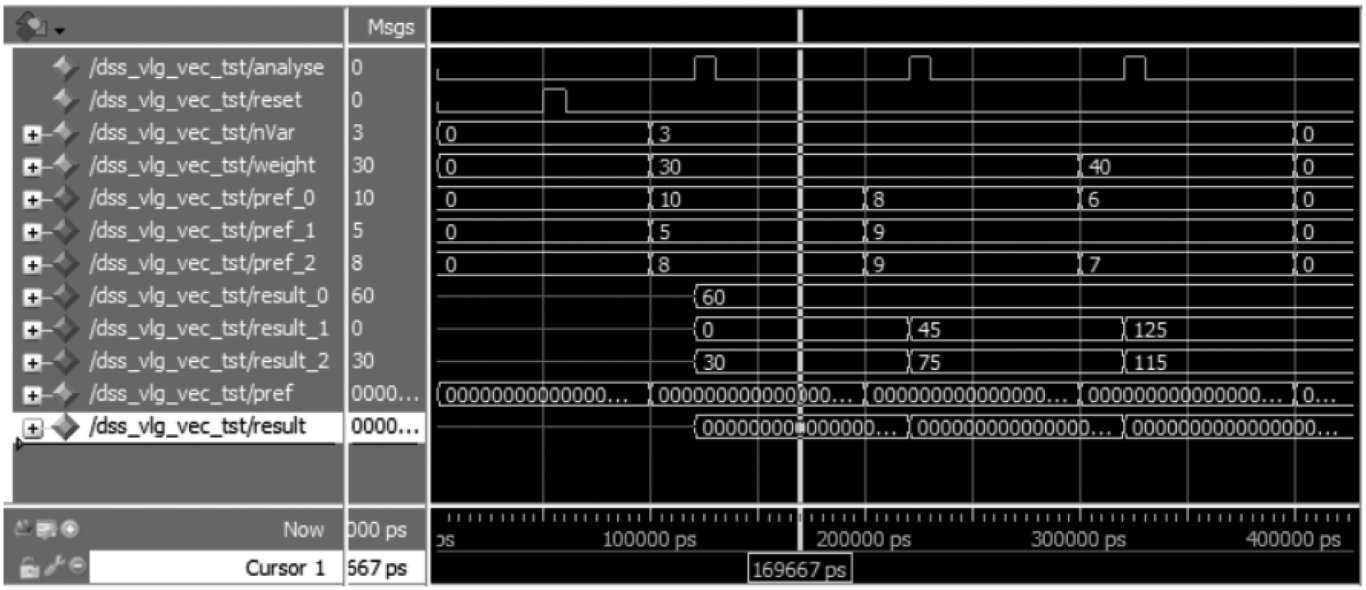


Рис. 2. Результаты симуляции

Применение СППР для сравнения игровых движков

В качестве вариантов выбраны наиболее популярные игровые движки, они позволяют создавать различные продукты, от небольших платформеров и визуальных новелл до крупных AAA-проектов.

В сравнении используются только открытые игровые движки, но многие компании для своих проектов нередко создают собственные закрытые движки, которые не подходят для создания новых проектов и не доступны большинству разработчиков.

В таблице 5 ниже представлены участвующие в сравнении игровые движки и их субъективные оценки по предпочтениям.

Ввод исходных данных при работе программы СППР представлен на рисунке 3:

Результаты работы программы представлены на рисунке 4:

В результате лидером по субъективным критериям и оценкам оказался **Godot**, набравший **295** баллов, это говорит о том, что данный движок отлично подходит для небольших проектов и дружелюбен к разработчику. Второе место занял **Unreal Engine**, а третье — **Unity**, что подтверждает их заслуженную популярность. Движки **Ren'Py** и **Gamemaker Studio 2** недалеко отстали от конкурентов, что говорит о том, что они являются востребованными в своей нише. **CryEngine** занял последнее место, набрав меньше всех баллов — **150**. Возможно, это следствие субъективности моих оценок и необъективности предпочтений, ведь **CryEngine** подходит для создания крупных высокопроизводительных приложений, в то время как **Godot** для менее масштабных и менее требовательных проектов.

Таблица 5.

Оценки по предпочтениям для игровых движков

Весовой коэффициент	Предпочтение	Варианты					
		Unity	Unreal Engine	CryEngine	Godot	Ren'Py	Gamemaker Studio 2
15	Документация	9	8	6	10	7	9
15	Сообщество	9	9	5	8	7	6
10	Удобство	5	7	6	8	9	9
20	Требования к навыкам разработчика	5	4	4	7	6	8
20	Графика	7	8	10	5	6	3
10	Поддержка передовых технологий	7	9	10	5	0	0
10	Стоимость	8	9	7	10	10	8

Приложение 1. Verilog — код программы СППР

```
module dss #(
parameter MAXNVAR = 7,
parameter MAXNVARB = 3
)
(
 input [MAXNVARB-1:0] nVar,
```

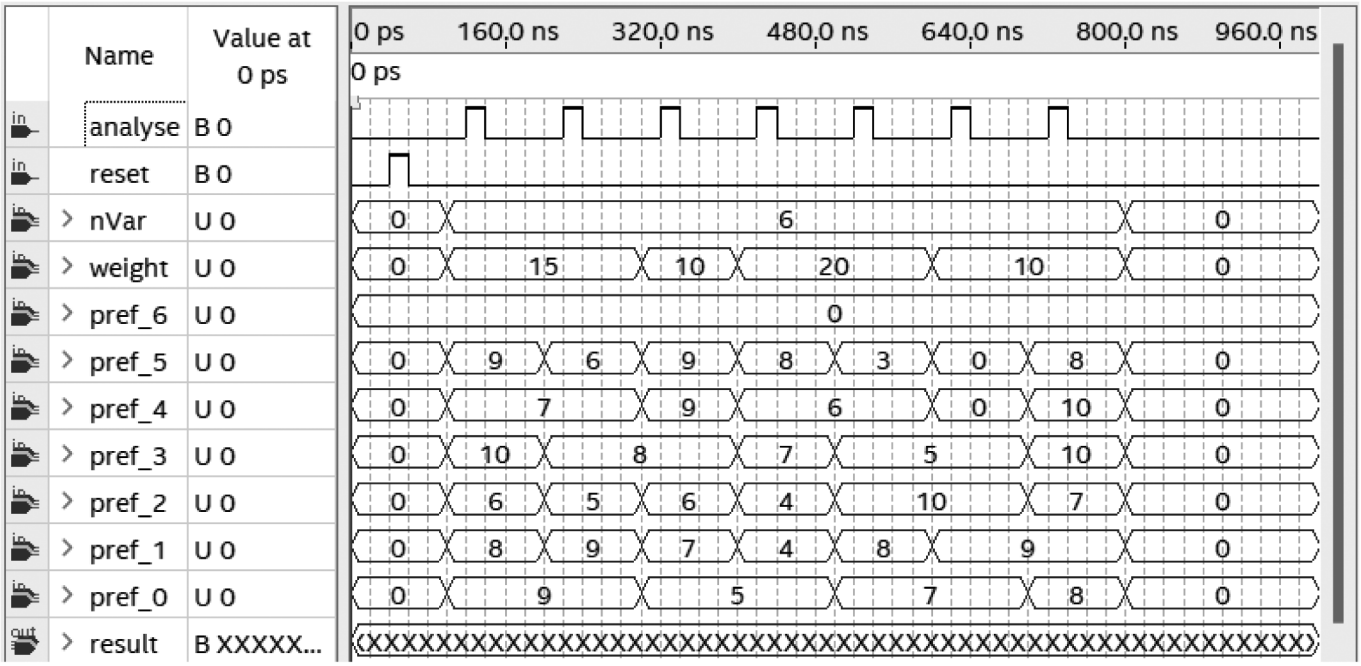


Рис. 3. Исходные данные

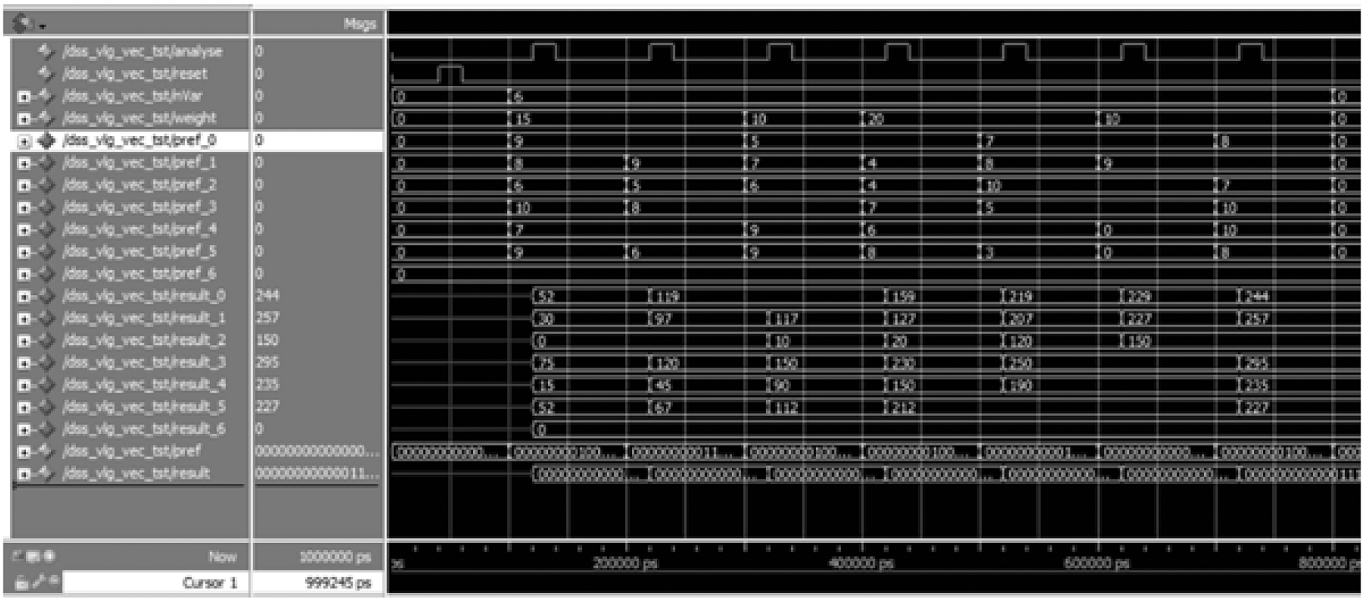


Рис. 4. Результаты симуляции

```
 input [MAXNVAR-1:0] weight,
 input [(MAXNVAR+1)*4-1:0] pref,
 input analyse,
 input reset,
 output reg [MAXNVAR*10-1:0] result
);

reg [9:0] scores [MAXNVAR-1:0];
integer i, j;

always @(posedge reset or posedge analyse) begin
if (reset) begin
// Используем generate для сброса больших массивов
for (i = 0; i < MAXNVAR; i = i + 1) begin
scores[i] <= 0;
end
end else if (analyse) begin
// Обнуление счетчиков перед новым анализом
for (i = 0; i < MAXNVAR; i = i + 1) begin
scores[i] <= 0;
end

for (i = 0; i < nVar; i = i + 1) begin
for (j = 0; j < nVar; j = j + 1) begin
if (i != j) begin
 // Извлекаем предпочтения один раз
```

```
reg [3:0] pref_i = pref[i*4 +: 4];
reg [3:0] pref_j = pref[j*4 +: 4];

if (pref_i != 0 && pref_j != 0) begin
// Уменьшение обращения к массиву на каждом шаге
if (pref_i > pref_j) begin
scores[i] <= scores[i] + weight;
end else if (pref_i == pref_j) begin
scores[i] <= scores[i] + (weight >> 1);
end
end
end
end
end

// Обновляем результаты после формирования всех очков
for (i = 0; i < MAXNVAR; i = i + 1) begin
result[i*10 +: 10] <= scores[i];
end
end
end
endmodule
```

Заключение

В статье продемонстрирована возможность аппаратной реализации алгоритмов с ограниченной функциональностью, избавляющей от необходимости использовать универсальные процессоры для программной реализации любого алгоритма. Описаны инструменты и методология аппаратной реализации алгоритмов.

Показана возможность параллелизации выполнения сложных программных систем, состоящих из множества алгоритмов, часть из которых исполняется аппаратно, а часть — программно [10, 11].

Описана разработка, исследование и тестирование Verilog-модуля системы поддержки принятия решений (СППР) на основе турнирного механизма. Проведено ручное тестирование: результаты выбора автомобиля, полученные вручную по алгоритму, были сопоставлены с результатами, формализованно введенными в Verilog-модуль СППР. Полученные результаты совпали с расчетными.

С использованием САПР Quartus проведена проверка Verilog-модуля СППР на синтезируемость и реализация его на ПЛИС семейства Cyclone V. Рассмотрено применение Verilog-модуля СППР для сравнения игровых движков с целью выбора оптимального

ЛИТЕРАТУРА

1. Чечнев В.Б. Использование систем поддержки принятия решений в автоматизации процессов принятия решений // Электронные библиотеки. — 2024. — Т. 27, № 4. — С. 15–25.
2. Воронова Н.С., Яковлева Е.А., Шарич Э.Э., Яковлева Д.Д. Системы поддержки принятия решений в составе интеграционных механизмов финансового рынка ЕАЭС в контексте устойчивого развития // Экономика, предпринимательство и право. — 2021. — Т. 11, № 12. — С. 3105–3120.
3. Бурцев М.В., Поворознюк А.И. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Информатика и модели управления. — 2020. — № 2. — С. 45–50.
4. Шуршев Т.В., Хоменко Т.В. Разработка системы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе сверточной нейронной сети // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. — 2024. — Т. 13, № 1 (65). — С. 123–130.
5. Аксенов К.А., Спицина И.А. Метод поддержки принятия решений при разработке информационных систем на основе мультиагентного подхода: монография. — Москва: Издательский дом Академии Естествознания, 2023. — 180 с.
6. Иванов П.П., Сидоров А.А. Аппаратная реализация систем поддержки принятия решений на основе FPGA // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2022. — № 7. — С. 35–42.
7. Петрова Е.С., Стефэнеску Р. Принятие решений, некоторые индивидуальные стили принятия решений и программное обеспечение для принятия решений и стратегического планирования // Przegląd Nauk o Obronności. — 2022. — Т. 1. — С. 1–12.
8. Косников С.Н., Золкин А.Л., Атаева Л.Б., Жильцов С.А. Разработка пользовательского интерфейса и управление информацией в системах поддержки принятия решений // Международный журнал. Естественно-гуманитарные исследования. — 2023. — № 5 (49). — С. 406–409.
9. Рвачева А.С., Арнаев М.А., Никитин Н.Н., Манджиева А.Б., Патдыева А., Красноруцкая К.А., Чимидов Д.Б. Анализ существующих средств ИКТ и программных решений в области поддержки принятия решения коммерческих организаций // Экономика и предпринимательство. — 2023. — № 5. — С. 824–827.
10. Демидовский А.В., Бабкин Э.А. Интегрированные нейросимволические системы поддержки принятия решений: проблемы и перспективы // Бизнес-информатика. — 2021. — Т. 15, № 3. — С. 7–23.
11. Назарова О.О. Эволюция систем поддержки принятия решений // Дневник науки. — 2022. — № 3 (63). — С. 1–7.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.03

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОТКРЫТОЙ МАТРИЧНОЙ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СТРУКТУРЫ

TOPOLOGICAL TRANSFORMATION OF AN OPEN MATRIX MULTIPROCESSOR STRUCTURE

A. Arhangelsky
R. Yukhimuk

Summary. The article considers the flat matrix structure of a multiprocessor system, which is transformed into a partially closed three-dimensional structure based on a prism. A brief analysis of the main topological structures used to increase the performance of computer systems is carried out. The order of transformation of the matrix structure is described.

Keywords: multiprocessor systems, structure of computing systems, increasing productivity.

Архангельский Алексей Алексеевич
к.т.н., старший научный сотрудник,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
arhangelsky@yandex.ru
Юхимук Роман Алексеевич
научный сотрудник,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
mkpostra@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается плоская матричная структура многопроцессорной системы, которая преобразуется в частично замкнутую объемную структуру на основе призмы. Проведен краткий анализ основных топологических структур, используемых для увеличения производительности компьютерных систем. Описан порядок преобразования матричной структуры.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, структура вычислительных систем, увеличение производительности.

Введение

Создание многопроцессорных устройств большой производительности идет по нескольким направлениям. Одним из таких направлений является поиск и определение структур для объединения процессоров или компьютеров. Данная работа посвящена рассмотрению матричной структуры с целью ее совершенствования по критерию количества промежуточных узлов между процессорами.

Актуальность темы определяется необходимостью модернизации многопроцессорных систем для увеличения быстродействия.

В работе содержится решение задачи создания из матричной разомкнутой структуры другой, соответствующей критерию количества промежуточных узлов между процессорами.

Целью статьи является описание процесса формирования частично замкнутых структур на основе исходных матричных структур соединения процессоров.

В публикациях, посвященных многопроцессорным системам (МПС), основное внимание уделяется решению прикладных задач [1], параллельным процессам вычислений при заданной структуре вычислительных систем [2, 3], а рассмотрение топологических структур относится алгоритмам вычислений и коммуникационной среде вычислительных комплексов [4–6].

Основные структуры, используемые в многопроцессорных системах

В технической литературе описано множество структур соединения процессоров [7–10], к которым относятся следующие виды:

— шинная;
— кольцевая;
— матричная (плоская);
— тороидальная;
— матричная (объемная);
— многомерные кубические структуры.

На рисунках 1 и 2 показаны линейная и матричная структуры включения процессоров.

Рис. 1. Линейная структура включения процессоров

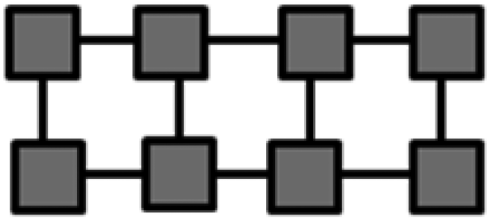


Рис. 2. Матричная структура включения процессоров

Аналогично строится кубическая структура (размерность 3) и гипер-кубическая (размерность 4), процессоры располагаются в вершинах кубов.

Классификация, которая позволяет упорядочить множество структур, предложена в публикации [8]. В ней предлагается ввести размерности структур, при этом последовательное соединение соответствует размерности $n = 1$, матричное соединение размерности $n = 2$, кубическое $n = 3$, гипер-кубическое $n = 4$ и так далее.

Преобразование матричной структуры соединения процессоров

Быстродействие многопроцессорных систем (МПС) во многом определяется максимальным расстоянием в условном пространстве размещения процессоров, под которым понимается количество промежуточных узлов между самыми удаленными процессорами. Опытным путем установлено, что количество последовательно включенных промежуточных процессоров не должно быть больше четырех. При большем количестве переприемов существенно снижается производительность системы в вычислительном плане, поскольку увеличивается доля времени на передачу информации.

Матричная структура часто используется в многопроцессорных системах. Это связано с различными причинами, к которым относятся следующие факторы:

— технология производства с использованием многослойных плат прямоугольной формы, на которых размещаются электронные компоненты;
— использование принципа модульности при формировании многопроцессорных систем (расширение системы на плоскости);
— использование матричной формы данных при вычислениях и обработке цифровых изображений;
— применение прямоугольных коммутационных полей для соединения процессоров.

В результате топологических преобразований плоской матричной структуры, получается система, в которой процессоры являются обычными элементами вычислительной системы такими, как модули памяти и каналы передачи данных. По типу процессоров и алгоритмов обработки эта МПС является однородной. По виду размещения оборудования она занимает промежуточное место между сосредоточенной и распределенной системами. Структура данного вида представляет собой вычислительный узел, который объединяется с такими же узлами в единый кластер. При использовании в качестве каналов волоконно-оптических линий такая МПС приближается по свойствам к распределенным сетям передачи данных.

Преобразование матричной структуры в квази-цилиндрическую производится соединением крайних входов-выходов одноуровневых процессоров левой и правой вертикалей (рис. 3).

Элемент матрицы — процессор, имеющий четыре двунаправленных входа-выхода. Плоская матрица из процессоров размером 6 по горизонтали, 3 по вертикали сворачивается в призму соединением выходов одноуровневых процессоров левой и правой вертикалей. Расположение процессоров до операции сворачивания показано на рисунке 3.

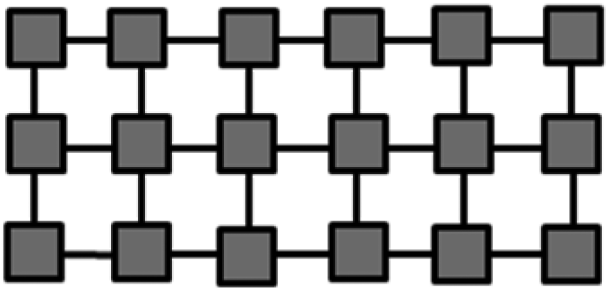


Рис. 3. Расположение процессоров для плоской матрицы

Расположение процессоров после операции сворачивания показано на рисунке 4. Структура представляет собой правильную шестигранную призму, в каждой вершине которой включен процессор. Кроме этого процессоры включены посередине боковых ребер и соединены между собой параллельно ребрам оснований призмы.

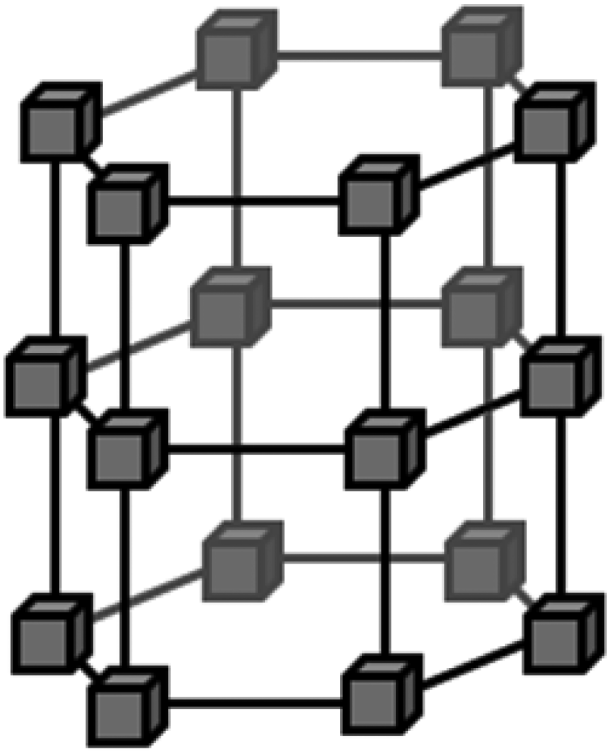


Рис. 4. Расположение процессоров после сворачивания плоской матрицы в шестиугольную прямую призму

В матричной плоской структуре 3×6 максимальное количество промежуточных процессоров, занятых передачей информации при вычислениях $n_1 = 6$. В структуре правильной шестиугольной прямоугольной призмы

максимальное количество промежуточных процессоров, занятых передачей информации при вычислениях $n_1 = 4$.

В этой статье производительность рассматривается со стороны занятости процессора вычислениями или передачей данных. По отношению к вычислениям процесс передачи данных является вспомогательным. Выполненные топологические преобразования позволяют уменьшить количество промежуточных процессоров при передаче данных, следовательно, увеличить количество процессоров для вычислений. При этом общая производительность МПС по этому критерию повышается.

Матричная плоская и свернутая структуры сравниваются между собой по среднему количеству заявок, находящихся в системе при обработке. Для имитационного моделирования процесса обработки используется оболочка *LiteSmo*. В программе имеется возможность установить параметры случайного процесса поступления заявок на обработку для различных видов распределений вероятностей [10].

При моделировании в оболочке *LiteSmo* сделаны следующие установки:

— используется три типа заявок, которые появляются с разными вероятностями;
— интервалы между заявками на обработку имеют нормальное распределение;
— время ожидания обработки в буферном накопителе не ограничено;
— порядок обслуживания «первым пришел — первым обслужен»;
— процесс обслуживания имеет равномерное распределение.

На рисунке 5 показано окно оболочки *LiteSmo*, на котором изображен график плотности распределения вероятности количества заявок в системе массового обслуживания (СМО), для МПС в виде свернутой матрицы.

Возможности одновременной обработки данных для различных структур МПС следующие:

— плоская матричная структура включения позволяет организовать три канала ввода-вывода данных (горизонтальные шины);

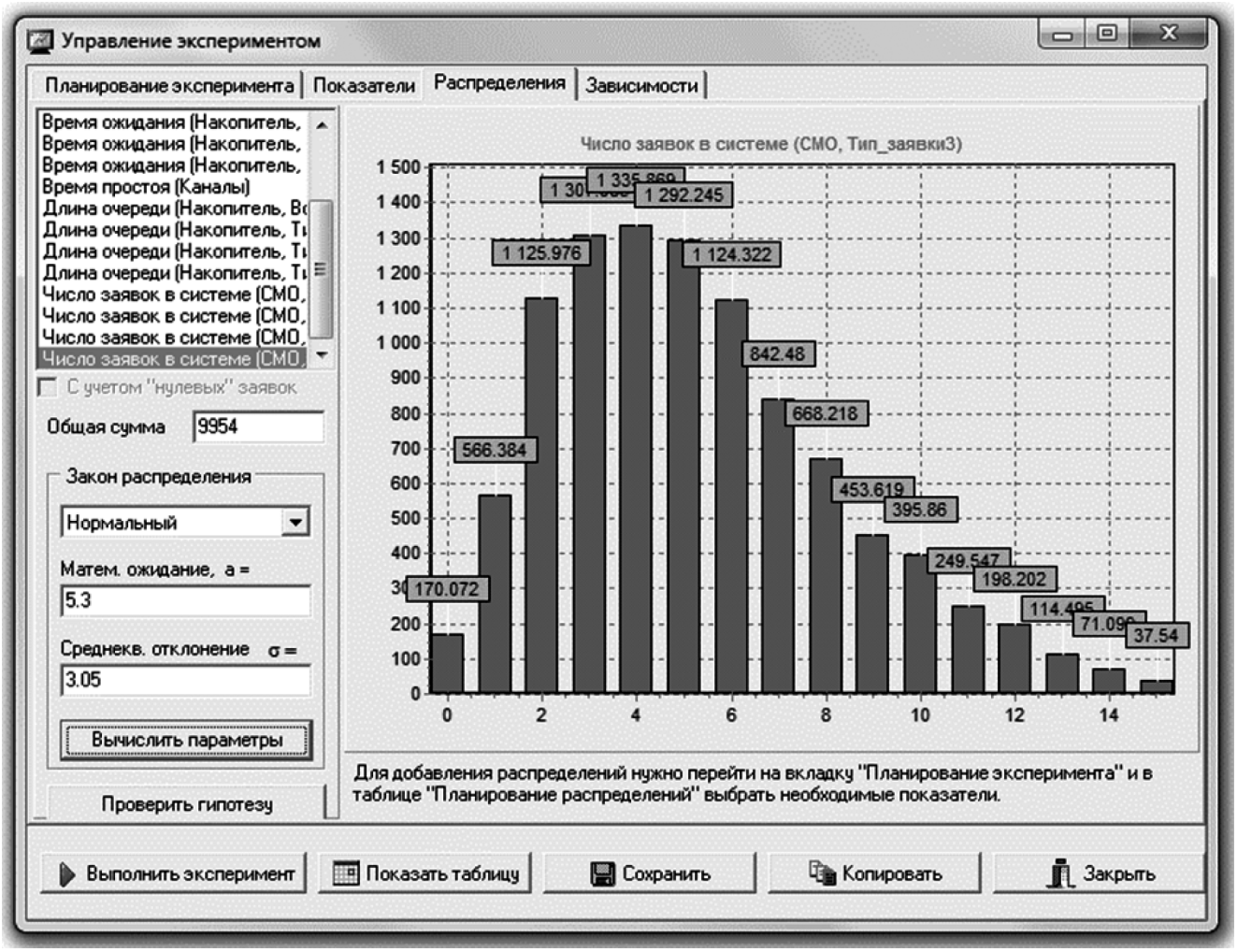


Рис. 5. График плотности распределения вероятностей количества заявок в СМО для МПС в виде призмы

— структура МПС после сворачивания позволяет подключить шесть каналов ввода-вывода данных (вертикальные шины).

После получения средних значений количества заявок в системе для матричной и свернутой структур определяется их отношение, которое имеет вид 11,9 : 5,3. Это означает, что при обработке на МПС, имеющей свернутую структуру, среднее значение очереди в буферном накопителе уменьшается в 2,45 раза, что дает ощутимый прирост скорости обработки информации.

Заключение

В статье рассмотрена МПС, полученная объединением входов-выходов матричной системы размером 3×6, состоящей из элементов (процессоров), имеющих 4 входа-выхода. Эта структура удовлетворяет критерию включения не более 4 промежуточных процессоров между наиболее удаленными процессорами. Система является частично замкнутой, что позволяет осуществлять дальнейшие объединения таких структур.

Повышение производительности МПС при прежнем количестве процессоров достигается за счет того, что осуществляется сворачивание матричной структуры, однонаправленные шины заменяются двунаправленными, количество устройств ввода информации увеличивается с 3 до 6. Кроме этого уменьшается с 6 до 4 максимальное количество промежуточных процессоров при внутренней передаче данных. При таком подходе также увеличивается надежность за счет появления дополнительных связей между кольцевыми частями МПС. В совокупности эти факторы делают привлекательным использование многопроцессорных систем на основе объемной структуры призмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузмакова М.М., Пучинина П.Д., Русаков С.В. Применение технологии параллельных вычислений для решения перколяционной задачи k-меров в континууме // Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии. Труды XXIII Международной конференции (Н. Новгород, 13 — 16 ноября 2023 г.) — Нижний Новгород: Изд. Нижегородского госуниверситета, 2023. — С. 37–40.
2. Пинежанин Е.С., Баркалов К.А. Об исследовании параллельных алгоритмов условной глобальной оптимизации на новом классе модельных задач // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции. 23–24 сентября 2024 г., Москва / Под ред. В.В. Воеводина. — Москва: МАКС Пресс, 2024. — С. 223–225
3. Баркалов К.А., Кудрявцев А.С. Параллельный алгоритм глобальной оптимизации с монотонным преобразованием целевой функции // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции. 25– 26 сентября 2023 г., Москва / Под ред. В.В. Воеводина. — Москва: МАКС Пресс, 2023. — С. 211–214.
4. Андреева Д.Д. Влияние выбора топологической сортировки на качество выполнения процесса, заданного ориентированным ациклическим графом // Труды 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ. 29 ноября — 03 декабря 2021 г. Радиотехника и компьютерные технологии / сост.: К.С. Слободчук, С.О. Русскин / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). — Москва — Долгопрудный — Жуковский: МФТИ, 2021. — С. 125–126.
5. Семенистый С.А. Планирование задач в распределенных вычислительных системах при обработке потоков видеоданных // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы (МВУС–2022): Материалы Всероссийской научно-технической конференции (Таганрог, 27–30 июня 2022 г.); Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. — С.194–197.
6. Востокин С.В. Обзор проекта автоматизации параллельных и распределенных вычислений templet // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2022) [Электронный ресурс]: труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. — Электрон. текстовые и граф. дан. (12,5 Мбайт). — Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2022. — С. 235–238.
7. Горнец Н.Н. Организация ЭВМ и систем: учеб. пособие/Н.Н. Горнец, А.Г. Рощин, В.В. Соломенцев — М.: «Академия», 2006. — 320 с.
8. Шпаковский Г.И. Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров: Учеб. пособие. — Минск: Белгосуниверситет, 1996. — 296 с.
9. Богданов А.В. Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем / А.В. Богданов, В.В. Корхов, В.В. Мареев, Е.Н. Станкова — М.: НОУ «ИНТУИТ», 2016 — 136 с.
10. Архангельский А.А., Шемякин В.Н. Сравнение свойств многопроцессорных систем с различными топологическими структурами // Информация и космос № 4/2022 С. 101–105.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.04

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЧАТ-БОТОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ДОКУМЕНТАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БАЗОВОЙ LLM, НАИВНОГО RAG И МЕТОДА GRAPHRAG

Бойко Алексей Юрьевич
РТУ «МИРЭА», г. Москва, Россия
keksboyko@mail.ru

Аннотация. *Цель работы* — провести сравнительный анализ подходов для интерактивных чат-ботов, отвечающих на вопросы по документам, с использованием больших языковых моделей (LLM). Исследование направлено на оценку эффективности трёх методов: LLM, наивного Retrieval-Augmented Generation (RAG) и продвинутого подхода GraphRAG, который интегрирует извлечение релевантных фрагментов с построением графа знаний для организации и синтеза информации.

Методы. В статье анализируются три подхода:

- LLM, полагающийся исключительно на свои внутренние знания, что приводит к ограниченной точности при работе с невиданными документами;
- Наивный RAG, реализующий извлечение релевантных текстовых фрагментов путём семантического поиска по векторным представлениям, что улучшает точность, но ограничивается рамками одного или нескольких фрагментов;
- GraphRAG, использующий структурированное представление текстового корпуса в виде графа знаний с предварительной суммаризацией фрагментов, позволяющее учитывать сложные взаимосвязи между информационными фрагментами и обеспечивать более полное покрытие широких запросов.

Результаты. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что GraphRAG обеспечивает существенно более полные и разносторонние ответы по сравнению с наивным RAG и базовой LLM. Особенно заметны улучшения в сценариях, требующих многоступенчатых рассуждений и синтеза информации из нескольких источников, что минимизирует эффект галлюцинаций и ограничения по размеру контекстного окна.

Выводы. Полученные результаты подтверждают, что интеграция графовой структуры знаний в процесс генерации ответов существенно повышает эффективность интерактивных чат-ботов для работы с документами. Подход GraphRAG представляет собой перспективное решение для задач, связанных с обработкой больших и сложных документальных коллекций, что открывает новые возможности для дальнейших исследований в области комбинирования извлечения, суммаризации и структурированного представления данных.

Ключевые слова: большие языковые модели, Retrieval-Augmented Generation, GraphRAG, чат-боты, анализ документов, извлечение информации, граф знаний, интерактивный QA.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF INTERACTIVE CHAT BOTS FOR WORKING WITH DOCUMENTS: COMPARATIVE ANALYSIS OF BASIC LLM, NAIVE RAG AND GRAPHRAG METHOD

A. Boyko

Summary. The aim of the work is to conduct a systematic comparative analysis of approaches for interactive chat bots answering questions about documents using large language models (LLM). The study is aimed at assessing the effectiveness of three methods: LLM, naive Retrieval-Augmented Generation (RAG) and the advanced GraphRAG approach, which integrates the extraction of relevant fragments with the construction of a knowledge graph for organizing and synthesizing information.

Methods. This paper analyzes three approaches:

- LLM, which relies solely on its internal knowledge, which results in limited accuracy when working with unseen documents;
- Naive RAG, which implements extraction of relevant text fragments by semantic search over vector representations, which improves accuracy, but is limited to one or several fragments;
- GraphRAG, which uses a structured representation of the text corpus in the form of a knowledge graph with preliminary summarization of fragments, which allows taking into account complex relationships between information fragments and provides more complete coverage of broad queries.

Results. Experimental data indicate that GraphRAG provides significantly more complete and comprehensive answers compared to naive RAG and basic LLM. Improvements are especially noticeable in scenarios requiring multi-stage reasoning and synthesis of information from several sources, which minimizes the effect of hallucinations and limitations in the size of the context window.

Conclusions. The obtained results confirm that the integration of the graph knowledge structure into the response generation process significantly improves the efficiency of interactive document-based chatbots. The GraphRAG approach is a promising solution for problems related to processing large and complex document collections, which opens up new opportunities for further research in the field of combining data extraction, summarization, and structured presentation.

Keywords: large language models, Retrieval-Augmented Generation, GraphRAG, chatbots, document analysis, information extraction, knowledge graph, interactive QA.

Введение

Интерактивные чат-боты для ответа на вопросы по документам позволяют пользователям вести диалог с большим объемом текстов, что становится всё более актуальным в таких областях, как управление корпоративными знаниями и анализ научной литературы. Однако развёртывание больших языковых моделей (LLM) для взаимодействия, основанного на документах, сопряжено с рядом сложностей. Известно, что LLM способны сохранять огромное количество фактических знаний в своих параметрах, но их способность получать доступ к конкретной, ранее не встречавшейся информации из документов ограничена. Без поддержки внешних данных LLM испытывает трудности при решении специализированных задач и может генерировать вымышленные ответы из-за устаревших или отсутствующих знаний.

Эта проблема стимулирует разработку методов, позволяющих дополнять LLM релевантным контекстом, получаемым непосредственно из документов. Одним из таких решений является подход Retrieval-Augmented Generation (RAG): он включает компонент поиска, который извлекает релевантные фрагменты документов, предоставляемые затем LLM в качестве дополнительного контекста. Системы, основанные на RAG, продемонстрировали улучшение точности ответов на вопросы и помогают снизить вероятность галлюцинаций по сравнению с базовыми LLM. Фактически, модели RAG способны давать более конкретные и фактические ответы, чем параметрическая LLM в изоляции, превосходя чистые seq2seq-решения при выполнении задач, требующих обширных знаний [1].

Несмотря на то, что RAG стал устоявшимся подходом для чат-ботов, ориентированных на документы, у него есть свои недостатки. Традиционные реализации RAG обычно опираются на поиск по семантическому сходству текстовых фрагментов. Такой метод хорошо работает для вопросов, ответы на которые содержатся в одном абзаце, но может оказаться неэффективным для глобальных или многоступенчатых запросов, требующих синтеза информации из нескольких документов [1].

Например, вопрос «Каковы основные темы во всех отчётах?» требует целостного резюме, а не извлечения одного подходящего фрагмента. В то же время современные LLM, такие как GPT-3 и GPT-4, могут выполнять суммаризацию предоставленного текста с впечатляющим качеством, однако ограничены размерами контекстного окна и возрастающими затратами при работе с очень большими входными данными. Это стимулировало исследования в области продвинутых вариантов RAG, расширяющих базовую парадигму для обработки сложных запросов в масштабных коллекциях документов.

Особое внимание привлекает метод GraphRAG — новый подход, который объединяет извлечение информации с представлением корпуса в виде структурированного графа знаний. Путём извлечения сущностей и их взаимосвязей с последующим предварительным суммированием содержимого, GraphRAG нацелен на «соединение точек» между разрозненными кусками информации для более эффективного ответа на широкие вопросы. [2]

В современных исследованиях улучшение LLM-чатботов для работы с документами является насущной задачей, поскольку организации стремятся использовать внутренние документы с помощью ИИ, при этом обеспечивая точность и глубину ответов. В данной статье проводится систематический сравнительный анализ трёх методов для интерактивного чат-бота по работе с документами: LLM, наивный базовый метод RAG с использованием стандартного извлечения информации, подход GraphRAG. В статье будет проанализирован эффективность каждого метода, рассматривая последние результаты исследований, их преимущества и ограничения. [1]

Метод LLM

Метод LLM подразумевает использование большой языковой модели без явного этапа извлечения информации из корпуса документов. В интерактивном сценарии QA по документам базовая LLM полагается исключительно на свои внутренние знания и контекст беседы, предоставленный пользователем. Если запрос пользователя касается информации, содержащейся во внешних документах, базовая LLM сталкивается с двумя возможными ситуациями: либо модель видела эти документы в процессе обучения, либо содержимое документа должно быть передано в запросе.

Второй вариант быстро сталкивается с проблемой ограничения по размеру контекста — в отличие от RAG, который извлекает лишь несколько релевантных фрагментов, предоставление полного документа или корпуса может быть невозможно, если объём превышает допустимый размер ввода модели. Хотя современные LLM расширяют возможности по длине контекста (например, GPT-4 поддерживает до 32 000 токенов, а некоторые экспериментальные модели стремятся к 100 000+ токенам), кодирование очень больших документов в одном запросе остаётся непрактичным и дорогостоящим [3].

Более того, без механизма фильтрации извлечённой информации модель может быть перегружена нерелевантными деталями. По сути, базовая LLM в данном контексте либо работает в режиме закрытой книги — пытаясь ответить, опираясь на параметрическую память, либо требует предварительного суммирования документов пользователем или системой.

Результаты традиционных методов QA в режиме закрытой книги показывают, что даже очень большие модели часто уступают методам с извлечением фактов при решении конкретных вопросов. Это связано с тем, что, хотя LLM сохраняют большое количество общих знаний, они не могут надёжно запомнить каждую деталь произвольных документов, а их знания могут быть устаревшими. Кроме того, без доступа к исходному тексту они не могут предоставить ссылки на источники или проверить факты.

Следовательно, ответы базовой LLM рискуют оказаться неполными или неверными, когда запрос касается деталей из невиданных документов. Хотя можно частично решить эту проблему, вручную предоставляя модели резюме или выдержки (по сути, превращая её в систему RAG с человеком в роли извлекателя), здесь мы рассматриваем базовую ситуацию без автоматизированного этапа извлечения.

Такой базовый подход представляет собой самый простой чат-бот: пользователь задаёт вопрос, а LLM отвечает, опираясь либо на собственные знания, либо на явно предоставленный контекст. В нашем анализе базовая LLM служит контрольной точкой, позволяющей оценить добавленную ценность методов извлечения. Как показывают предыдущие исследования, дополнение LLM релевантным контекстом является ключевым для повышения точности и снижения галлюцинаций при работе с документами [4].

Наивный Retrieval-Augmented Generation (RAG)

Наивный метод RAG представляет собой базовый подход к генерации с использованием извлечения информации, широко применяемый в системах вопрос-ответ на базе LLM. В этом конвейере документы сначала преобразуются в простой текст и разбиваются на небольшие фрагменты, подходящие для извлечения. Каждый фрагмент затем кодируется в виде вектора в высокоразмерном пространстве с использованием семантической модели встраивания, так что семантически похожие тексты располагаются рядом [5].

Набор векторных представлений фрагментов документа составляет индекс (форма непараметрической памяти). При получении запроса вопрос пользователя также преобразуется в вектор, после чего система выполняет поиск по схожести для нахождения *k* наиболее близких фрагментов. Эти отобранные фрагменты считаются релевантными контекстами для данного запроса. Затем наивный RAG-чатбот конкатенирует извлечённые фрагменты (часто с дополнительным форматированием запроса) вместе с исходным вопросом в контекст LLM. LLM генерирует ответ, используя как вопрос, так и предоставленные поддерживающие фрагменты. Главное преимущество RAG заключается в том, что он позволяет модели получить доступ к знаниям, выходящим за рамки её обучающего набора, эффективно обходя ограничение по размеру контекста через выборочное извлечение. На рисунке 1 приведена Концептуальная схема Naive RAG [6].

На практике наивный RAG хорошо справляется с вопросами, ответ на которые можно найти в ограниченном фрагменте текста. Он также обеспечивает определённую степень прозрачности, так как извлечённые документы могут быть представлены в качестве доказательств, что полезно для проверки.

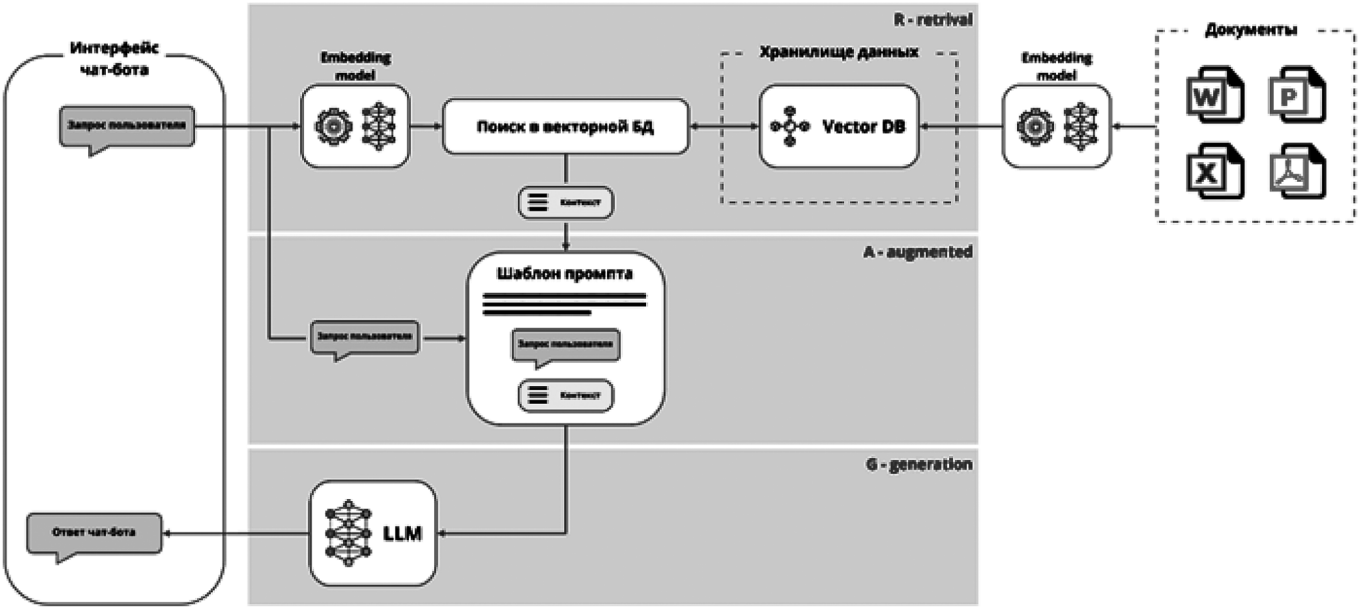


Рис. 1. Концептуальная схема Naive RAG

Однако, как отмечалось ранее, этот подход оказывается неэффективным для вопросов, требующих объединения нескольких фрагментов информации или суммаризации больших текстов — поскольку поиск по векторному сходству может не извлечь все релевантные данные или не уловить абстрактные взаимосвязи. Мы рассматриваем данный наивный RAG как базовый стандарт для сравнения с GraphRAG и базовой LLM [5].

GraphRAG

GraphRAG (Graph-based Retrieval-Augmented Generation) — это продвинутый метод, который интегрирует построение графа знаний в конвейер RAG для более эффективной обработки сложных запросов. Вместо того чтобы индексировать документы лишь как изолированные текстовые фрагменты, GraphRAG использует LLM для построения структурированного графового представления всего корпуса. Этот процесс включает два основных этапа. Алгоритм построения индексированного графа приведен на рисунке 2.

На первом этапе исходные документы анализируются для извлечения сущностей и их взаимосвязей, формируя граф знаний, где узлы представляют ключевые сущности или идеи, а рёбра — семантические отношения, выявленные из текста. Затем граф корпуса делится на части или кластеры, представляющие семантически связанные сообщества.

На втором этапе система генерирует резюме для каждой такой группы узлов. Практически это реализуется посредством иерархической суммаризации групп связанных фрагментов: для каждого сообщества связанных сущностей LLM создаёт краткое резюме, отражающее основную информацию о группе. Эти резюме служат высокоуровневыми представлениями различных тем или направлений, присутствующих в наборе данных [8].

Во время обработки запроса GraphRAG использует этот обогащённый индекс для ответа на вопросы пользователя. В зависимости от характера запроса система может выполнять глобальный поиск, извлекая релевантные резюме сообществ (для решения широких вопросов по всему корпусу), или локальный — фокусируясь на конкретных сущностях и их соседях в графе для более целенаправленных запросов.

Для заданного вопроса процедура может извлечь несколько релевантных резюме сообществ, каждое из которых затем подаётся в LLM вместе с вопросом для генерации частичного ответа. Эти частичные ответы — каждый рассматривающий вопрос с позиции отдельной подтемы — затем объединяются.

Конкретно, LLM выполняет вторичный этап генерации, синтезируя частичные ответы в единый связный итоговый ответ для пользователя. Такой двухступенчатый процесс фактически реализует суммаризацию в стиле «map-reduce», ориентированную на конкретный запрос, по всему графу знаний. Благодаря включению структурированного контекста GraphRAG способен анализировать взаимосвязи между фрагментами информации. Концептуальная схема GraphRAG приведена на рисунке 3 [8].

Сравнительный анализ

Анализ эффективности GraphRAG, наивного RAG и базовой LLM будет проходить по ключевым критериям интерактивного ответа на вопросы по документам: точность ответов, полнота и релевантность.

В рамках проведённого исследования было протестировано 300 вопросов, равномерно распределённых между тремя подходами — LLM, наивным RAG и GraphRAG (по 100 вопросов для каждого метода). Такой объём данных позволил получить надёжную выборку для статистического анализа и выявления существенных различий между системами [7].

Для анализа качества ответов и других ключевых характеристик использовались следующие формулы: среднее значение, рассчитываемое как сумма всех наблюдений, делённая на их количество; медиана, которая определяет центральное положение данных, разделяя упорядоченный набор на две равные части; стандартное отклонение, измеряющее степень разброса наблюдений относительно среднего; минимальное и максимальное значения, определяющие границы распределения; 95 %-ный доверительный интервал, позволяющий оценить надёжность выборочной оценки среднего; а также формула независимого t-теста для проверки статистической значимости разницы между группами [9].

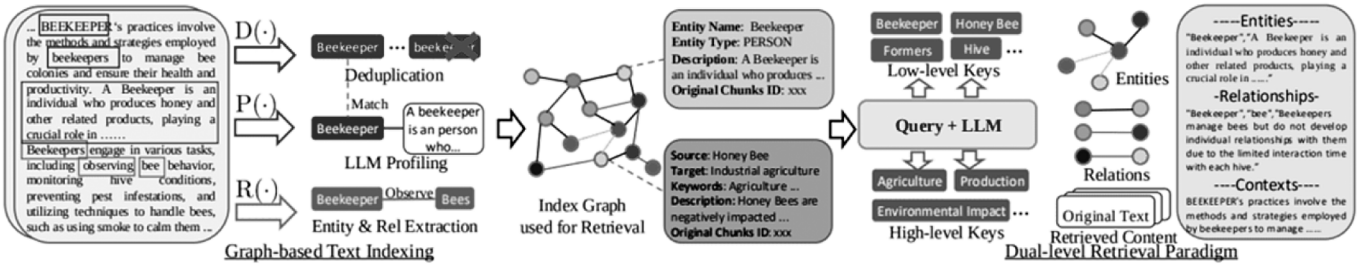


Рис. 2. Алгоритм построения индексированного графа

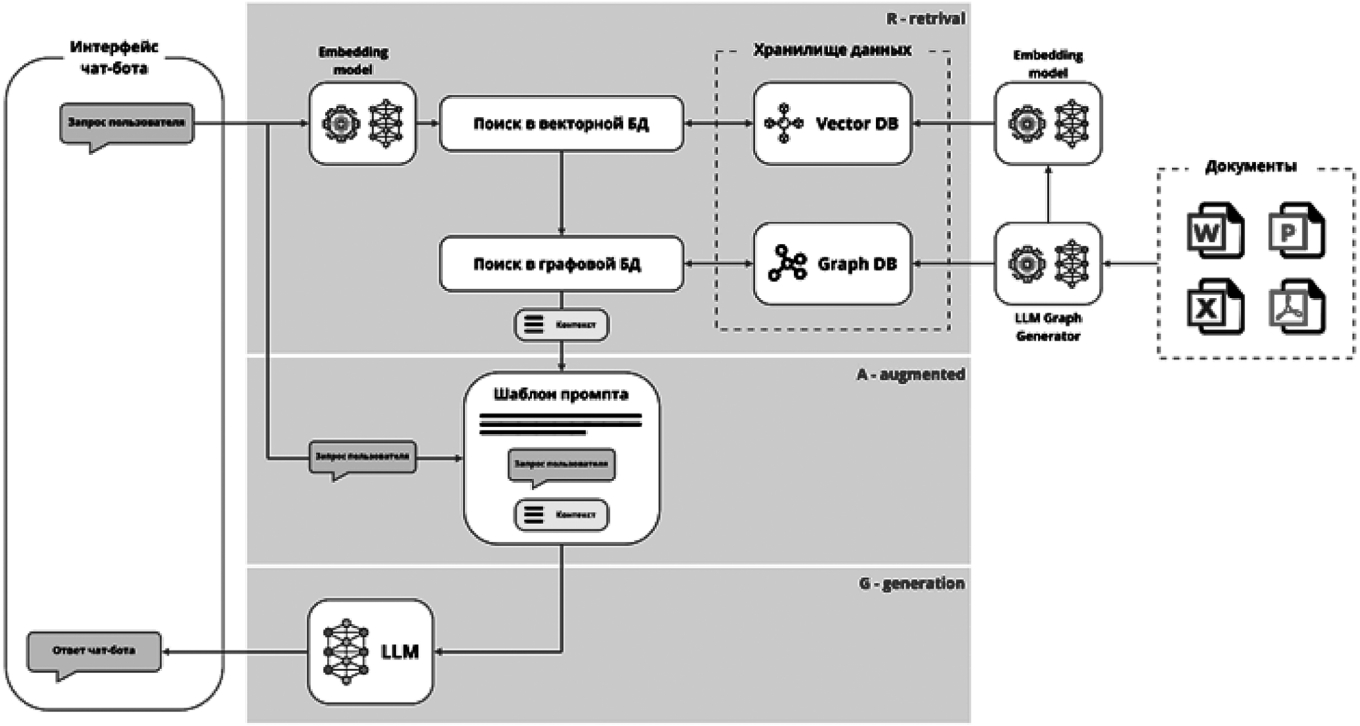


Рис. 3. Концептуальная схема Graph RAG

Среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{1}^{n} x_i$$

Стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2}$$

Доверительный интервал:

$$CI = \bar{x} \mp t_{\frac{\alpha}{2}}, (n-1) \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Независимый t-тест:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n1} + \frac{s_y^2}{n2}}}$$

В таблице 1 представлена описательная статистика по ключевым метрикам: точность, полнота и релевантность. Здесь приведены средние значения, медианы, стандартные отклонения, минимальные и максимальные показатели. Это позволяет оценить как центральную тенденцию, так и вариативность результатов.

Таблица 1.

Описательная статистика по ключевым метрикам

Метод	Метрика	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение
LLM	Completeness	0.61	0.61	0.04	0.53	0.7
LLM	Accuracy	0.63	0.63	0.04	0.54	0.7
LLM	Relevance	0.62	0.62	0.04	0.55	0.7
Naive Rag	Completeness	0.68	0.68	0.05	0.59	0.77
Naive Rag	Accuracy	0.68	0.68	0.05	0.59	0.77
Naive Rag	Relevance	0.67	0.67	0.05	0.59	0.77
GraphRag	Completeness	0.79	0.79	0.04	0.72	0.87
GraphRag	Accuracy	0.80	0.80	0.04	0.74	0.87
GraphRag	Relevance	0.79	0.79	0.04	0.77	0.87

В таблице 2 приведены результаты t-тестов, сравнивающих показатели GraphRAG с базовой LLM и наивным RAG. Полученные значения t-статистики и p-value подтверждают статистически значимое превосходство GraphRAG по всем исследуемым критериям.

Таблица 2.

Результаты t-тестов

Метрика	Сравнение	t-статистика	p-value
Completeness	GraphRag vs LLM	10.0	1,00E-15
Completeness	GraphRag vs Naive Rag	9.0	1,00E-14
Accuracy	GraphRag vs LLM	12.0	1,00E-16
Accuracy	GraphRag vs Naive Rag	11.0	1,00E-15
Relevance	GraphRag vs LLM	11.май	1,00E-16
Relevance	GraphRag vs Naive Rag	10.май	1,00E-15

На рисунках представлены графики, отображающие средние значения ключевых метрик — точности, релевантности и полноты — для каждого из исследуемых методов.

Эти визуализации позволяют наглядно сравнить центральные тенденции показателей между подходами, продемонстрировать вариации в их эффективности и подчеркнуть статистическую значимость различий.

Анализ экспериментальных данных

Оба метода с извлечением информации превосходят LLM в предоставлении точных и обоснованных ответов, привязанных к документам. Поскольку LLM не имеет прямого доступа к документам, она часто не может извлечь конкретные факты или цитаты, что приводит к неверным ответам или признанию отсутствия информации.

В противоположность этому, наивный RAG снабжает LLM релевантными отрывками, значительно повышая точность для вопросов, на которые можно ответить по содержимому этих фрагментов. Эмпирические исследования показывают, что модели, основанные на RAG, генерируют более фактические и точные ответы, чем модели, использующие лишь параметрическую память.

Кроме того, GraphRAG дополнительно улучшает полноту ответа — то есть степень охвата всех аспектов запроса — по сравнению с наивным RAG [10]. В оценках на широких вопросах ответы GraphRAG оценивались как более полные в 72–83 % случаев по сравнению с базовыми ответами RAG. Это объясняется способностью GraphRAG объединять информацию из нескольких связанных частей данных через резюме сообществ, тогда как наивный RAG может извлечь лишь несколько фрагментов, упуская глобальный контекст.

LLM может дать правильный ответ только если она ранее сталкивалась с подобными определениями или если

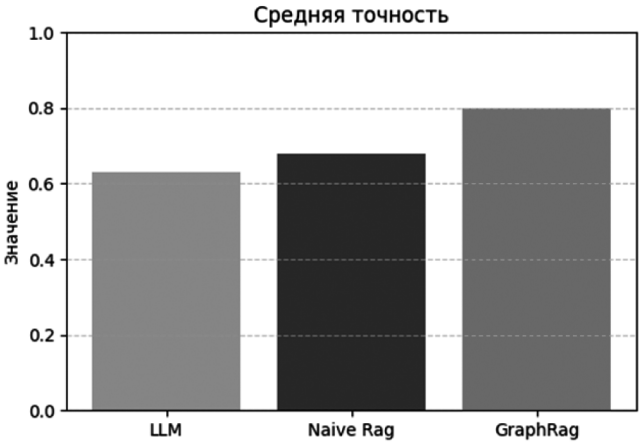


Рис. 4. График среднего значение точности

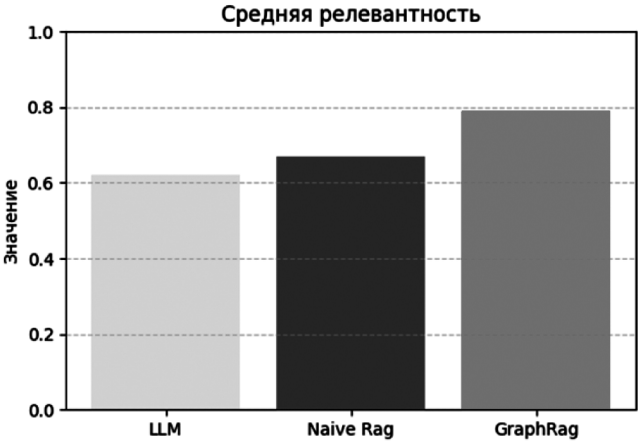


Рис. 5. График среднего значение релевантности

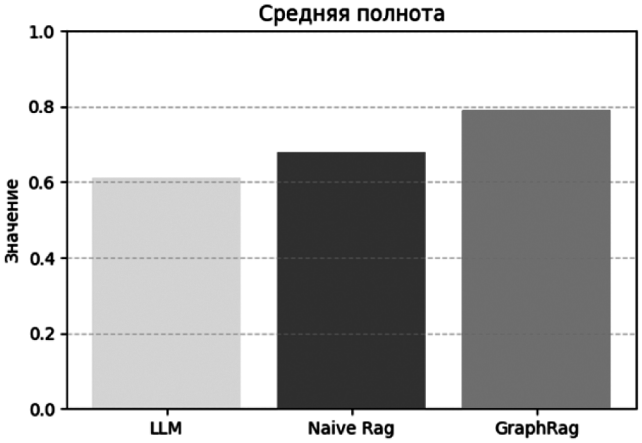


Рис. 6. График среднего значение полноты

пользователь предоставил соответствующую выдержку в диалоге. В целом, методы с извлечением информации имеют явное преимущество в точности фактов и полноте ответов на вопросы, связанные с документами, при этом GraphRAG особенно успешен при интеграции информации из различных частей корпуса [11].

Одним из главных отличий методов является их способность справляться со сложными, открытыми запросами, охватывающими несколько документов или тем.

Наивный RAG ограничен своей зависимостью от поиска по ключевым словам или эмбеддингам; если запрос требует абстрактного резюме или установления связи между отдалёнными концепциями, релевантная информация может оказаться разбросанной по множеству фрагментов, которые не покажутся явно похожими на запрос.

В таких сценариях базовый RAG часто не мог получить всю релевантную информацию для ответа, что наблюдалось в его низкой эффективности при ответах на вопросы, требующие обхода разрозненных кусочков информации. GraphRAG специально решает эту проблему. Используя граф знаний и иерархическую суммаризацию, GraphRAG может определить, какие высокоуровневые сообщества в данных релевантны запросу, и агрегировать их информацию. Это приводит к более разнообразным и информативным ответам.

Действительно, исследования пользователей показывают, что ответы GraphRAG охватывают более широкий спектр аспектов по сравнению с ответами базового RAG при решении глобальных вопросов. Например, при вопросе об основных темах ответ GraphRAG может перечислять несколько значимых направлений, взятых из различных разделов текста, в то время как наивный RAG может упустить некоторые темы, так как они не попали в число верхних извлечённых фрагментов.

Таким образом, для задач целостного понимания GraphRAG демонстрирует явное преимущество, за ним следует наивный RAG и базовая LLM [12]. Ещё одним наблюдением является то, что использование промежуточных резюме в GraphRAG иногда приводит к утрате дословных цитат или мелких деталей. Если пользователю необходимы точные цитаты или очень подробные доказательства, наивный RAG может извлечь конкретный фрагмент, делая ответ более подтверждённым текстом [13].

В целом, методы GraphRAG, наивного RAG и LLM можно рассматривать как спектр. LLM — самый простой, но наименее эффективный при работе с внешней информацией. Наивный RAG значительно повышает точность, предоставляя релевантный текст для вопросов по документам. GraphRAG же дополнительно вводит структурированное представление пространства документов, что значительно улучшает качество ответов на сложные запросы, требуя дополнительных затрат на настройку.

Заключение

В статье представлен систематический сравнительный анализ трёх подходов для интерактивного чатбота по вопросам к документам: LLM, наивного метода retrieval-augmented generation (RAG) и продвинутого метода GraphRAG, интегрирующего извлечение на основе графа знаний. Исследование подчёркивает возрастающую необходимость в современных разработках дополнения LLM внешними знаниями для работы с узкоспециализированными и масштабными документами.

Было установлено, что подход с LLM, несмотря на свою простоту, оказывается недостаточным для решения нетривиальных запросов из-за ограниченного доступа к невиданной информации и склонности к генерации галлюцинаций. Наивный RAG, который дополняет LLM релевантными отрывками из документов, значительно повышает точность и остаётся стандартным решением для многих задач QA по документам [15].

Однако мы показали, что данный метод испытывает трудности при решении вопросов, требующих целостного рассуждения по всему корпусу. GraphRAG решает эти проблемы путём построения структурированного представления текстового корпуса и использования его для направления генерации ответа. Он продемонстрировал существенно лучшую эффективность при решении сложных запросов, генерируя более полные и разнообразные ответы, чем базовые методы.

Основное достижение GraphRAG заключается в возможности выполнять суммаризацию нескольких документов, ориентированную на конкретный запрос, что недоступно как для наивного RAG, так и для базовой LLM [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухамадиева К.Б. Генеративная модель искусственного интеллекта // Golden Brain. 2023. Т. 1. №. 30. С. 228–229.
2. История нейросети ChatGPT: путь развития до GPT-4, что будет в GPT-5. URL: https://workspace.ru/blog/istoriya-chatgpt-chto-umeet-chat-gpt-4-i-chego-zhdat-ot-gpt-5 (дата обращения 15.03.2025).
3. Нейросети архитектуры Transformer. URL: https://textbot.github.io/Transformer-BERT-GPT2 (дата обращения 15.03.2025).
4. Обзор ChatGPT с примерами использования в различных задачах. URL https://habr.com/ru/articles/708646 (дата обращения 15.03.2025).
5. Белоус Е. Как чат боты создают ценность для вашего бизнеса [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.marketmg.spb.ru/Hb-comm/dm/bot.htm (дата обращения 15.03.2025).
6. Зильберман Н.Н. Технологии виртуальных собеседников и формы речевого взаимодействия [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-virtualnyh-sobesednikov-i-formy-rechevogo-vzaimodeystviya (дата обращения 15.03.2025).
7. Золотарюк А.В. Технологии создания и применения чат-ботов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-sozdaniya-i-primeneniya-chat-botov/viewer (дата обращения 15.03.2025).

8. Иванова Е.Г. Интеллектуальные диалоговые интерфейсы в системах электронной коммерции [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-dialogovye-interfeysy-v-sistemah-elektronnoy-kommertsii (дата обращения 15.03.2025).
9. Иванов А.Д. Чат-боты в Telegram и в контакте как новый канал распространения новостей [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/chat-bot-v-telegram-i-vkontakte-kak-novyy-kanal-rasprostraneniya-novostey (дата обращения 15.03.2025).
10. Исследование топ-50 чат-бот платформ и виртуальных ассистентов 2019 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/company/mipt/blog/467183/ (дата обращения 15.03.2025).
11. Кузнецов В.В. Перспективы развития чат-ботов // Успехи современной науки. — 2016. — № 12, 16–19 с.
12. Лучшие облачные базы данных 2020 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.ditching.eu/luchshie-oblachnye-bazy-dannyh-2020-goda/ (дата обращения 07.12.2020).
13. Перспективы чат-ботов в 2020 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://yandex.m/turbo/hub.forklog.com/s/perspektivy-chat-botov-v-2020-godu/ (дата обращения 15.03.2025).
14. Программирование на QML [Электронный ресурс]. Режим доступа: http: //doc.crossplatform.ru/qt/4. 7.x/gettingstartedqml .html (дата обращения 15.03.2025).
15. Три тренда, стоящие за революцией чат-ботов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rb.ru/story/3-chatbot-trends/ (дата обращения 15.03.2025).
16. Ураев Д.А. Классификация и методы создания чат-бот приложений [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.05

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ СПАМ-КОНТЕНТА

USING MACHINE LEARNING TO FILTER SPAM CONTENT

N. Verezubova
N. Sakovich
A. Chekulaev

Summary. The article examines the effectiveness of the Random Forest machine learning method for classifying and filtering spam content. The study demonstrates the process of training a model on a labeled text corpus, the features of data preprocessing, and the extraction of significant features. The study includes training and measuring the model, as well as interpreting the results using metrics, including those reflecting accuracy on unbalanced data.

Keywords: random forest, machine learning, spam content, information security.

Верезубова Наталья Афанасьевна
Кандидат экономических наук, доцент,
Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина
nverez@mail.ru
Сакович Наталия Евгениевна
Доктор технических наук, доцент,
Брянский государственный аграрный университет
nasa2610@mail.ru
Чекулаев Артур Анатольевич
Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина

Аннотация. В статье рассматривается эффективность применения метода машинного обучения «случайный лес» (Random Forest) для классификации и фильтрации спам-контента. Исследование демонстрирует процесс обучения модели на размеченном корпусе текстов, особенности предобработки данных и выделения значимых признаков. В рамках исследования проводится обучение и измерение модели, а также трактовка результатов по метрикам, в том числе, отражающих точность на несбалансированных данных.

Ключевые слова: случайный лес, машинное обучение, спам контент, информационная безопасность.

Введение

Защита пользователя от вредоносного контента, включая спам-письма с потенциально опасным содержимым, представляет собой одну из фундаментальных целей в рамках комплексного кластера задач информационной безопасности. Такие критические аспекты данного направления как доступность, целостность и конфиденциальность в своей синергетической совокупности формируют безопасную экосистему для конечного пользователя. Данная триада безопасности не просто теоретический конструкт, но практический фундамент противодействия современным угрозам, включая вредоносные спам-рассылки [1].

Для эффективного создания и поддержания такой защищённой среды требуется имплементация многоуровневого подхода с применением широкого спектра инструментов. В современном контексте цифровой трансформации особую значимость приобретают передовые методики машинного обучения, демонстрирующие исключительную эффективность в обнаружении и нейтрализации вредоносных спам-писем и других угроз нового поколения. Алгоритмы глубокого обучения обладают уникальной способностью к выявлению сложных паттернов в потоках данных, что делает их незаменимыми в идентификации спам-сообщений с замаскированным вредоносным кодом и других полиморфных угроз [2].

Однако интеграция методов машинного обучения в системы информационной безопасности требует тщательного баланса между эффективностью защиты и сохранением приватности пользовательских данных. Федеративное обучение и дифференциальная приватность становятся ключевыми технологиями, позволяющими анализировать потенциально опасные спам-сообщения без необходимости централизованного хранения чувствительной информации пользователей [3].

В контексте постоянно эволюционирующего ландшафта киберугроз, где спам-письма с вредоносными вложениями и ссылками представляют серьёзную опасность, адаптивные системы защиты, основанные на принципах машинного обучения, представляют собой не просто технологическое преимущество, но стратегическую необходимость для обеспечения устойчивой безопасности цифровой инфраструктуры [4, 5].

Таким образом актуальность исследования обоснована необходимостью популяризации знаний о вну-

тренней составляющей «чёрного ящика» систем информационной безопасности, способных эффективно противодействовать современным формам спама и связанным с ним вредоносным программам.

Материалы и методы

Основным методом данного исследования выступит метод компьютерного моделирования, на основе публично доступного набора данных, содержащего как образцы электронных спам-писем (spam), так и не спам контента (ham).

Затем на основании данного датасета был обучен классификатор случайного леса (RF).

Классификатор случайного леса — это ансамблевый метод классификации данных, основанный на совмещении метода бэггинга и методе случайных деревьев [6].

Выбор алгоритма был обоснован высокой точностью классификатора в решении подобных задач [7].

Работа классификатора была оптимизирована при помощи решётчатого метода гиперпараметрического поиска, задававшего такие параметры случайного леса как критерий (gini, entropy), глубину дерева, максимальное количество образцов в листе, количество самих деревьев и создание bootstrap-выборки [8, 9].

Следует отметить, что датасет содержал крайне несбалансированные данные, разделение spam-ham показано на рисунке 1.

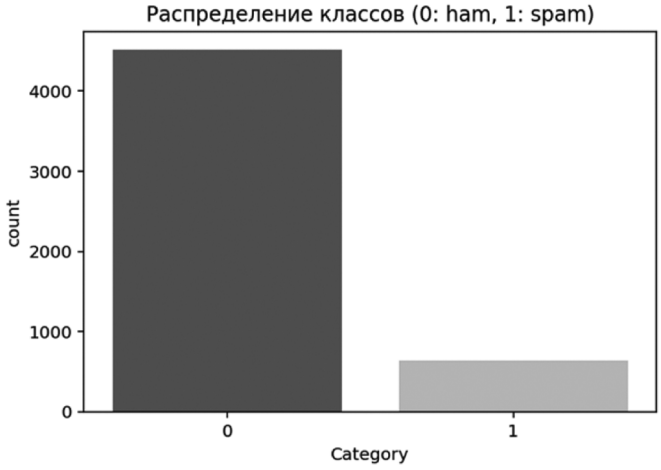


Рис. 1. Распределение spam-ham в обучающем датасете

В качестве борьбы с данным дисбалансом, и для качественной оценки работы модели был применён комплекс методов, таких как K-Fold Cross-Validation (на 5 фолдах) и взвешенность классов. Затем с модели были сняты такие метрики как F1-score, G-Mean (среднее геометрическое) и ROC-AUC.

Результаты и обсуждение

После обучения модели и осуществления её качественного измерения, результаты вычисления были занесены в результирующую таблицу, представленную в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты работы модели

Метрика	Результат
G-Mean	0.9329
ROC-AUC	0.9800
F1-score	0.9427

Результаты работы алгоритма, исходя из полученных во время измерения данных можно сделать следующие выводы:

Во-первых: Такой показатель как среднее геометрическое, в данном случае используемое для оценки бинарной классификации, демонстрирует среднюю для модели случайного леса точность.

Во-вторых: Относительная площадь ROC-AUC указывает на высокую способность модели разделять предоставленные ей классы.

В-третьих: Показатель F1 метрики указывает на высокое сродство исходных и валидационных данных.

В общем можно сделать вывод, что модель, смоделированная с учётом дисбаланса в данных, качественно смогла разделить полученные данные и классифицировать их должным образом, что указывает на важность применения адекватных ситуации метрик и способов обучения.

Выводы

В рамках данного исследования была смоделирована система для классификации спам контента на основе классификатора случайного леса. Было измерено качество модели соответствующим несбалансированной обучающей выборке метрикам.

Результаты исследования показали, насколько важно правильно выбрать и методы исследования, и критерии оценки его результатов. Удачный выбор этих параметров позволил создать эффективную систему распознавания спама, подтвердив тем самым высокую эффективность алгоритма «случайного леса» для решения подобных задач.

В целом данное исследование подтверждает необходимость адекватного подбора сочетания методов эксперимента и его метрик. В свою очередь правильно подобранные условия привели к качественной работе классификатора, что подтверждает эффективность случайного леса в задачах классификации спам контента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюхин, В.В. Информационная беззащитность / В. В. Артюхин // Прикладная информатика. — 2008. — № 6(18). — С. 32–43. — EDN IVYOHD.
2. Резниченко, Л.С. Методы машинного обучения в задаче обеспечения информационной безопасности / Л.С. Резниченко // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 29–30 апреля 2024 года. — Пенза: Автономная некоммерческая научно-методическая организация «Приволжский Дом знаний», 2024. — С. 143–148. — EDN BCVLWW.
3. Матыюк, С.П. Построение глубокой нейронной сети для задачи обнаружения кибератак / С.П. Матыюк // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов (шифр — МКАП 25) : Сборник материалов XXV Международной научно-практической конференции, Москва, 17 ноября 2023 года. — Москва: Печатный цех, 2023. — С. 52–60. — EDN WNRXHM.
4. Ивкина, М.С. Решение задачи классификации на основе случайного леса / М.С. Ивкина // Современные технологии в науке и образовании — СТНО-2018: Сборник трудов международного научно-технического форума: в 11 томах, Рязань, 28 февраля 2018 года / Под общ. ред. О.В. Миловзорова. Том 3. — Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2018. — С. 61–65. — EDN XVSNFR.
5. Spam Email Classification using Random Forest // kaggle.com [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: https://www.kaggle.com/code/ardava/spam-email-classification-using-random-forest (дата обращения: 04.04.2025).
6. Федорова С.А. Разработка спам-фильтра с использованием методов машинного обучения // Время науки — The Times of Science. 2023. №4-1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-spam-filtra-s-ispolzovaniem-metodov-mashinnogo-obucheniya (дата обращения: 10.04.2025).
7. Самигулин Т.Р., Джурабаев А.Э.У. Анализ тональности текста методами машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии. 2021. №1. С. 55–62.
8. Казаков М.А. Алгоритм кластеризации на основе разбиения пространства признаков // Вест. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2022. №2. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-klasterizatsii-na-osnove-razbieniya-prostranstva-priznakov (дата обращения: 01.04.2025).
9. Михайлов И.С., Зеар Аунг, Йе Тху Аунг. Разработка модификации метода опорных векторов для решения задачи классификации с ограничениями на предметную область // Программные продукты и системы. 2020. №3. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modifikatsii-metoda-opornyh-vektorov-dlya-resheniya-zadachi-klassifikatsii-s-ogranicheniyami-na-predmetnuyu-oblast (дата обращения: 01.04.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.07

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКЛАДКИ КЛАВИАТУРЫ ДЛЯ ОДНОРУЧНОЙ ПЕЧАТИ НА ПРИМЕРЕ ПРОФЕССИИ ТРЕЙДЕРА

OPTIMIZATION OF KEYBOARD LAYOUT FOR ONE-HANDED TYPING ON THE EXAMPLE OF TRADER PROFESSION

B. Goryachkin
N. Korotkov

Summary. *Problem Statement*. With the development of information technology, working on a computer has become part of the routine of many specialists in different fields. For example, professional traders, people who trade securities, constantly use a mouse for navigation and sometimes a keyboard to search for necessary financial instruments. Thus, in the process of work these specialists use only one hand for typing on the keyboard. Optimization of keyboard layout for one-handed typing will increase the efficiency of work of these specialists.
Objective. Develop an optimal keyboard layout for one-handed text input in English letters. Develop an algorithm that generates and evaluates layouts according to specified criteria. Analyze the advantages and disadvantages of existing well-known English layouts QWERTY, DVORAC and COLEMAK. Explore the possibilities of constructing criteria for evaluating a layout.
Results. An algorithm for generating the optimal layout was developed. An algorithm for calculating the criteria was developed. The criteria such as «repetition», «vertical interleaving» and «remoteness» were selected as evaluation criteria. As a result of the algorithm, the derived layout is obtained. The evaluations of the derived layout and its favorability with respect to QWERTY, DVORAC and COLEMAK are justified.
Practical significance. Customization of keyboard layout for specific professional tasks allows to increase the efficiency of work of a number of specialists. The proposed algorithm for creating optimal keyboard layouts can be used for various professions that require typing with one hand.

Keywords: keyboard, layout, QWERTY, DVORAC, COLEMAK, one-handed typing, ergonomic analysis.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Коротков Никита Кириллович
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
89096508173@mail.ru

Аннотация. *Постановка проблемы*. С развитием информационных технологий работа на компьютере стала частью рутины многих специалистов разных направлений. Так, например, профессиональные трейдеры — люди, торгующие ценными бумагами, постоянно используют мышку для навигации и иногда — клавиатуру для поиска необходимых финансовых инструментов. Таким образом, в процессе работы эти специалисты используют только одну руку для печатания на клавиатуре. Оптимизация раскладки клавиатуры для одноручной печати позволит повысить эффективность работы данных специалистов.
Цель. Разработать оптимальную раскладку клавиатуры для одноручного ввода текста английскими буквами. Разработать алгоритм, генерирующий и оценивающий раскладки по заданным критериям. Проанализировать преимущества и недостатки существующих известных английских раскладок QWERTY, DVORAC и COLEMAK. Исследовать возможности построения критериев оценки раскладки.
Результаты. Разработан алгоритм генерации оптимальной раскладки. Разработан алгоритм расчета критериев. В качестве оценочных критериев были выбраны такие критерии, как «повторение», «вертикальное чередование» и «удаленность». В результате работы алгоритма получена производная раскладка. Обоснованы оценки производной раскладки и её выгодность относительно QWERTY, DVORAC и COLEMAK.
Практическая значимость. Кастомизация раскладки клавиатуры для специфических профессиональных задач позволяет повысить эффективность работы ряда специалистов. Предложенный алгоритм создания оптимальных раскладок клавиатур может быть использован для различных профессий, которые требуют печатания одной рукой.

Ключевые слова: клавиатура, раскладка, QWERTY, DVORAC, COLEMAK, печать одной рукой, эргономический анализ.

Введение

В современном мире профессии, связанные с работой на компьютере, занимают значительное место в жизни общества. С увеличением объема информации и потребностью в ее обработке, навыки работы с цифровыми технологиями становятся все более актуальными. Среди множества профессий можно выделить те, где работа за компьютером требует высокой продуктивности и сосредоточенности, а также специфического подхода к использованию инструментов. Одним из таких специфических подходов является использование компьютерной мыши при одновременной печати только одной рукой.

Люди, работающие в таких сферах, как IT, графический дизайн, онлайн-маркетинг, а также в секторе обслуживания клиентов, часто сталкиваются с необходимостью оптимизировать свою работу, чтобы успевать выполнять множество задач одновременно. В этом контексте использование клавиатуры одной рукой становится не только методом, но и важным навыком, позволяющим сохранять скорость и эффективность работы. [3]

Ярким примером профессии, где навык печатания одной рукой влияет на эффективность труда, является профессия трейдера — специалиста, занимающегося покупкой и продажей финансовых инструментов на финансовых рынках с целью получения прибыли. Данная профессия требует глубоких знаний в области финансов, аналитических навыков и способности быстро принимать решения. Однако, быстрое принятие решений является не единственным ключом к успеху, кроме того, часто бывает критически важно открыть нужный инструмент в кратчайшие сроки. Таким образом, оптимизация раскладки клавиатуры для наиболее быстрого набора названий финансовых инструментов (далее — тикеры) позволит повысить эффективность работы данных специалистов.

На всех мировых финансовых рынках тикеры записываются в виде сочетания больших латинских букв, например SBER, NASDAQ, BTC и др. Поэтому в данной работе будет рассмотрена оптимизация раскладки клавиатуры с английскими буквами.

Существует несколько популярных раскладок клавиатур с английскими буквами, каждая из которых была разработана с учетом удобства печатания двумя руками. Наиболее известные из них — это QWERTY, DVORAC и COLEMAK. Эти раскладки оптимизированы для того, чтобы минимизировать движения пальцев и повысить скорость набора текста, когда используются обе руки.

Как было обозначено выше, работа трейдера относится к тому типу работ, где основные действия за компьютером выполняются именно с помощью мыши, а набор текста является промежуточной задачей, которую наиболее оптимально было бы выполнять одной рукой. Очевидно, что использование клавиатур QWERTY, DVORAC и COLEMAK в данных условиях снижает эффективность печатания текста, и, как следствие, эффективность работы.

В связи с этим возникает задача создания клавиатуры, адаптированной именно под печатание одной рукой. Такая клавиатура должна учитывать уникальные особенности одноручного ввода. Это означает, что нужно будет переработать существующие раскладки с акцентом на удобный доступ к наиболее часто используемым буквам и символам, сократив при этом движения пальцев и минимизировав их утомление.

В данной работе в качестве датасета для оптимизации расположения клавиш будет использован список тикеров инструментов, торгующихся на Московской бирже [4]. Список состоит из 327 инструментов и приведен в приложениях к данной работе.

Таким образом, в данной работе будет рассмотрен алгоритм создания оптимальной раскладки английской клавиатуры для набора заданного словаря одной рукой.

Разделение клавиатуры на зоны печати

Раскладки клавиатуры QWERTY, DVORAC и COLEMAK предназначены для ввода текста на английском языке и имеют разные подходы к оптимизации ввода.

Классическое разделение клавиатуры на зоны при печатании двумя руками приведено на рис. 1. Такое разделение зон под каждый палец является наиболее эффективным при методе слепой десятипальцевой печати.

Для решения задач, поставленных в этой работе, необходимо предложить аналогичное разделение клавиатуры на зоны при печати одной рукой. Чтобы это сделать необходимо сформулировать критерии оценки качества, а также выбрать оптимальное положение руки на клавиатуре. Решению этих задач посвящены два последующих раздела данной работы.

Критерии оценки качества раскладки

Оценка эффективности раскладки производится исходя из следующих предположений:

1. Кисть имеет некоторые физиологические ограничения, из-за которых подвижность и общая скорость движения разных пальцев отличается. Так, мизинец обладает сниженной подвижностью и скоростью относительно всех пальцев, в то время как указательный палец — повышенной подвижностью.
2. Сокращение движения одного конкретного пальца за счет последовательного использования разных пальцев позволяет повысить скорость печати.
3. Обозначенная задача не требует снижения нагрузки на кисть, поскольку печатание не является постоянной задачей для трейдеров. Таким образом, нет необходимости вводить критерии оценки качества раскладки, связанные с усталостью руки.
4. С другой стороны, для решения поставленной задачи необходима максимальная скорость набора, соответственно, необходимо собрать критерии, характеризующие этот параметр.

Исходя из этих предположений были отобраны следующие критерии оценки эффективности раскладки клавиатуры:

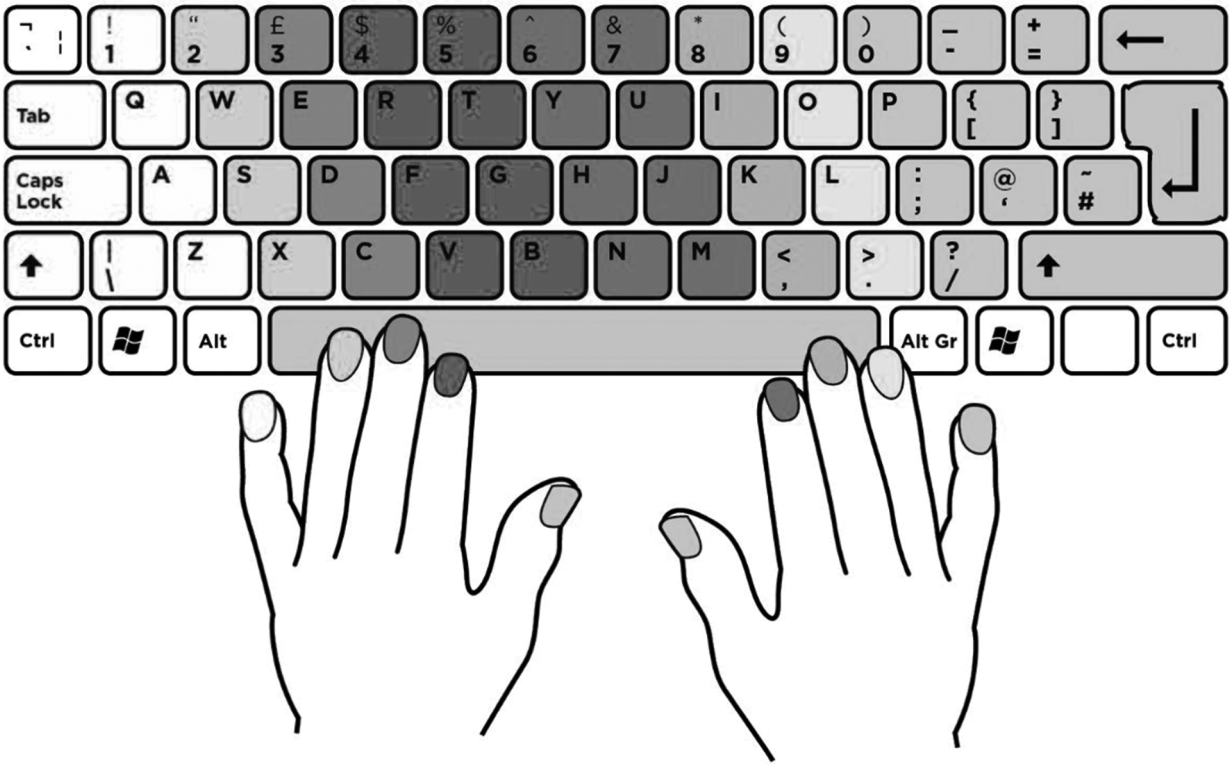


Рис. 1. Разделение клавиатуры на зоны печати слепым десятипальцевым методом

1. Критерий «Повторение»

В случае, если последовательные символы одного слова находятся в зоне печати одного пальца, скорость печати снижается. Последовательные символы необходимо разнести в зоны печати разных пальцев, а значение этого критерия необходимо минимизировать.[6]

2. Критерий «Вертикальное чередование»

Даже если символы относятся к зонам печати разных пальцев, потеря скорости печати может происходить из-за переноса кисти от верхней к нижней части клавиатуры. Соответственно, минимизировав количество таких движений, достигается повышение средний скорости печатания. Критерий «Вертикальное чередование» также необходимо минимизировать.

3. Критерий «Удаленность»

Как было упомянуто выше, пальцы рук обладают разной подвижностью и скоростью. Кроме того, при разделении клавиатуры на зоны различные пальцы получают разное количество клавиш. Таким образом, доступность разных клавиш на клавиатуре может заметно различаться. Особенно это актуально для случаев одноручного ввода, когда пользователь совершает также движения кистью к краям клавиатуры.

Для оценки сложности нажатия на клавишу будет предложена матрица весов. Алгоритм расчета весов и оценка наиболее эффективного расположения руки на клавиатуре приведены в следующем разделе.

Определение оптимального положения руки на клавиатуре

При создании разделения клавиатуры под одну руку необходимо учесть следующие факторы:

1. Очевидно, что одна рука не может покрыть всю площадь клавиатуры без движения кисти. На каждой предложенной схеме будут выделены зоны (обозначенные розовым цветом), печатание в которых подразумевает перенос кисти над клавиатурой. В розовые зоны необходимо выносить наименее частотные символы.
2. Разные пальцы имеют разную подвижность и эффективность. Таким образом, для мизинца в силу его сниженной подвижности выделяется небольшая зона с наименее популярными символами, в то время как указательному пальцу — бóльшая зона с наиболее популярными символами.
3. Буква Р, расположенная на клавиатуре QWERTY в правом верхнем углу, перемещена на место символа «<» для снижения количества перемещений кисти.
4. Отметим, что предложенное расположение зон ориентировано на людей, держащих компьютерную мышь в правой руке. В случаях использования мыши левой рукой, а клавиатуры — правой соответственно, подразумевается зеркальное расположение зон печати.

Поскольку основная задача оптимизации клавиатуры в данной работе — достижение максимальной скорости печатания, а одна рука не может перекрыть всю площадь клавиатуры, необходимо рассмотреть все возможные варианты расположения руки и оценить их эффективность с помощью критерия «Удаленность».

На рис. 2–6 приведены все возможные варианты расположения руки над клавиатурой на примере клавиатуры QWERTY, где белые клавиши соответствуют мизинцу, светло-серые — безымянному пальцу, черные — среднему, серые — указательному, а светло-серые — зона, требующая переноса кисти.

Далее необходимо провести оценку всех полученных раскладок с помощью формирования матриц весов. В качестве ключевого параметра выбрано время, затрачиваемое на нажатие клавиши. В качестве значения ве-

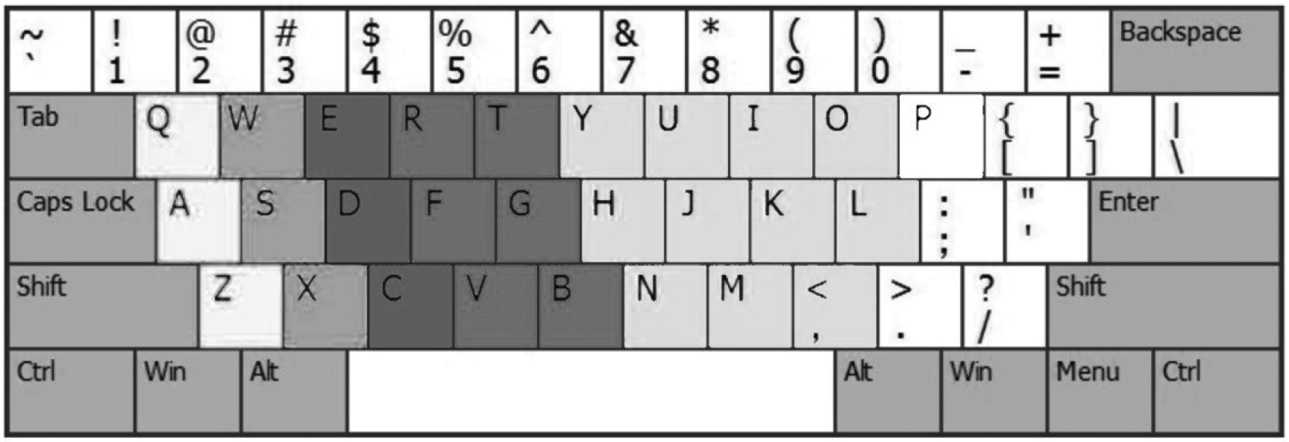


Рис. 2. Положение №1 руки на клавиатуре

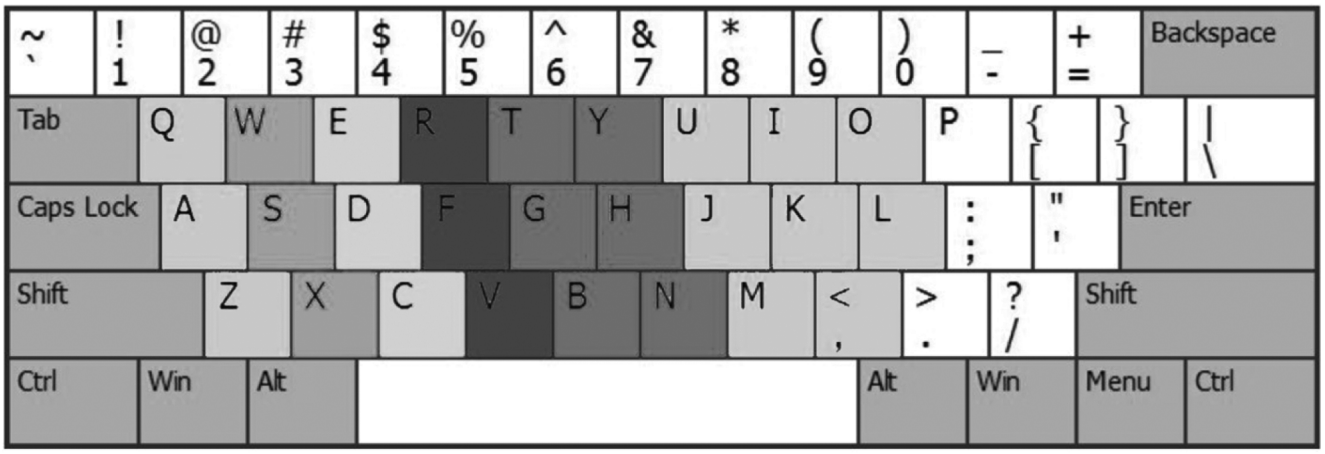


Рис. 3. Положение №2 руки на клавиатуре

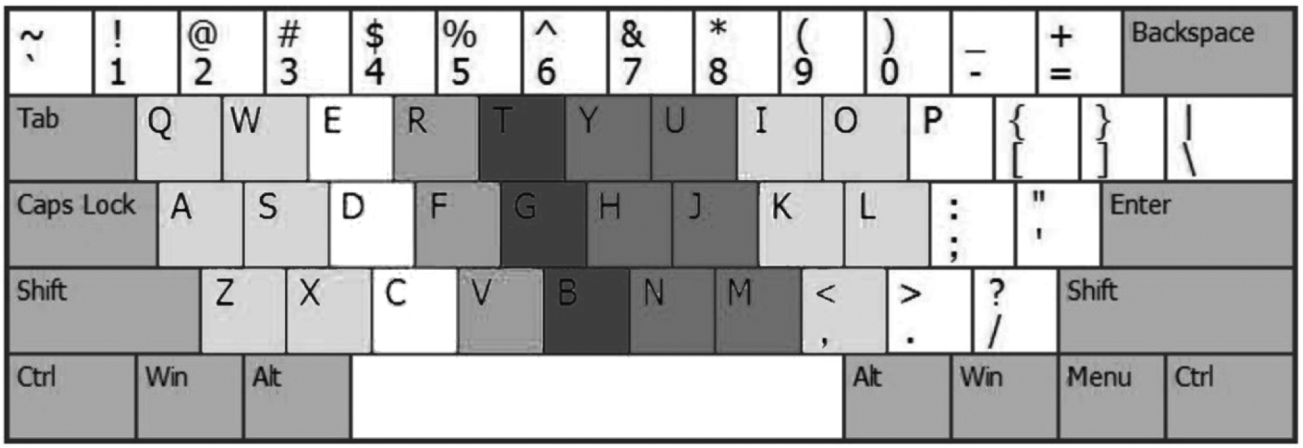


Рис. 4. Положение №3 руки на клавиатуре

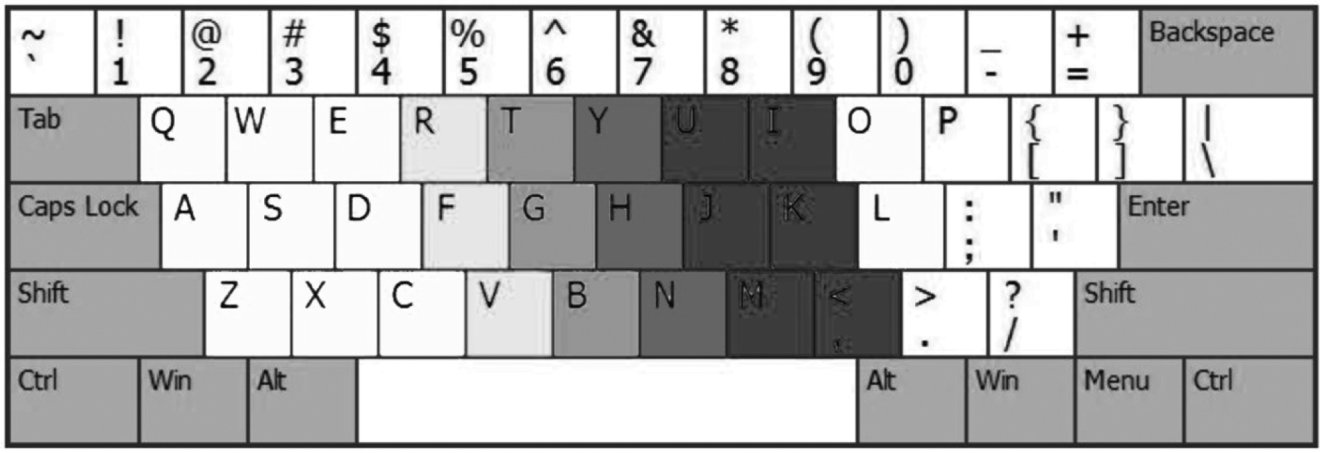


Рис. 5. Положение №4 руки на клавиатуре

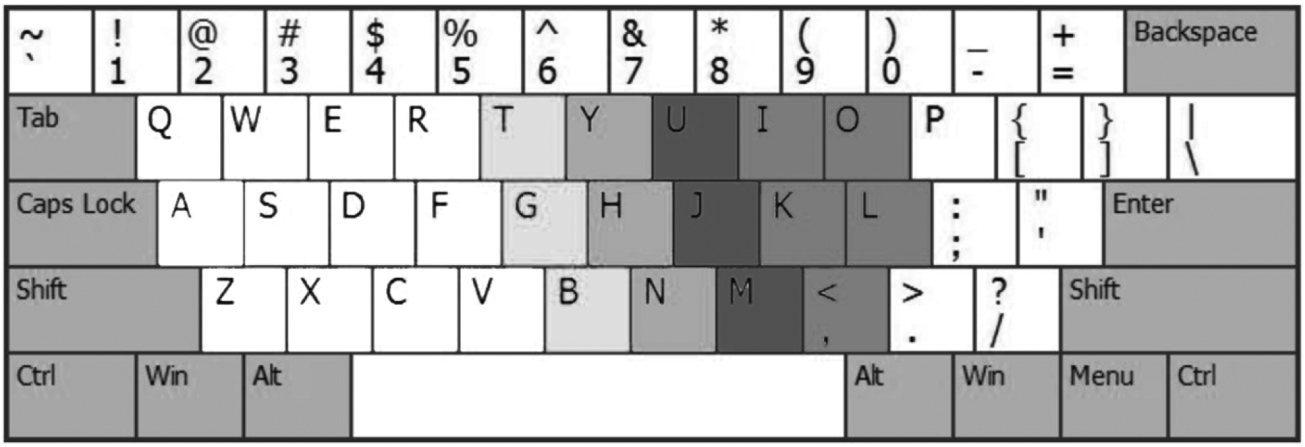


Рис. 6. Положение №5 руки на клавиатуре

сов выбраны степени двойки. Значения присваиваются клавишам по ряду следующих принципов:

Учтена длина пальцев. Так, указательный палец имеет наибольшую подвижность, средний палец — наибольшую длину, безымянный палец — среднюю длину и среднюю подвижность, а мизинец — наименьшую длину и подвижность. Для учета этих особенностей введен дополнительный вес для клавиш мизинца. Учтены временные затраты на перенос пальца по вертикали. Так нажатие на средний ряд клавиатуры имеет наименьший вес, на верхний ряд — немного больше, за исключением мизинца, и нижний ряд — самые большие веса.

Учтены затраты на перенос кисти над клавиатурой. Так, смещение кисти на один столбец в одну из сторон также привносит дополнительный вес.

Таким образом были получены следующие матрицы:

Таблица 1.

Матрица весов для положения № 1

16	1	0	1	8	16	32	64	128
4	0	0	0	0	4	8	16	32
8	2	4	2	8	16	32	64	

Таблица 2.

Матрица весов для положения № 2

32	16	1	0	1	8	16	32	64
8	4	0	0	0	0	4	8	16
16	8	2	4	2	8	16	32	

Таблица 3.

Матрица весов для положения № 3

64	32	16	1	0	1	8	16	32
16	8	4	0	0	0	0	4	8
32	16	8	2	4	2	8	16	

Таблица 4.

Матрица весов для положения № 4

128	64	32	16	1	0	1	8	16
32	16	8	4	0	0	0	0	4
64	32	16	8	2	4	2	8	

Таблица 5.

Матрица весов для положения № 5

256	128	64	32	16	1	0	1	8
64	32	16	8	4	0	0	0	0
128	64	32	16	8	2	4	2	

Для определения оптимального расположения руки просуммируем веса из таблиц:

Таблица 6.

Результат сравнения матриц весов

Положение №1	Положение №2	Положение №3	Положение №4	Положение №5
466	298	298	466	886

Итого, положение руки №2 принимаем как оптимальное и используем в дальнейшей работе для расчета критериев и создания оптимальной раскладки. Сравнение всех положений рук приведено на рис. 7.

Оценка эффективности разных клавиатур для поставленной задачи

Для оценки эффективности будут использованы критерии, выделенные в предыдущем разделе.

1. Повторение.

На основе словаря производится расчет суммы переходов внутри каждой зоны. Отношение полученной суммы к общему количеству переходов будет значением критерия.

2. Вертикальное чередование

На основе словаря производится расчет количества переходов, при которых необходимо перемещать пальцы с верхней строки клавиатуры на нижнее. Значением критерия является отношение полученного количества к общему количеству переходов.

3. Удаленность

На основе словаря производится создание матрицы нажатий. Значения матрицы нажатий умножаются на соответствующие значения из матрицы весов, после чего получают сумму произведений. Значением критерия является отношение суммы произведений к общему количеству переходов.

Наиболее эффективной клавиатурой будет считаться та, у которой сумма параметров будет минимальной.

Для оценки клавиатур был разработан алгоритм, рассчитывающий необходимые критерии по заданному расположению клавиш. Результаты работы алгоритма для стандартных клавиатур приведены на рис. 8–10.

Далее, на основе всего вышесказанного, генерируем новую раскладку клавиатуры. Оптимальной считается раскладка, которая минимизирует значения всех приведенных критериев, учитывая матрицу весов нажатий, приведенную выше.

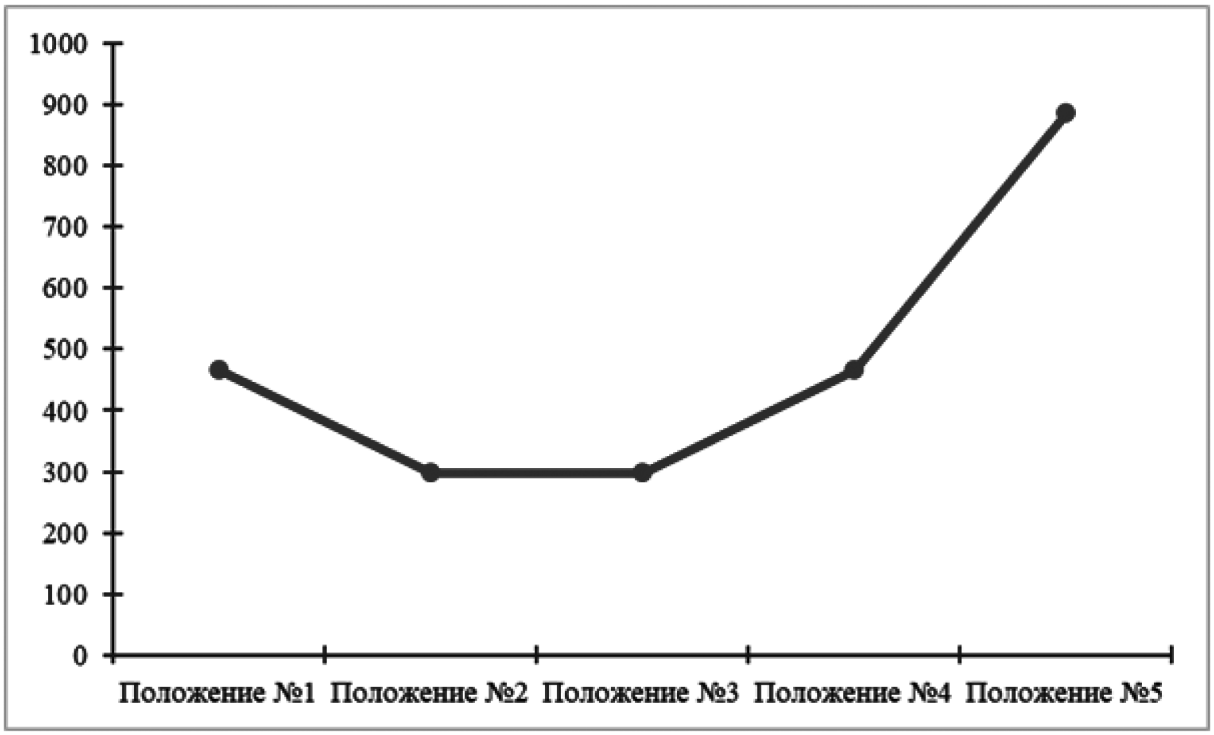


Рис. 7. Сравнение положений руки на клавиатуре

```
Введите текст: afks aflt alrs banep chmf fees gazp gmkn hydr irao lkoh

Оптимизированная раскладка клавиатуры:
q w e r t y u i o p
a s d f g h j k l
z x c v b n m

Статистика:
Общее время для печати всех слов: 3602.41
Среднее время для печати слова: 11.02
Общее количество перемещений: 1033
Соотношение переходов с верхней строки на нижнюю и наоборот: 0.19
Соотношение переходов в одном столбце подряд: 0.06
```

Рис. 8. Оценка эффективности клавиатуры QWERTY по заданным критериям

```
Введите текст: afks aflt alrs banep chmf fees gazp gmkn hydr irao lkoh

Оптимизированная раскладка клавиатуры:
- - - p y f g c r l
a o e u i d h t n s
- q j k x b m w v z

Статистика:
Общее время для печати всех слов: 3919.32
Среднее время для печати слова: 11.99
Общее количество перемещений: 1033
Соотношение переходов с верхней строки на нижнюю и наоборот: 0.17
Соотношение переходов в одном столбце подряд: 0.07
```

Рис. 9. Оценка эффективности клавиатуры Dvorac по заданным критериям

```
Введите текст: afks aflt alrs banep chmf fees gazp gmkn hydr irao lkoh

Оптимизированная раскладка клавиатуры:
q w f p g j l u y
a r s t d h n e i o
z x c v b k m

Статистика:
Общее время для печати всех слов: 3303.28
Среднее время для печати слова: 10.10
Общее количество перемещений: 1033
Соотношение переходов с верхней строки на нижнюю и наоборот: 0.11
Соотношение переходов в одном столбце подряд: 0.07
```

Рис. 10. Оценка эффективности клавиатуры Colemak по заданным критериям

```
Введите текст: afks aflt alrs banep chmf fees gazp gmkn hydr irao lkoh

Оптимизированная раскладка клавиатуры:
z n l r k u e x q
w y i g o d a v f
b h j m p t s c

Статистика:
Общее время для печати всех слов: 3198.74
Среднее время для печати слова: 9.78
Общее количество перемещений: 1033
Соотношение переходов с верхней строки на нижнюю и наоборот: 0.16
Соотношение переходов в одном столбце подряд: 0.04
```

Рис. 11. Оценка эффективности сгенерированной клавиатуры по заданным критериям

Полученная раскладка и ее оценки приведены на рис. 11.

Для сравнения полученных результатов примем раскладку QWERTY в качестве эталонной в виду ее широкой распространенности. Результаты сравнения всех раскладок приведены в таблице 7.

Таким образом была получена средняя оценка всех рассмотренных раскладок. Сгенерированная в данной работе клавиатура показывает хороший результат относительно стандартных раскладок, однако не отличается от них значительно. Сравнение сумм уравновешенных значений критериев для всех рассмотренных раскладок клавиатур приведены на рис. 12.

Выводы

В данной работе были рассмотрены подходы к оптимизации печатания одной рукой. В качестве модели была выбрана работа трейдера, а в качестве датасета (словаря) — набор названий финансовых инструментов Московской биржи.

В результате было найдено оптимальное расположение руки на клавиатуре, при котором сумма значений весов клавиш является наименьшей.

Также были оценены стандартные раскладки QWERTY, DVORAC и COLEMAK по критериям «Удаленность», «Повторение» и «Вертикальное чередование». Для решения поставленной задачи наиболее подходящей является раскладка COLEMAK, наименее подходящей — DVORAC.

С помощью алгоритма была сгенерирована новая раскладка, минимизирующая заданные критерии. Значение критериев в данной раскладке оказалось немного лучше, чем в COLEMAK, однако, разница между результатами не слишком велика.

Данный алгоритм не зависит от языка и может быть адаптирован под различные профессии, где присутствует необходимость печатания одной рукой.

Таблица 7.

Результаты сравнения раскладок

Критерий	QWERTY		Dvorac		Colemak		Сгенерированная клавиатура	
	значение критерия	уравновешенное значение	значение критерия	уравновешенное значение	значение критерия	уравновешенное значение	значение критерия	уравновешенное значение
Удаленность	11,02	1	11,99	1,09	10,1	0,92	9,78	0,89
Вертикальное чередование	0,19	1	0,17	0,89	0,11	0,58	0,16	0,84
Повторение	0,06	1	0,07	1,17	0,07	1,17	0,04	0,67
Сумма		3		3,15		2,66		2,4

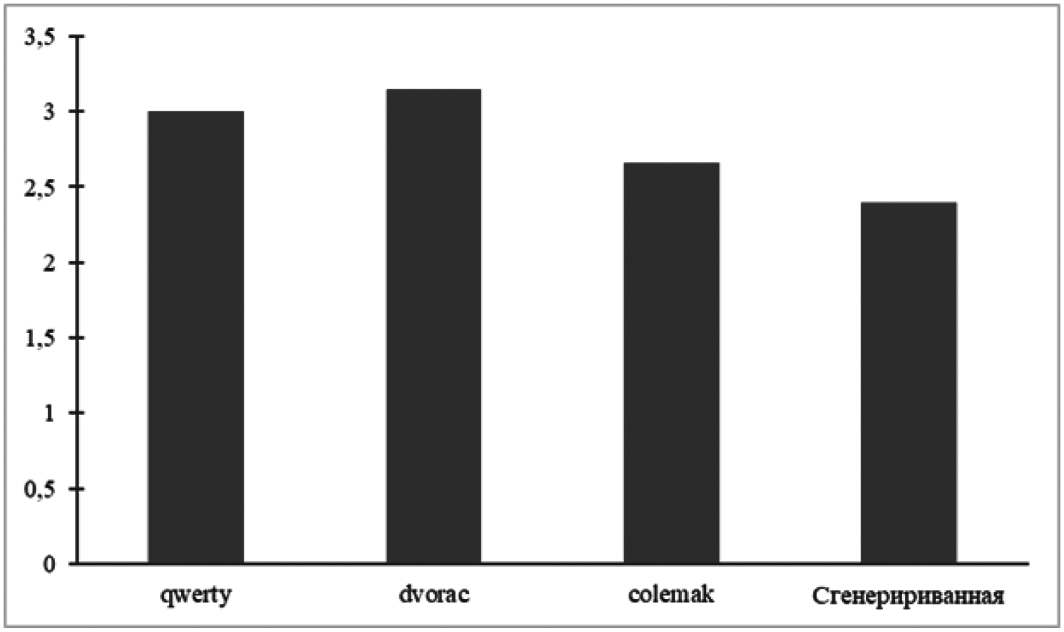


Рис. 12. Сравнение сумм уравновешенных значений критериев

ЛИТЕРАТУРА

1. QWERTY // Википедия. 2024.
2. Dvorak keyboard layout // Wikipedia. 2025.
3. One-Handed Touch Typing on a QWERTY keyboard: Human–Computer Interaction: Vol 11, No 1 [Электронный ресурс]. URL: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1101_1 (дата обращения: 06.01.2025).
4. Московская Биржа — Список ценных бумаг // Московская Биржа [Электронный ресурс]. URL: https://www.moex.com (дата обращения: 06.01.2025).
5. Colemak [Электронный ресурс]. URL: https://colemak.com/ (дата обращения: 07.01.2025).
6. Алгоритмы создания производных эргономичных раскладок клавиатуры [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-sozdaniya-proizvodnyh-ergonomichnyh-raskladok-klaviatury/viewer (дата обращения: 03.01.2025).

DOI 10.37882/2223–2966.2025.04-2.08

ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ОПЕРАЦИИ НАД МЕТАГРАФАМИ

EVALUATION OF THE COMPLEXITY OF ALGORITHMS IMPLEMENTING OPERATIONS ON METAGRAPHS

B. Goryachkin
Yu. Gapanyuk
S. Vinnikov

Summary. *Problem statement*. Currently, algorithms for performing operations on metagraphs have not been described or implemented, which limits the possibilities for processing such structures.
Goal. Provide an opportunity to work with metagraphs on a mathematical and algorithmic level.
Results. An alternative description of the metagraphic model has been considered, and its significant differences from the classical model have been indicated. Mathematical operations on metagraphs have been described. Algorithms that implement these operations have been given. A theoretical assessment of the complexity of such algorithms has been given. A program that implements these algorithms has been written, and its operability has been tested. Experiments with calculations on metagraphs of different sizes have been carried out. A comparison of theoretical and experimental data has been carried out, and the theoretical assessment has been confirmed.
Practical significance. The transition from the classical description of metagraphs to the new one made it possible to conveniently and concisely describe operations on metagraphs, and also simplified work with this structure. The description of operations on metagraphs and the implementation of algorithms that allow such operations have expanded the possibilities for using the metagraphic data model.

Keywords: metagraphs, metagraph data model, algorithms, asymptotic complexity estimation, discrete mathematics.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Гапанюк Юрий Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
gapyu@bmstu.ru
Винников Степан Сергеевич
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
acesolo@mail.ru

Аннотация. *Постановка проблемы*. На сегодняшний день не описаны и не реализованы алгоритмы для проведения операций над метаграфами, что ограничивает возможности для обработки таких структур.
Цель. Дать возможность работать с метаграфами на математическом и алгоритмическом уровне.
Результаты. Рассмотрено альтернативное описание метаграфовой модели, указаны её существенные отличия от классической. Описаны математические операции над метаграфами. Приведены алгоритмы, реализующие данные операции. Дана теоретическая оценка сложности таких алгоритмов. Написана программа, реализующая данные алгоритмы, проверена её работоспособность. Проведены эксперименты с расчётами над метаграфами разных размеров. Проведено сравнение теоретических и экспериментальных данных, подтверждена теоретическая оценка.
Практическая значимость. Переход от классического описания метаграфов к новому позволил удобно и лаконично описывать операции над метаграфами, а также упростил работу с данной структурой. Описание операций над метаграфами и реализация алгоритмов, позволяющих проводить такие операции, расширило возможности для использования метаграфовой модели данных.

Ключевые слова: метаграфы, метаграфовая модель данных, алгоритмы, асимптотическая оценка сложности, дискретная математика.

Введение

В настоящее время все более востребованными становятся системы интенсивной обработки графов. Интенсивность обработки графов выражается как в большом объеме обрабатываемой информации (большие графы), так и в необходимости её потоковой обработки.

В то же время для задач обработки и обогащения графов все чаще используется не модель плоского графа, а модели, основанная на сложных графах или сложных сетях. В [1] отмечается, что термин «сложная сеть» обычно используется для обозначения реальной исследуемой системы, в то время как термин «сложный граф» обычно используется для обозначения математической модели такой системы. Сложными называются графы, в которых используются сложные описания вершин, ребер и/или их расположения. Часто в таких моделях используется не плоский, а пространственный вариант расположения вершин и ребер. Именно такой подход может быть наиболее полезен при описании сложных моделей данных и знаний. На сегодняшний день наиболее широко известны три такие модели: гиперграфы [2], гиперсети [3] и метаграфы.

В данной статье мы будем использовать модель метаграфа, которая будет рассмотрена далее.

Формальное определение метаграфа

Согласно [4][5], метаграфы, и их внутренние структуры описываются следующим образом:

Метаграф — это кортеж $MG = (V, MV, E)$, где MG — метаграф; V — множество вершин метаграфа; MV — множество метавершин метаграфа; E — множество рёбер метаграфа.

Ребро метаграфа — это кортеж $e_i = (id, (id_{begin}, id_{end}))$, где e_i — ребро, принадлежащее множеству E; id — идентификатор ребра; id_{begin} — идентификатор вершины (метавершины), из которой ребро исходит; id_{begin} — идентификатор вершины (метавершины), в которую ребро входит.

Фрагмент метаграфа — это множество $MG_f = \{ev_j\}, ev_j \in (V \cup MV \cup E)$, где MG_f — фрагмент метаграфа; ev_i — элемент фрагмента метаграфа. Элемент фрагмента метаграфа — это объект, принадлежащий результату объединения множеств вершин, метавершин и рёбер метаграфа.

Метавершина — это кортеж $mv_i = (id, MG_f), mv_i \in MV$, где mv_i — метавершина, принадлежащая множеству метавершин MV метаграфа; id — идентификатор метавершины; MG_f — вложенный в метавершину фрагмент метаграфа.

По сути, метаграф — это граф, вершины которого находятся в некоторой произвольной иерархической связи. Произвольность такой связи заключается в том, что вершина или мета-вершина может быть вложена в несколько метавершин, в отличие, например, от древовидных структур.

Кроме того, можно заметить, что ребра метаграфа могут соединять любые метавершины и вершины, независимо от их положения в иерархии метаграфа. Таким образом, метаграф представляет собой обобщенный иерархический граф.

Альтернативное определение метаграфа

Классическое определение метаграфов несколько затрудняет работу с данной структурой. В частности, трудности возникают при описании операций над метаграфами, их хранении, обработке и эмбеддинге.

Это происходит по следующим причинам:

1. Метавершины содержат слишком много информации. Такая информация сама по себе иерархична, глубина вложенности метавершин может быть бесконечно большой.
2. Иерархическая структура метаграфа неизвестна заранее. Чтобы определить ее, необходимо просмотреть все метавершины, выполнить поиск в глубину и в какой-либо форме сохранить информацию об иерархии метаграфа.

Данные проблемы побуждают нас перейти к другому, улучшенному описанию структуры метаграфа. Для такого описания предлагаются следующие действия:

1. Удаление свойства иерархической вложенности из метавершин. Метавершины не должны содержать информацию о том, что в них вложено. Таким образом, метавершины преобразуются в обычные вершины.
2. Поместить описание иерархии метаграфа в отдельное множество рёбер, которое будет описывать вложенность метаграфа.

Применяя указанные действия, метаграф может быть описан следующим образом:

Метаграф — это кортеж $MG = (V, E_1, E_2)$, где MG — метаграф; V — множество вершин метаграфа; E_1 — множество рёбер метаграфа; E_2 — множество дуг, характеризующее иерархию метаграфа.

Опишем метаграф, представленный на рисунке 1, с помощью данного выше определения. Данный метаграф — это кортеж $mg_1 = (V, E_1, E_2)$, где

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, mv_1, mv_2, mv_3\}$$

$$E_1 = \{e_1, (v_1, v_2), e_2, (v_3, v_2), e_3, (v_1, v_3),$$
$$e_4, (v_4, v_2), e_5, (v_3, v_5), e_6, (v_4, v_5),$$
$$e_7, (mv_1, mv_2), e_8, (v_2, mv_2)\}$$

$$E_2 = \{mv_1, v_1, mv_1, v_2, mv_1, v_3,$$
$$mv_2, v_4, mv_2, v_5, mv_3, v_2,$$
$$mv_3, v_3, mv_3, mv_2\}$$

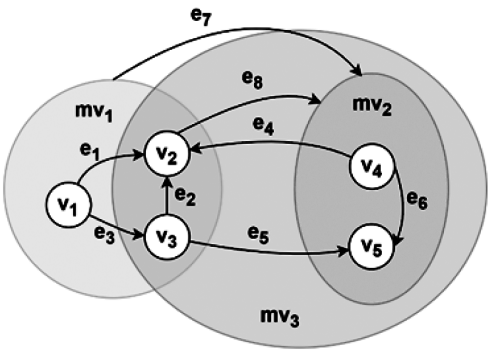


Рис. 1. Пример метаграфа

Опишем метаграф, представленный на рисунке 1, с помощью данного выше определения. Для наглядности изобразим метаграф на рисунке 1 в виде двух графов — светло-серого и серого. Эти графы представлены на рисунке 2.

Множество вершин каждого из этих графов является множеством вершин и метавершин исходного метаграфа. Множество ребер первого (светло-серого) графа описывает реберные связи вершин (метавершин) метаграфа. Если ребро соединяет две вершины в красном графе, то эти вершины (метавершины) соединяются ребром в метаграфе, при этом направление ребра сохраняется.

Набор ребер второго (серого) графа описывает вложенность вершин (метавершин) метаграфа друг в друга. Если ребро соединяет две вершины в сером графе, то вершина (метавершина) метаграфа, которая находится в конце этого ребра, расположена внутри вершины (метавершины), из которой исходит это ребро.

Отметим, что приведенное выше описание метаграфов не ограничивается двумя наборами ребер. Мы можем описать метаграф с произвольным количеством наборов ребер и даже предоставить метаграф с набором гиперрёбер и прочих математических структур.

В таком случае, метаграф может быть описан следующим образом:

Метаграф — это кортеж $MG = \left(V, \{E_i\}\right)$, где MG — метаграф; V — множество вершин метаграфа; E_i — i-е множество рёбер метаграфа.

В сущности, каждое из таких множеств рёбер представляет из себя некоторую “надстройку” над исходным множеством элементов V. Для каждого из таких множеств мы можем описать собственные свойства, ограничения и операции.

Операции над метаграфами

Определим базовые операции над метаграфами: добавление вершины; удаление вершины; добавление ребра; удаление ребра; вложение одной вершины в другую; вытягивание одной вершины из другой; объединение двух вершин.

Альтернативное определение метаграфа позволяет достаточно просто описать более сложные операции над метаграфами:

Объединение метаграфов mg_1 и mg_2 — это метаграф mg_3, заданный следующим образом:

$$mg_3 = mg_1 \cup mg_2 = X_1 \cup X_2, E_{1,mg_1} \cup_1 E_{1,mg_2}, E_{2,mg_1} \cup_2 E_{2,mg_2}, \ldots,$$

для $\forall mg_1, mg_2 \in MG$, где E_{i,mg_1}, E_{i,mg_2} — это i-е множества рёбер первого и второго метаграфов; $\cup_i$ — это операция объединения, определенная на i-м множестве рёбер.

Пересечение метаграфов mg_1 и mg_2 — это метаграф mg_3, заданный следующим образом:

$$mg_3 = mg_1 \cap mg_2 = X_1 \cap X_2, E_{1,mg_1} \cap_1 E_{1,mg_2}, E_{2,mg_1} \cap_2 E_{2,mg_2}, \ldots,$$

для $\forall mg_1, mg_2 \in MG$, где E_{i,mg_1}, E_{i,mg_2} — это i-е множества рёбер первого и второго метаграфов; $\bigcap_i$ — это операция пересечения, определенная на i-м множестве рёбер.

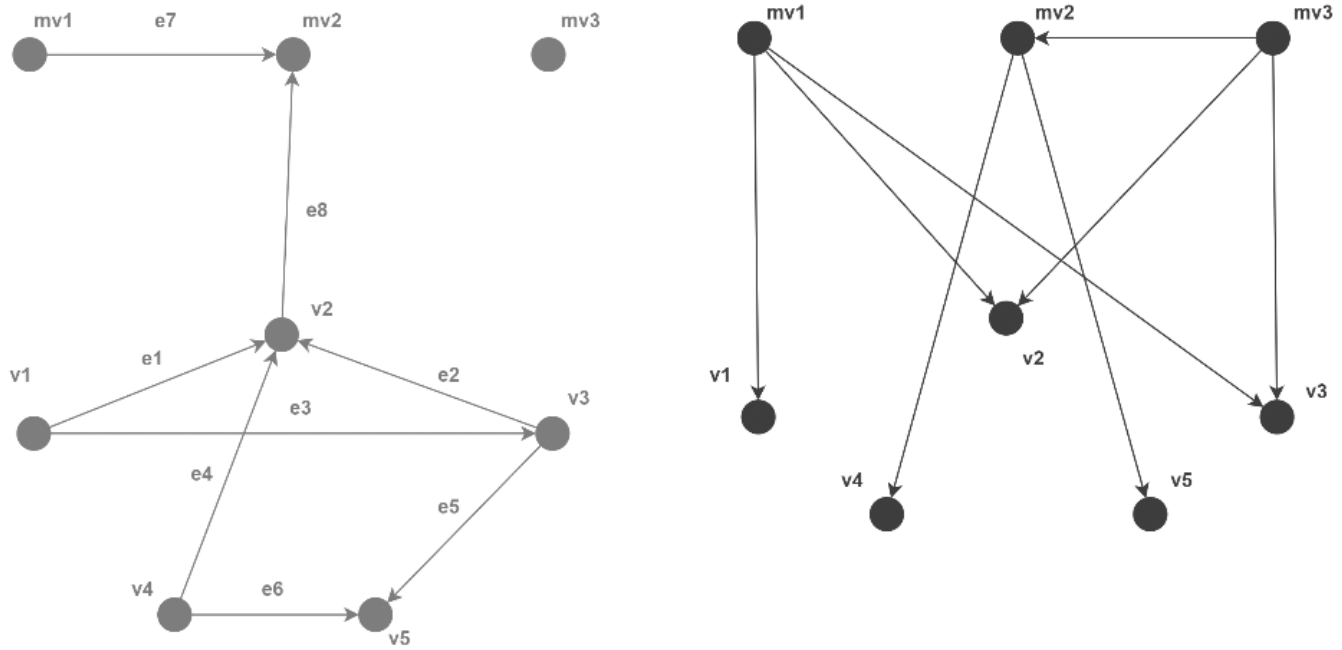


Рис. 2. Светло-серый и серый графы

Другие операции над метаграфами, включая разность, симметричную разность и т.д., определяются аналогичным образом.

Важно отметить, что при использовании операции вложения одной вершины в другую, может возникнуть конфликтная ситуация. Это происходит, если есть вершина v_2, которая вложена в вершину v_1, и мы пытаемся вложить v_1 в вершину v_2, что невозможно. Такая ситуация может возникнуть при объединении метаграфов, поэтому в алгоритме объединения метаграфов, описанном далее мы будем игнорировать применение применения операции вложения при конфликтной ситуации.

Алгоритмы объединения и пересечения

Опишем алгоритмы объединения и пересечения метаграфов. Алгоритмы представлены на рисунках 3 и 4.

В таблице 1 перечислим сложные операции для каждого из алгоритмов и укажем их асимптотическую временную вычислительную сложность от размера входных данных. На основе этих данных мы сможем дать оценку асимптотической временной сложности каждого из алгоритмов. Асимптотическая временная сложность обозначается как $O(n)$, где n — объём входных данных.

В качестве объема входных данных мы берем число вершин, получившихся в результате объединения или пересечения V_1 и V_2 то есть, величину $|V|$. При этом, важно отметить, что при подсчете асимптотической временной сложности выполняются следующие условия:

1. Не учитываются никакие константы, кроме тех, которые есть в показателе степени $|V|$.
2. Если в формуле асимптотической сложности есть некоторая сумма, мы учитываем только самое быстрорастущее слагаемое.

И того, учитывая, что самым быстрорастущим слагаемым формулы асимптотической сложности обоих алгоритмов является $|V|^3$, мы оцениваем вычислительную сложность обоих алгоритмов как $O(|V|^3)$.

Эксперименты

Приведем пример работы алгоритма и проверим его корректность. Пусть есть метаграфы, представленные на рисунках 5 и 6. Теоретические результаты пересече-

Алгоритм 1 Алгоритм объединения метаграфов

Вход метаграфы $mv_1 = \{V_1, E_{1,1}, E_{1,2}\}$ и $mv_2 = \{V_2, E_{2,1}, E_{2,2}\}$
Выход метаграф $mv = \{V, E_1, E_2\}$

$V = V_1 \cup V_2$
$E_1 = E_{1,1} \cup E_{2,1}$
$E^*_{1,2}$ – это транзитивное замыкание $E_{1,2}$ на V
$E^*_{2,2}$ – это транзитивное замыкание $E_{2,2}$ на V
Создать матрицы смежности M^1 и M^2 размера $|V|$ на $|V|$, характеризующие $E^*_{1,2}$ и $E^*_{2,2}$, i-ые строки M^1 и M^2 соответствует одной вершине $v_i \in V$, j-ые колонки соответствуют $v_j \in V$.
Создать матрицу $M = [m_{i,j} = m^1_{i,j} \vee m^2_{i,j}], 1 \le i, j \le |V|$, где $m^1_{i,j} \in M_1, m^2_{i,j} \in M_2$.
Отфильтровать матрицу M:
for $i = 1$ to $|V| - 1$ **do**
    for $j =$ i+1 to $|V|$ **do**
        if $m_{i,j} = m_{j,i} = 1$ **then**
            if $m_{i,j} = m^1_{j,i} = 1$ **then**
                $m_{j,i} = 0$
            else
                $m_{i,j} = 0$
            end if
        end if
    end for
end for
E^*_2 – это множество рёбер, представимых матрицей смежности M.
E_2 – это транзитивное сокращение E^*_2.
вернуть $mv = (V, E_1, E_2)$

Рис. 3. Алгоритм объединения метаграфов

Алгоритм 2 Алгоритм пересечения метаграфов

Input метаграфы $mv_1 = \{V_1, E_{1,1}, E_{1,2}\}$ и $mv_2 = \{V_2, E_{2,1}, E_{2,2}\}$
Output метаграф $mv = \{V, E_1, E_2\}$

1: $V = V_1 \cap V_2$
2: $E_1 = E_{1,1} \cap E_{2,1}$
3: $E^*_{1,2}$ – это транзитивное замыкание $E_{1,2}$ на V
4: $E^*_{2,2}$ – это транзитивное замыкание $E_{2,2}$ на V
5: Создать матрицы смежности M^1 и M^2 размера $|V|$ на $|V|$, характеризующие $E^*_{1,2}$ и $E^*_{2,2}$, i-ые строки M^1 и M^2 соответствуют одной вершине $v_i \in V$, j-ые колонки соответствуют $v_j \in V$.
6: Создать матрицу $M = [m_{i,j} = m^1_{i,j} \wedge m^2_{i,j}], 1 \leq i, j \leq |V|$, где $m^1_{i,j} \in M_1, m^2_{i,j} \in M_2$.
7: E^*_2 – множестве рёбер, представимых матрицей смежности M.
8: E_2 – это транзитивное сокращение E^*_2.
9: вернуть $mv = (V, E_1, E_2)$

Рис. 4. Алгоритм пересечения метаграфов

Таблица 1.

Оценка временной сложности частей алгоритмов

Объединение метаграфов		Пересечение метаграфов	
Операция	Временная сложность	Операция	Временная сложность
Объединение множеств V_1 и V_2	$O(\|V_1\| + \|V_2) = O(\|V\|)$	Пересечение множеств V_1 и V_2	$O(\|V_1\| + \|V_2) = O(\|V\|)$
Объединение множеств $E_{1,1}$ и $E_{2,1}$	$O(\|V\|^2 + \|V\|^2) = O(\|V\|^2)$	Пересечение множеств $E_{1,1}$ и $E_{2,1}$	$O(\|V\|^2 + \|V\|^2) = O(\|V\|^2)$
Построение транзитивных замыканий $E^*_{1,2}$ и $E^*_{2,2}$	$O(\|V\|^3 + \|V\|^3) = O(\|V\|^3)$	Построение транзитивных замыканий $E^*_{1,2}$ и $E^*_{2,2}$	$O(\|V\|^3 + \|V\|^3) = O(\|V\|^3)$
Заполнение матриц M^1 и M^2	$O(\|V\|^2 + \|V\|^2) = O(\|V\|^2)$	Заполнение матриц M^1 и M^2	$O(\|V\|^2 + \|V\|^2) = O(\|V\|^2)$
Заполнение матрицы M	$O(\|V\|^2)$	Заполнение матрицы M	$O(\|V\|^2)$
Фильтрация матрицы M	$O(\|V\|^2)$		
Построение транзитивного сокращения E^*_2	$O(\|V\|^3 + \|V\|^3) = O(\|V\|^3)$	Построение транзитивного сокращения E^*_2	$O(\|V\|^3 + \|V\|^3) = O(\|V\|^3)$

ния и объединения данных метаграфов представлены на рисунке 7 и 8. На рисунках 9 и 10 представлены результат работы программы при выполнении операции объединения и пересечения соответственно. Алгоритмы были реализованы на языке программирования golang.

Как можно видеть, множество рёбер красного графа, рассчитанное теоретически и практически, совпадают для обоих операций, аналогичный вывод можно сделать и для рёбер синего графа. Следовательно, результаты выполнения операций над метаграфами, рассчитанные теоретически и с помощью программы, идентичны, поэтому можно сделать вывод о том, что программа работает корректно.

Проведём анализ времени выполнения программы, а также количества операций, затрачиваемых на вычисление результата. Будем выполнять алгоритмы объединения и пересечения метаграфов для метаграфов различных размерностей. При этом, будем засекать время выполнения программы и считать число выполняемых операций. На основе этих данных мы построим таблицу 2, а также графики, представленные на рисунках 10 и 11.

На графиках представлены результаты выполнения алгоритма — временная сложность.

На приведенных графиках черными точками обозначаются результаты измерений, а серым цветом обозна-

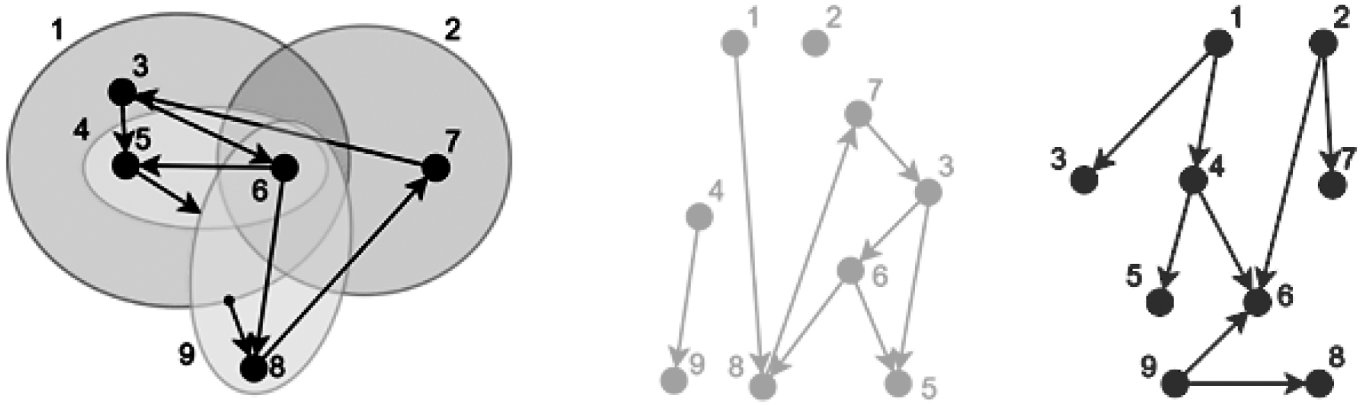


Рис. 5. Первый метаграф-операнд

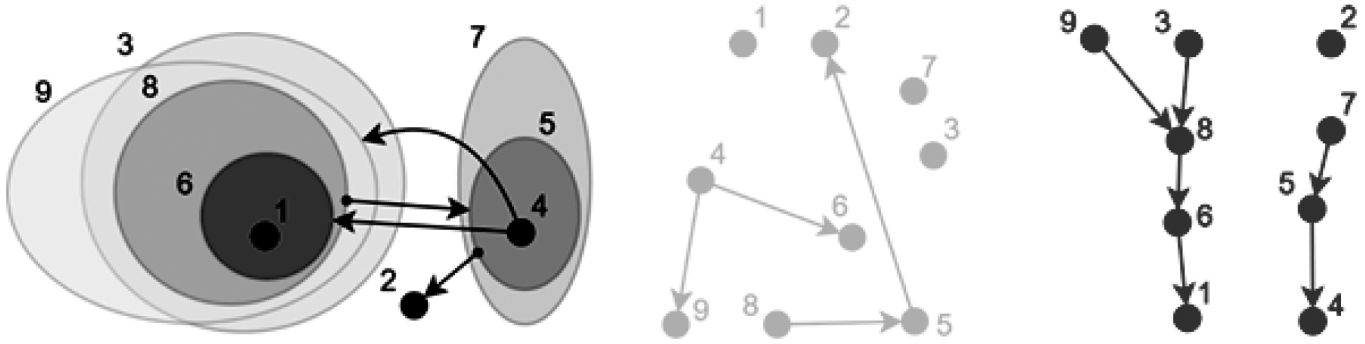


Рис. 6. Второй метаграф-операнд

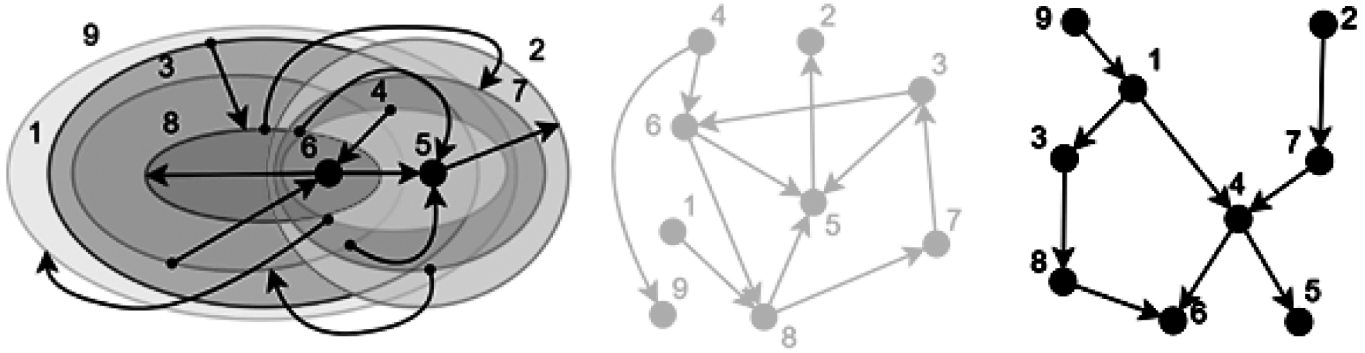


Рис. 7. Теоретический результат объединения метаграфов

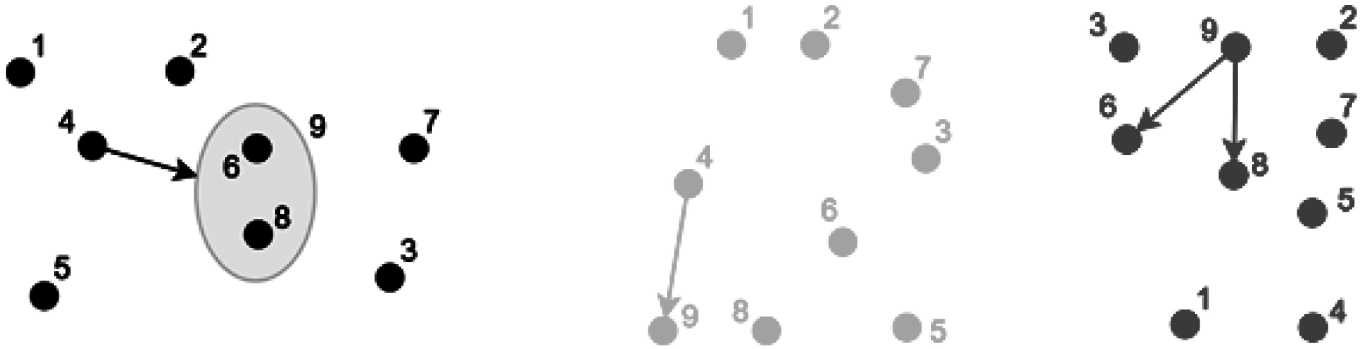


Рис. 8. Теоретический результат пересечения метаграфов

```
Результат объединения метаграфов:

Множество вершин:
(v1 v2 v3 v4 v5 v6 v7 v8 v9)

Множество рёбер красного графа:
(v7,v3),(v1,v8),(v6,v5),(v6,v8),(v4,v6),(v4,v9),(v5,v2),(v8,v5),(v8,v7),(v3,v5),(v3,v6)

Множество рёбер синего графа:
(v4,v5),(v4,v6),(v8,v6),(v7,v4),(v9,v1),(v1,v3),(v1,v4),(v2,v7),(v3,v8)
```

Рис. 9. Результат объединения метаграфов, рассчитанный с помощью программы

```
Результат пересечения метаграфов:

Множество вершин:
(v1 v2 v3 v4 v5 v6 v7 v8 v9)

Множество рёбер красного графа:
(v4,v9)

Множество рёбер синего графа:
(v9,v6),(v9,v8)
```

Рис. 10. Результат пересечения метаграфов, рассчитанный с помощью программы

чен график функции $f(x) = x^3 / 100$. Как можно заметить, набор точек, характеризующих результаты экспериментов, практически идеально ложится на график функции, что подтверждает корректность теоретической оценку временной сложности алгоритмов.

Таблица 2.

Результаты выполнения программы

Операция пересечения			Операция объединения		
Объем входных данных	Время выполнения программы (мкс)	Число выполненных операций	Объем входных данных	Время выполнения программы (мкс)	Число выполненных операций
5	0.05	2339	5	0.07	2238
10	2	15561	10	5	15214
20	530	111633	20	139	109664
30	627	360816	30	453	355816
50	2498	1609671	50	1239	1595952
70	5685	4340481	70	3457	4314014
80	4498	6442995	80	6857	6407511
100	12063	12477397	100	13730	12428014
200	81928	98113555	200	61913	97909545
300	259568	329068416	300	221013	328552578
500	1527733	1515168708	500	1104339	1513755476
650	2874252	3322012281	650	2376427	3319675520
800	5029440	6185341086	800	4581036	6181823592
900	6741087	8801138687	900	6513250	8796686613
1000	9233832	12374324675	1000	9228915	12362574328
1100	12526421	17121735216	1100	11904734	17092474322
1200	16467558	23738525614	1200	15453222	23705052731

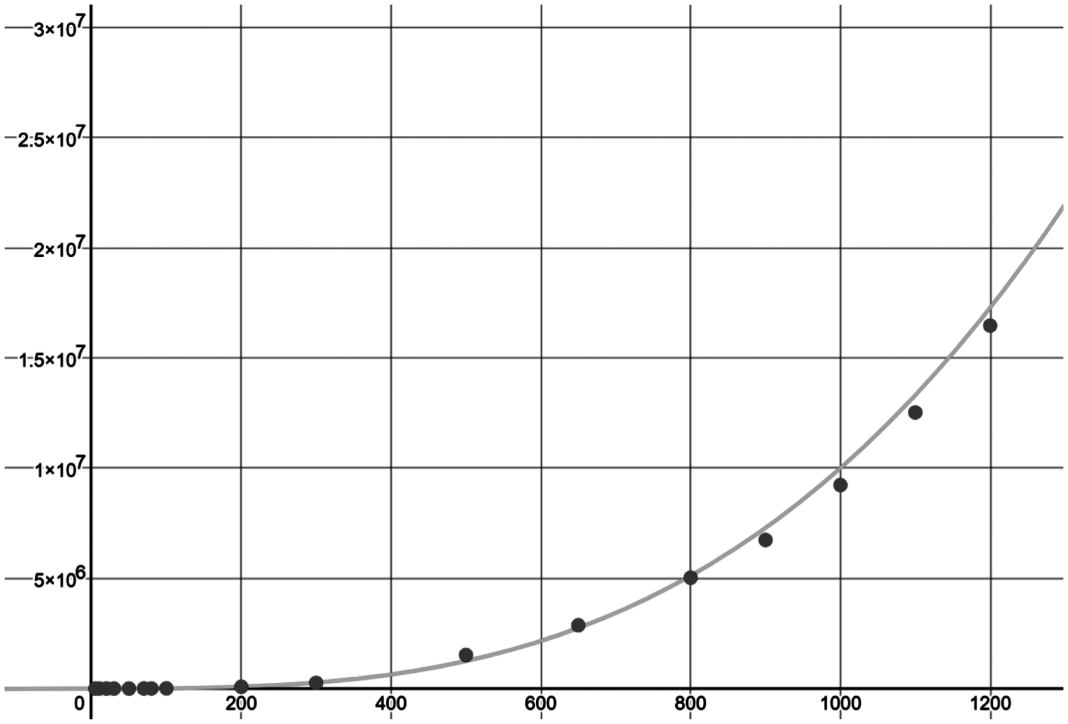


Рис. 11. График зависимости времени выполнения программы от объема входных данных для алгоритма объединения метаграфов

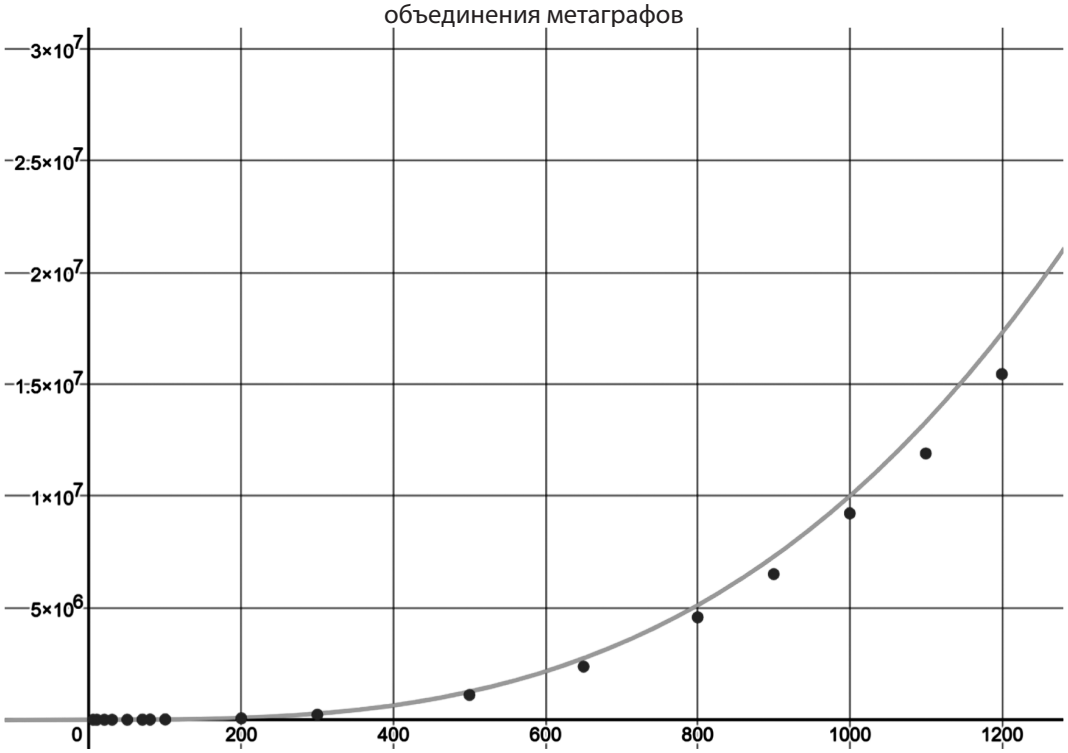


Рис. 12. График зависимости времени выполнения программы от объема входных данных для алгоритма пересечения метаграфов

Заключение

Метаграфовая модель данных — это современный инструмент для моделирования систем различной степени сложности. Помимо различных данных о характеристиках описываемой системы, метаграфы хранят информацию об иерархии этой системы, что выгодно отличает ее от других методов моделирования.

Переход от классического описания метаграфов к новому позволил удобно и лаконично описывать операции над метаграфами, а также упростил работу с дан-

ной структурой. Полученные результаты исследования применимы для дальнейшего развития метаграфовой модели данных.

Описанные в работе алгоритмы объединения и пересечения метаграфов, а также реализованная программа позволяют работать с метаграграфами не только на теоретическом, но и на практическом уровне. Эксперимент, проведенный с помощью программы, подтвердил рассчитанную теоретически асимптотическую временную сложность алгоритмов.

Дальнейшие исследования будут связаны с описанием алгебр метаграфов, изучением их свойств, описанием и оптимизацией алгоритмов на них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chapela, V., Criado, R., Moral, S., Romance, M. Intentional risk management through complex networks analysis. Springer International Publishing, Berlin/Heidelberg (2015)
2. Voloshin, V.I. Introduction to Graph and Hypergraph Theory. Nova Science Publishers (2009)
3. Johnson, J. Hypernetworks in the science of complex systems (Vol. 3). World Scientific Publishers (2013)
4. Basu, A., Blanning, R.W.: Metagraphs and Their Applications. Springer (2007)
5. Gapanyuk, Yu. The Development of the Metagraph Data and Knowledge Model. In: Russian Advances in Fuzzy Systems and Soft Computing: Selected Contributions to the 10th International Conference on «Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence (IMSC–2021)», pp. 1–7. Kolomna, Russia, May 17–20 (2021)
6. Ehrig, H. et al. Graph and Model Transformation. Springer (2015)
7. Baader, F., Horrocks, I., Sattler, U. Description Logics as Ontology Languages for the Semantic Web. In: Hutter, D., Stephan, W. (eds.) Mechanizing Mathematical Reasoning 2005. LNCS, vol. 2605, pp. 228–248. Springer, Berlin, Heidelberg (2005). https://doi.org/10.1007/978-3-540-32254-2_14
8. Chernenkiy, V., Gapanyuk, Y., Nardid, A., Skvortsova, M., Gushcha, A., Fedorenko, Y., Picking, R. Using the metagraph approach for addressing RDF knowledge representation limitations. In: 2017 Internet Technologies and Applications, ITA 2017 — Proceedings of the 7th International Conference, pp. 47–52. (2017)
9. Grami, A.: Discrete Mathematics: Essentials and Applications. Academic Press (2022)

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.10

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЮРИДИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LEGAL PRACTICE: NEW CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR IMPROVING EFFICIENCY

M. Danilova

Summary. The article is devoted to the transformation of the legal profession under the influence of modern information technologies, in particular artificial intelligence (AI). The author emphasizes the importance of correctly formulating requests to AI, as well as the need to take into account the limitations and risks associated with the use of these technologies, including issues of protecting confidential information. An example of the successful use of an AI platform to create macros in Word that automate the process of data depersonalization is given. The experiment demonstrated the ability of AI not only to generate working code, but also to correct errors, which makes it a useful tool even for users without programming skills.

Keywords: artificial intelligence, legal practice, process automation, data anonymization.

Данилова Мария Анатольевна
кандидат социологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия»
dory@rambler.ru

Аннотация. Статья посвящена трансформации юридической профессии под влиянием современных информационных технологий, в частности искусственного интеллекта (ИИ). Автор подчеркивает важность правильной формулировки запросов к ИИ, а также необходимость учета ограничений и рисков, связанных с использованием технологий, включая вопросы защиты конфиденциальной информации. Приведен пример успешного использования платформы Perplexity для создания макросов в Word, которые автоматизируют процесс обезличивания данных. В ходе эксперимента была продемонстрирована способность ИИ не только генерировать рабочий код, но и исправлять ошибки, что делает его полезным инструментом даже для пользователей без навыков программирования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, юридическая практика, автоматизация процессов, обезличивание данных.

Использование современных информационных технологий (ИТ) является неотъемлемой частью профессиональной деятельности юриста. Традиционно цифровые компетенции юриста ограничивались умением работать с офисными программами, поиском в Интернете и справочно-правовыми системами [1]. Однако динамичное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) трансформируют отрасль и меняет базовые навыки, необходимые для профессионального успеха. Сегодня критически важными становятся умение анализировать данные, работать с машинным обучением и управлять системами ИИ [2].

Аналитики компании Gartner в обзоре от 19 февраля 2025 года в качестве основных вариантов использования ИИ в юриспруденции выделили обработку контрактов/извлечение данных, автоматизированный анализ контрактов, резюмирование и сортировку документов, транскрибирование (преобразование речи в текст и сжатие полученных документов в краткие резюме), анализ рисков [3]. Эти инструменты не только могут экономить время юристов и снижать вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

Большое количество разнообразной информации, обрабатываемой юристами, диктует необходимость использовать возможности программного обеспечения как можно эффективнее. Эффективность работы складывается из множества элементов. Например, в текстовом редакторе необходимо соблюдать базовые правила набора текста: между словами использовать не более одного пробела, клавишу Enter нажимать только для завершения абзаца, использовать неразрывные пробелы и тире, разрыв страницы для начала нового раздела, расстановку переносов для увеличения читаемости текста и др.

Эффективная работа подразумевает умение применять, в зависимости от ситуации, разные приемы выделения текста. Двойной, тройной, один щелчок в области выделения позволяют выделять абзац, весь текст и строку быстрее, чем приемом «поставил-нажал-потянул». Использование комбинаций клавиш также ускоряет работу. Не обязательно комбинациями заменять все действия мыши, но, если использовать их для выполнения часто повторяющихся действий, это также увеличит эффективность. К таким операциям относятся операции с буфером обмена, вызов окна Поиск/Замена, сохране-

ние документа, выделение всего документа и других объектов, быстрое перемещение по документу.

Скорость работы увеличивает использование наборов параметров форматирования — стилей. Стиль позволяет обеспечить единообразие в оформлении документа, одним щелчком менять внешний вид всех фрагментов, с одинаковым стилем. Также с помощью применения стилей создается структура текста, которая используются для навигации и создания автособираемого оглавления.

Для оптимизации работы используются вставка экспресс-блоков, система поиска и замены с целью исправления часто встречающихся ошибок, создание шаблонов и другие функции. Но несмотря на богатый инструментарий современных текстовых процессоров для оформления документов приходится выполнять много повторяющихся однотипных операций. Например, для исправления неправильно набранного текста, даже используя Поиск и Замену, необходимо сделать много действий: убрать лишние пробелы между словами, убрать лишние пробелы перед знаками препинания, убрать пустые абзацы, заменить минусы на длинное тире, обычные пробелы там, где это необходимо на неразрывные.

Для автоматизации повторяющихся операций предназначены макросы — небольшие программы, написанные на встроенном в офисные программы языке программирования. Очевидным препятствием в этом случае является необходимость владеть навыками программирования.

Внедрение систем искусственного интеллекта существенно меняет технологию работы с текстом, делая ее более эффективной и интеллектуальной. Многие из перечисленных выше операций делаются ИИ в течение нескольких секунд, и к базовым навыкам пользователя добавляется умение правильно формулировать запрос, ставить задачу ИИ.

Взаимодействие с системой ИИ в чате является интуитивно понятным, имитирует общение с человеком [4]. Ключевым фактором для получения точных и релевантных ответов от ИИ является правильная формулировка запросов. Разработчики ИИ рекомендуют [5] запрос формулировать в виде ясного, конкретного полного предложения, не употреблять расплывчатых формулировок, двусмысленности и неоднозначности. Лучший эффект дает использование формального языка, отсутствие слэнга, добавление деталей и контекста. Также отмечается важность структуры запроса. Рекомендуется обозначить целевую аудиторию, конкретную задачу, желаемый формат ответа и конечную цель.

Успешное использование технологий искусственного интеллекта как инструмента для оптимизации процессов и повышения качества услуг в юридической деятельности возможно только с учетом рисков ИИ. Важно понимать ограничения и потенциальные предубеждения ИИ, а также его склонность к галлюцинациям — когда генерируется информация, не имеющую оснований в реальности, — чтобы соответствующим образом корректировать запросы и получать максимально точную информацию [6, 7].

Одной из особенностей моделей ИИ является возможность обучаться, совершенствоваться с течением времени. Это изменение происходит вследствие внедрения разработчиком улучшенных моделей, а также работе с реальными проблемами и данными. В политике конфиденциальности платформы языковых моделей открыто предупреждают об этом. Например, на сайте Google говорится — «не упоминайте в разговорах конфиденциальную информацию и не вводите никаких данных, которые, по вашему мнению, не должны видеть наши специалисты и которые не следует использовать для улучшения технологий машинного обучения, продуктов и сервисов»[1].

Юридическая деятельность неразрывно связана с использованием конфиденциальной информации, что делает вопросы защиты данных одной из ключевых задач в этой сфере. Грамотном подходом к безопасному использованию ИИ в юридической деятельности является обезличивание документов. Согласно Федеральному закону от 27 июля 2006 года № 152-ФЗ «О персональных данных», обезличивание персональных данных — действия, в результате которых становится невозможным без использования дополнительной информации определить принадлежность персональных данных конкретному субъекту персональных данных. Роскомнадзор рекомендует четыре метода для обезличивания персональных данных[2]:

— метод введения идентификаторов (замена части сведений (значений персональных данных) идентификаторами с созданием таблицы (справочника) соответствия идентификаторов исходным данным);
— метод изменения состава или семантики (изменение состава или семантики персональных данных путем замены результатами статистической обработки, обобщения или удаления части сведений);
— метод декомпозиции (разбиение множества (массива) персональных данных на несколько подмножеств (частей) с последующим раздельным хранением подмножеств);
— метод перемешивания (перестановка отдельных записей, а также групп записей в массиве персональных данных).

[1] Центр конфиденциальности приложений Gemini https://support.google.com/gemini/answer/13594961#what_data

[2] Приказ Роскомнадзора от 05.09.2013 № 996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных»

Обезличивание в несложных документах можно автоматизировать с помощью макроса, который будет находить персональные данные и делать замену идентификаторами. Современные большие языковые модели способны генерировать код на различных языках программирования, и могут стать помощниками для автоматизации несложных задач даже для пользователей, не владеющих навыками программирования.

В качестве эксперимента был создан макрос для замены ФИО, номеров телефонов и паспортных данных с помощью платформы Perplexity[3]. Такой выбор обусловлен доступностью этого сервиса на территории РФ, для работы не требуется использования VPN. Рабочий код макроса был получен за несколько итераций. Опишем более подробно этот процесс.

Первый запрос был простой и короткий: **«напиши макрос, который может быть использован для обезличивания данных в Word»**. Ответ содержал код макроса, заменяющий имена (состоящие из двух слов, написанные латинскими буквами), номера телефонов, email-адреса на анонимные значения, а также пошаговую инструкцию, как создать новый модуль в редакторе VBA и выполнить макрос. Инструкция была дополнена объяснением кода.

На следующем шаге нейросети было дано задание адаптировать код под кириллицу, и чтобы заменялись полное ФИО, и фамилии с инициалами. Сгенерированный код был правдоподобный, но регулярные выражения для поиска ФИО были составлены не верно.

Выражение с правильным синтаксисом было получено после составления уточняющего запроса: **«Напиши выражение для поиска в Word трех слов, идущих подряд, каждое из которых начинается с большой буквы»**.

[3] Perplexity — чат-бот с искусственным интеллектом для поиска информации и генерации текста. Подробнее см.: https://www.perplexity.ai

Сгенерированный на этом шаге макрос правильно находил ФИО и заменял на фразу [ОБЕЗЛИЧЕНО], но во всем документе текст форматировался как первый абзац (изменялись параметры шрифта). Проблема с форматированием была связана с использованием метода findRange.Text = Replace(...), который перезаписывал весь текст в диапазоне, включая форматирование.

ИИ нашел и исправил ошибку после запроса: **«Сбилось форматирование. Проверь код на ошибки»**. Вместо прямой замены текста через findRange.Text, в новом макросе использовался встроенный метод findRange.Find.Execute.

На следующем шаге было дано задание: **«Добавь код, чтобы из строк, которые начинаются с фраз: ИНН: Серия №: Выдан: Дата выдачи: Код подразделения: Р/с №: К/с: БИК БАНКА: удалялся весь текст после двоеточия до конца строки»**. Сгенерированный макрос вызвал зависание Word.

После фразы: **«Word завис после запуска макроса. Проверь код на ошибки»**, ИИ сделал предположение, что **«вероятнее всего, проблема связана с бесконечным циклом или неэффективной обработкой текста»**. Исправленный код решал поставленную задачу.

В ходе эксперимента было получено подтверждение, что выдаваемый результат зависит от формулировки запроса.

Таким образом, можно сделать вывод, что современный уровень развития технологий ИИ демонстрирует широкий спектр возможностей, которые могут повысить эффективность, упростить решение профессиональных задач. Умение работы с системами ИИ становится сегодня значительным конкурентным преимуществом, что делает для юристов критически важным изучение особенностей и ограничений ИИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kovaleva N.N., Eresko P.V., Izotova V.F., Gafarov Ye.R. Optimizing the implementation of university digitalization practices // В сб: EUROPEAN PROCEEDINGS OF SOCIAL AND BEHAVIOURAL SCIENCES. International Scientific and Practical Conference «State and Law in the Context of Modern Challenges» (SLCMC 2021). Editor(s): Sergey Afanasyev, Alexander Blinov, Sergey Belousov. 2022. С. 353–359.
2. Kovaleva N.N., Anisimova A.S., Tugusheva Yu.M., Danilova M.A. Artificial intelligence and social media: selfregulation and government control //В сб: EUROPEAN PROCEEDINGS OF SOCIAL AND BEHAVIOURAL SCIENCES. International Scientific and Practical Conference «State and Law in the Context of Modern Challenges» (SLCMC 2021). Editor(s): Sergey Afanasyev, Alexander Blinov, Sergey Belousov. 2022. С. 347–352.
3. Gartner определяет 6 основных вариантов использования генеративного ИИ в юридических отделах //https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-02-19-gartner-identifies-the-top-6-use-cases-for-generative-ai-in-legal-departments Электронный ресурс [Дата обращения 2.03.2025]
4. Паскова А.А. Практические аспекты применения ChatGPT в высшем образовании. Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2023;15(3):67–74. EDN: KJTNLA. DOI: 10.47370/2078-1024-2023-15-3-67-74.
5. Приступая к работе. Что вам нужно знать, чтобы начать работу с Perplexity // https://www.perplexity.ai/hub/getting-started#what-is-perplexity Электронный ресурс [Дата обращения 2.03.2025].
6. Stojanov A. Learning with ChatGPT 3.5 as a more knowledgeable other: An autoethnographic study. International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2023; 20(1):35. DOI: 10.1186/s41239-023-00404-7.
7. Halaweh M. ChatGPT in education: Strategies for responsible implementation. Contemporary Educational Technology. 2023; 15(2):ep421. DOI: 10.30935/cedtech/13036.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.11

ГЕНЕРАЦИЯ И ПРОВЕРКА ЗАДАНИЙ ВСТРОЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ РОССИЙСКОГО ОНЛАЙН-СЕРВИСА «ЯНДЕКС.ТАБЛИЦЫ»

GENERATION AND CHECKING OF ASSIGNMENTS BY BUILT-IN TOOLS OF THE RUSSIAN ONLINE SERVICE «YANDEX.TABLES»

M. Danilova
V. Izotova

Summary. The relevance of the article is determined by the need to implement the methodological recommendations of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the transition of educational organizations to the predominant use of domestic software. Control tasks are an integral part of the system for assessing the assimilation of disciplines by students. The use of automated generation and verification of tasks allows to simplify the process of current and final control. The transition to domestic software sets educational institutions the task of creating new and changing existing methodological and control materials. The aim of the work is to analyze the possibilities of creating control materials using the Russian spreadsheet processor Yandex.Tables. The system of proposed methodological approaches is of practical value for the implementation of the transition of the educational process to domestic software.

Keywords: Russian software, office online applications, R7-Office, Yandex360.

Данилова Мария Анатольевна
кандидат социологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия»
dory@rambler.ru
Изотова Вера Филипповна
кандидат физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия»
vf-izotova@yandex.ru

Аннотация. Актуальность темы статьи определена необходимостью выполнения методических рекомендаций Министерства науки и высшего образования РФ по переходу образовательных организаций на преимущественное использование отечественного программного обеспечения. Контрольные задания являются составной частью системы оценки усвоения дисциплин учащимися. Использование средств автоматизированной генерации и проверки заданий позволяет упростить процесс текущего и итогового контроля. Переход на отечественное программное обеспечение ставит перед образовательными учреждениями задачу создания новых и изменения существующих методических и контрольных материалов. Целью работы является анализ возможностей создания контрольных материалов, с помощью российского табличного процессора Яндекс.Таблицы. Система предлагаемых методических подходов представляет практическую ценность для осуществления перехода учебно процесса на отечественное программное обеспечение.

Ключевые слова: российское программное обеспечение, офисные онлайн-приложения, Р7-Офис, Яндекс360.

Постановка задачи

Цифровая трансформация государства базируется на применении инновационных сквозных технологиях, в том числе технологий искусственного интеллекта [1]. При этом необходимо обеспечить информационный суверенитет Российской Федерации, в основе которого лежит процесс импортозамещения в информационной сфере [2, 3]. Одним из важнейших направлений цифровой трансформации экономики является подготовка кадров на основе отечественного программного обеспечения.

Цифровые образовательные технологии активно используются для организации как аудиторной и самостоятельной работы студентов всех форм обучения [4, 5]. При этом для реализации гибкой образовательной траектории требуется генерация вариантов практических и контрольных заданий и автоматизация их проверки [4, 5]. В нашем вузе накоплен значительный банк таких разработок [6].

Переход на отечественное ПО ставит перед образовательными учреждениями ряд задач, одной из которых является конвертирование наработанных методических и контрольных материалов. В рамках контроля степени освоения темы Табличные процессоры широко применяются задания с автоматической проверкой. Такие задания выполняют ряд функций. Во-первых, функцию генерации уникального варианта для каждого студента, во-вторых, функцию автоматической проверки выполненных заданий [7].

Процесс проверки реализуется сравнением с эталонным образцом. В электронных таблицах часть заданий, но не все, можно проверить с помощью встроенных функций. В таблице перечислены функции, которые можно применить для проверки заданий разного вида.

Таблица 1.

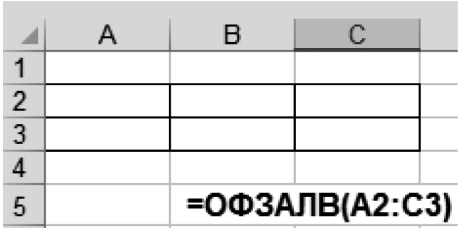
Вид задания	Встроенные функции
Автоматическое заполнение ряда ячеек текстом и числами	СОВПАД() — сравнивает две строки текста и возвращает значение; ИСТИНА, если они в точности совпадают, и ЛОЖЬ — в противном случае
Ввод формул с разными видами ссылок на ячейки	Ф.ТЕКСТ() — возвращает формулу из ячейки в виде строки; СОВПАД() Пример =СОВПАД(Ф.ТЕКСТ(Логика!M12);»=ЕСЛИ(F12 <500;F12*12%;F12*20%)»)
Установка определенного числового формата	ЯЧЕЙКА() — возвращает сведения о форматировании, расположении или содержимом ячейки. Пример =ЯЧЕЙКА(«format»;K24)=»F0»
Изменение цвета фона ячейки	нет функции
Обрамление ячейки	нет функции
Построение диаграммы с определенными свойствами	нет функции

В таблице показано, что функции позволяют получить и в дальнейшем сравнить с образцом содержимое ячейки (текст или формулу) и формат содержимого, но не оформление самой ячейки. Также отсутствуют функции анализирующие встроенные объекты. Таким образом, если стоит задача проверить все виды задания, необходимо использовать возможности встроенного языка программирования Visual Basic для приложений (VBA).

Встроенный язык программирования позволяет получить свойства любого объекта электронной таблицы, что значительно расширяет возможности автоматической проверки. В табличном процессоре Microsoft Excel на базе VBA можно создавать пользовательские функции и использовать их для проверки. Например, для получения заливки диапазона ячеек создается макрос с кодом:

```
Function ОФЗАЛВ(ByRef RangeAddress) As Boolean
' Возвращает истину, если все ячейки в диапазоне RangeAddress
' залиты каким-нибудь цветом
Application.Volatile
ОФЗАЛВ = False
Dim I As Integer
Next I
O For I = 1 To RangeAddress.Count
If RangeAddress(I).Interior.ColorIndex = xlNone Then GoTo Quit
ФЗАЛВ = True
Quit:
End Function
```

Далее функция вводится как обычная встроенная, в какую-нибудь ячейку. В качестве аргумента указывается проверяемый на наличие заливки диапазон, например:



Результатом работы функции будет Истина или Ложь.

Макросы также позволяют решать задачу генерации уникального варианта для каждого студента. Вариант задания может быть создан в результате случайной выборки из базы находящейся в этом же файле. Макрос генерирует случайное число из диапазона номеров задач, перебирает все задачи, и скрывает строки, с задачами, не попавшими в выборку.

С помощью автозапускаемого при открытии файла макроса можно реализовать диалог с пользователем с различными сценариями. Так диалоговое окно при открытии может предложить ввести пароль для разработчика или открыть файл в режиме **Только для чтения**. Если файл открывается во втором режиме, можно запросить данные пользователя, которые вносятся в определенную ячейку и защищаются от редактирования. Далее, в процессе работы, студент эти ячейки уже не может редактировать. Это является одним из способов защиты от списывания. На просмотр и редактирование макросов в Microsoft Excel также можно установить пароль.

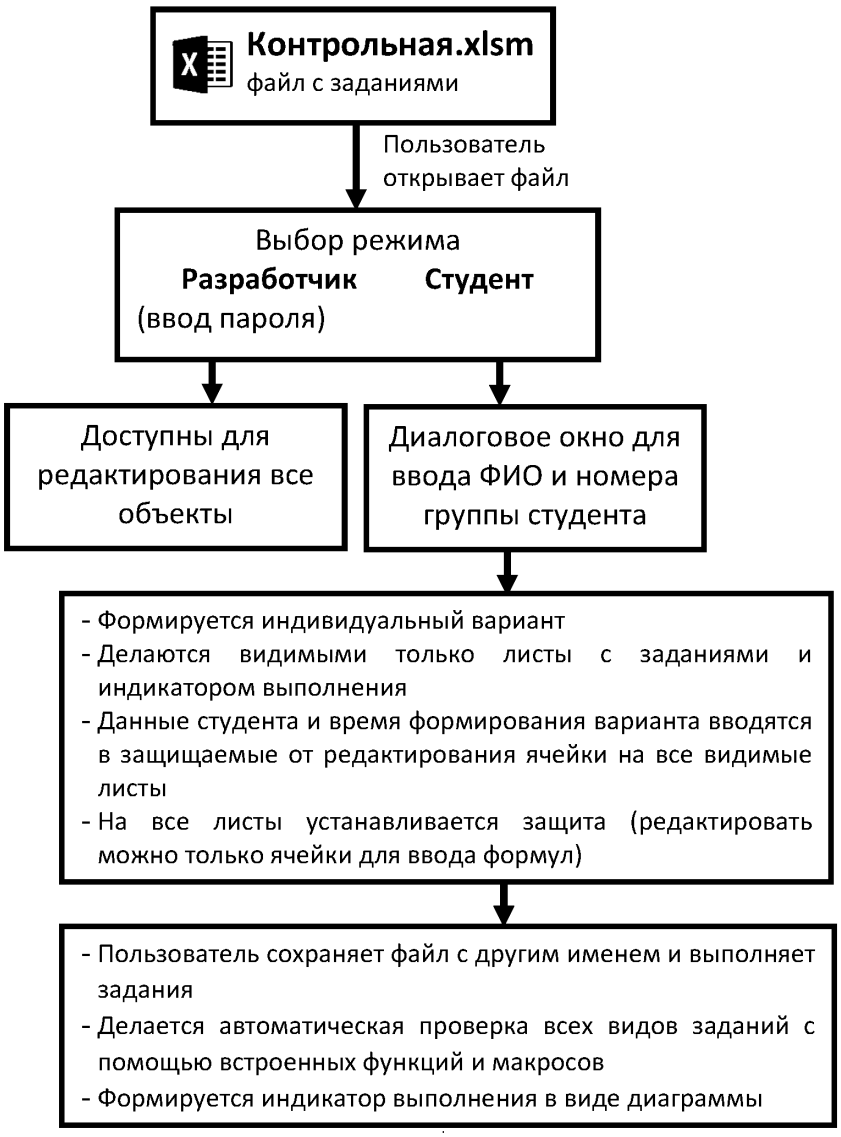
Как показывает многолетний опыт преподавания дисциплины ИТ в профессиональной деятельности перечисленных возможностей Microsoft Excel достаточно для проведения контроля усвоения темы Обработка табличных данных [8]. Коротко последовательность работы с файлом контрольной работы и используемый функционал программы изображен на схеме 1.

Целью настоящего исследования стало изучение возможностей отечественного ПО в процессе создания контрольных материалов для дисциплины, изучающей технологии обработки табличных данных. Была поставлена задача создать файл контрольной работы с описанным функционалом в отечественном табличном процессоре.

Выбор программного продукта

Для реализации поставленной задачи был выбран онлайн-редактор из сервиса Документы.Яндекс. Документы.Яндекс — это часть облачной платформы Яндекс 360, доступной для пользователей, имеющих учётную запись в Яндексе. Сервис Документы.Яндекс является облачной

Схема 1



интеграцией пакета программ Р7-Офис. Р7-Офис создан в России и полностью отвечает требованиям законодательства РФ, включая Постановления №1236 от 16.11.2015 и №325 от 23.03.2017, а также включен в единый реестр российского ПО. Серверы Яндекс 360 находятся на территории России, данные пользователей хранятся в зашифрованном виде и не передаются за рубеж. С точки зрения пользователя, этот продукт также имеет ряд преимуществ — наличие Excel-подобного интерфейса с ленточным меню, широкая линейка тарифов (в том числе бесплатного), совместимость с документами Microsoft Office, кроссплатформенность и поддержка макросов.

Результат исследования

В качестве основы для модификации в онлайн версии был взят комплекс контрольных заданий Гаврилова М.В. [8], Изотовой В.Ф. и Купцова П.В.

Файл с контрольной работой, сделанный в Microsoft Excel имел формат с поддержкой макросов — .xlsm. В файле находились лист, где были введены формулы для проверки заданий; лист, где отражался процент выполнения в виде диаграммы; листы с заданиями на разные темы. Структура таблицы и содержимое при открытии файла в Яндекс-таблицах конвертировались корректно. Набор встроенных функций Яндекс-таблиц достаточно большой, содержит функции 10-ти категорий. Функции, указанные в Таблице 1, которые были использованы для автоматической проверки также присутствуют, поэтому часть проверки после конвертации файла работала. Пометки **заблокированная ячейка, защищаемая ячейка** и **скрыть формулу** также сохранились.

Сервис Яндекс360 поддерживает макросы, которые используют синтаксис JavaScript и нотацию сценариев API P7 Document Builder. JavaScript и Visual Basic отли-

чаются с точки зрения синтаксиса, системы типов, совместимости платформ, парадигмы программирования. На момент написания статьи не существует механизма автоматической конвертации макросов вместе с файлом .xlsm, код макросов необходимо писать заново.

Сервис работы с макросами также имеет отличия:

- раздел Макросы в Яндекс-таблицах является полем для ввода и выполнения макроса, но не имеет каких-либо средств отладки и тестирования;
- макросы сервиса Яндекс360, в отличие от MS Office, не могут записывать действия пользователя с последующим воспроизведением таких действий.
- макросы нельзя защитить паролем;
- запустить код макроса можно двумя способами, либо из окна редактора макросов, либо щёлком по связанному графическому элементу, использование пользовательских функций, в отличие от Microsoft Excel, не предусмотрено;
- API для работы с приложением и документами предоставлено в ограниченном объёме, не все возможности доступные пользователю при работе с редактором и документами доступны для автоматизации в макросах. Например, закрыты для пользователя методы, возвращающие свойства диаграммы и др.

Перечисленные особенности позволяют сделать файл с контрольной работой, аналогичный по функциям файлу Microsoft Excel только частично.

Схема 2, представленная ниже, показывает, что удалось реализовать.

Схема 2

В процессе реализации поставленной задачи, было решено отказаться от создания стартового диалогового окна с выбором режима Разработчик/Студент, из-за отсутствия возможности защиты макросов. Не сделана автоматическая проверка построения диаграммы. Для остальных функций и методов, используемых для проверки, были найдены аналоги.

Ниже приведем несколько примеров.

Вместо функции **InputBox** (VBA) для отображения диалогового окна, в которое пользователь может вводить данные, использовалась функция **prompt**:

```
(function()
{
var oWorksheet = Api.GetSheet("1");
var userInput = prompt("Введите ФИО и номер группы:", ``);
oWorksheet.GetRange("J1").SetValue(userInput);
})();
```

Для отбора заданий генерировалось случайное число, перебирались строки с заданиями, и для строк, не попавших в выборку, устанавливалась высота в 0 пикселей:

```
(function showHideRows() {
var sheetFor = Api.GetSheet("Формулы");
var randomNum = (Math.floor(Math.random() * 16) + 1); //Генерируем случайное число в диапазоне от 1 до 16
for (var i = 9; i <= 72; i++) {
var cell = sheetFor.GetRange(`B${i}`);
if (cell.GetValue() != randomNum) {
cell.SetRowHeight(0); // устанавливаем высоту строки в 0 пикселей
}
}
})();
```

Для вставки в книгу даты формирования задания использовался фрагмент кода:

```
var sheetInd = Api.GetSheet("Индикатор");
var today = new Date();
var dd = String(today.getDate()).padStart(2, '0');
var mm = String(today.getMonth() + 1).padStart(2, '0'); // Jan is 0!
var yyyy = today.getFullYear();
today = dd + "." + mm + "." + yyyy;
let date = new Date();
sheetInd.GetRange("A1").SetValue(today);
```

Выводы

Попытка конвертирования контрольных материалов для дисциплины, изучающей технологии обработки табличных данных, позволяет сделать вывод, что российский сервис Яндекс-таблицы может стать хорошей заменой табличному процессору Microsoft Excel. Достоинствами данного продукта является хранение данных в зашифрованном виде на территории России, совместимость с документами Microsoft Office, наличие Excel-подобного интерфейса с ленточным меню, широкая линейка тарифов (в том числе бесплатного), поддержка макросов. В настоящее время в сервисе реализованы не все возможности для разработчика, которые существуют в линейке аналогичных продуктов Microsoft, но Office P7 и созданный не его основе сервис Документы.Яндекс динамично развиваются и улучшаются. Команды разработчиков данных продуктов имеют представительства во всех популярных социальных сетях, оперативно реагируют на вопросы пользователей, отслеживают и исправляют выявленные недостатки. Программный продукт может быть использован в учебном процессе, в том числе в дистанционной форме и для самостоятельной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kovaleva N.N., Anisimova A.S., Tugusheva Yu.M., Danilova M.A. Artificial intelligence and social media: selfregulation and government control //В сборнике: EUROPEAN PROCEEDINGS OF SOCIAL AND BEHAVIOURAL SCIENCES. International Scientific and Practical Conference «State and Law in the Context of Modern Challenges» (SLCMC 2021). Editor(s): Sergey Afanasyev, Alexander Blinov, Sergey Belousov. 2022. С. 347–352.
2. Вызовы информационного общества: тенденции развития правового регулирования цифровых трансформаций / Абанина Е.Н., Агаларова М.А., Агапов Д.А., Агаренков С.В., Адельшин Р.Н., Анисимова А.С., Артамонова Е.А., Архангельская Е.В., Афанасьев С.Ф., Безруков А.И., Белоусов А.Л., Белоусов С.А., Беляев К.А., Блинов А.Г., Борисова В.Ф., Брянцев И.И., Брянцева О.В., Быстряков Е.Н., Варламова Е.В., Волков Ю.В. и др// Монография по материалам 3.0 международной научно-практической конференции / Саратов, 2022. 432 с.
3. Вызовы информационного общества: тенденции развития правового регулирования цифровых трансформаций: монография по материалам 4.0 Международной научно-практической конференции (г. Москва, 24–25 мая 2023 г.) / А.С. Анисимова, Е.А. Артамонова, Е.В. Архангельская [и др.]. — Саратов: Саратовская государственная юридическая академия, 2023. — 501 с.
4. Изотова В.Ф. Применение дистанционных образовательных технологий в заочном обучении //Вестник Саратовской государственной юридической Академии, 2016, № 1(108). С. 255–259.
5. Изотова В.Ф. Электронные и дистанционные технологии в организации самостоятельной работы студентов// В сборнике: Непрерывная предметная подготовка в контексте педагогических инноваций. сборник научных трудов: в 2-х частях. 2016. С. 190–193.
6. Изотова В.Ф., Чайковский Д.С. Оптимизации использования цифровых решений в реализации образовательного процесса вуза // В сборнике: Паритеты, приоритеты и акценты в цифровом образовании. Сборник научных трудов. В 2-х частях. Саратов, 2021. С. 240–245.
7. Ершов Б.Л. Генерация и проверка контрольных заданий в среде приложений Excel и Word // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета (РГТЭУ). 2006. № 4 (16). С. 228–231.
8. Гаврилов М.В., Климов В.А. Информатика и информационные технологии: учебник для вузов Юрайт, 2022. URL: https://urait.ru/bcode/488708

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.12

УСИЛЕНИЕ ЗАЩИТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРОГРАММНЫХ МЕССЕНДЖЕРОВ НА ОСНОВЕ ОРКЕСТРУЕМОЙ СИСТЕМЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

ENHANCING THE SECURITY OF SOFTWARE MESSENGERS USERS BASED ON THE ORCHESTRATED MULTI-LEVEL FILTERING SYSTEM

I. Demin
M. Rysin

Summary. The article presents an architectural approach to creating a messenger with increased security based on multilevel filtering (MLFS). The need for additional processing of incoming requests in addition to traditional measures such as encryption and two-factor authentication is justified. The MLFS concept and ways of its optimization are described. A micro-service architecture is proposed that implements this solution, with an emphasis on adaptability and risk reduction.

Keywords: messenger, information security, cybersecurity, microservice, API Gateway, orchestrator, multilevel filtering, MLFS.

Демин Иван Александрович
МИРЭА — Российский технологический университет
demin.i.a2@edu.mirea.ru
Рысин Михаил Леонидович
кандидат педагогических наук, доцент,
МИРЭА — Российский технологический университет
rysin@mirea.ru

Аннотация. В статье представлен архитектурный подход к созданию мессенджера с повышенной безопасностью на основе многоуровневой фильтрации (MLFS). Обоснована необходимость дополнительной обработки входящих запросов помимо традиционных мер защиты, таких как шифрование и двухфакторная аутентификация. Описана концепция MLFS и пути её оптимизации. Предложена микросервисная архитектура, реализующая данное решение, с акцентом на адаптивность и снижение рисков.

Ключевые слова: мессенджер, информационная безопасность, кибербезопасность, микросервис, API Gateway, оркестратор, многоуровневая фильтрация, MLFS.

Введение

Мобильные мессенджеры являются одним из главных инструментов общения в цифровую эпоху. Они позволяют людям обмениваться сообщениями, файлами, совершать звонки и взаимодействовать в группах. С увеличением количества пользователей мессенджеров возрастает и число угроз, связанных не только с технологическими уязвимостями, но и с человеческим фактором.

Современные технологии безопасности, такие как шифрование сообщений и двухфакторная аутентификация, эффективно защищают данные на техническом уровне, но не предотвращают случаи мошенничества, социальной инженерии и других манипуляций, основанных на невнимательности или доверчивости пользователей. Эти проблемы требуют дополнительных механизмов защиты, ориентированных на анализ поведения и предотвращение угроз в реальном времени.

Проблемы современной безопасности в мессенджерах

Современные мессенджеры решают большое количество задач в плане безопасности — от шифрования сообщений и паролей, до систем автоматических блокировок аккаунтов на основе подозрительной активности [1, 2]. Несмотря на наличие указанных механизмов, остаются угрозы, которые либо не отслеживаются в реальном времени, либо обрабатываются только спустя некоторое время:

- мошенничество через мессенджеры — злоумышленники могут выдавать себя за доверенных лиц, не вызывая подозрений у системы;
- социальная инженерия — мошенники манипулируют пользователями, заставляя их передавать личные данные;
- аномальная активность пользователей — злоумышленники могут массово рассылать сообщения или добавлять пользователей в контакты для последующих атак.

Для решения этих проблем предлагается внедрение механизма фильтрации угроз на основе подхода многоуровневой системы фильтрации (Multi-Layer Filtering System, MLFS), которая может быть адаптирована разработчиками в зависимости от потребностей системы и уровня безопасности.

Концепция многоуровневой системы фильтрации (MLFS)

MLFS — система на основе построения цепочек фильтрации пользовательских запросов на уровне их обработки специализированными сервисами. Эта идея

реализуется антифрод-сервисами (от англ. anti-fraud «борьба с мошенничеством»), которые внедряются в систему и отслеживают пользовательскую активность в фоне. Цепочки фильтрации представляют собой прослойку между пользователем и слоем бизнес-логики сервиса, типовая схема ее использования изображена на рис. 1.

MLFS может быть построена на архитектуре с использованием паттерна «API Gateway» с основным контролирующим элементом (единой точкой входа), через который проходят все входящие запросы. Прежде чем запрос перейдет в сервис бизнес-логики, он проходят через набор фильтров, которые могут быть настроены как последовательными (для поэтапной проверки), так и параллельными (например, логирование, сбор аналитики).

Фильтры могут быть сгруппированы как монолитом, так и разбиты на отдельные микросервисы [3]. Второй вариант предпочтителен, так как обеспечивает четкое разграничение функциональности, но допускается и монолитный подход, если это необходимо по архитектурным причинам.

Предлагаемые уровни фильтрации:

1. Аналитика активности пользователей — отслеживание действий пользователей для выявления аномального поведения.
2. Система черных меток — механизм репутации пользователей на основе жалоб и автоматических проверок, позволяющий выявлять мошенников и злоумышленников.
3. Гибкие настройки доступа к данным другого пользователя — возможность ограничения взаимодействий в зависимости настроек, установленных другим пользователем.

Определение требований к фильтрам

Усложнение механизма защиты может сказаться на скорости работы системы: при использовании рекомендуемого подхода по разбиению фильтров возможны существенные затраты времени на обращение в сервис, поиск необходимой информации и обработку данных. Поэтому необходимо использовать следующие средства:

- Выбор подходящих баз данных:
  - Elasticsearch — для логирования и аналитики;
  - Redis — для кэширования временных данных и быстрого доступа к информации (должен использоваться всегда для улучшения быстродействия системы).
- Кэширование на всех уровнях:
  - Redis — как основной способ кэширования.
  - CDN — для ускорения загрузки профилей и статических данных.
- Оптимизация межсервисного взаимодействия:
  - gRPC — для уменьшения скорости общения между оркестратором и фильтром.

Определим базовые требования, которым должны следовать наши фильтры:

1. Каждый фильтр должен отвечать принципу Single Responsibility — это значит, что фильтр должен реализовывать только необходимую для его работы логику [4].
2. Каждый фильтр должен реализовывать кэширование — используется для ускорения получения данных, в качестве используемых технологий предлагается использовать Redis или Memcached [5].
3. Фильтр не должен обращаться к другим сервисам для получения данных — чтобы сделать фильтр максимально легковесным.
4. Персистентные сущности должны содержать минимум информации, для наибольшей скорости работы базы данных.
5. Межсервисное взаимодействие должно реализовываться с использованием gRPC [6, 7].
6. Использование паттерна API Gateway, для упрощения получения и обработки пользовательских запросов [8, 9].

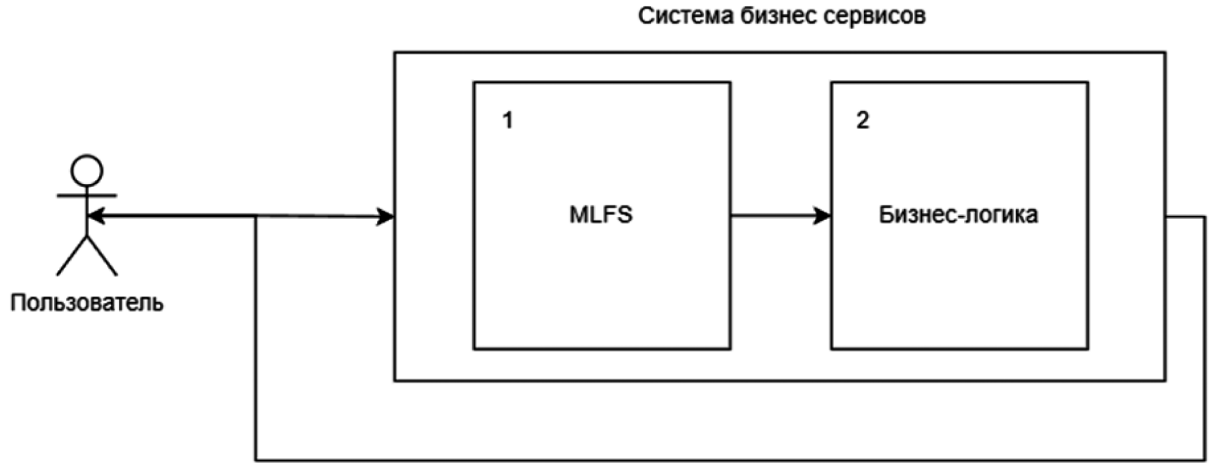


Рис. 1. Схема использования MLSF

7. Последовательность работы фильтров должна координироваться паттерном «Оркестратор» [10].

Такой подход позволяет:

- обеспечить четкую логику обработки запросов, передавая их через CMLFS в строго определенном порядке;
- контролировать цепочку вызовов сервисов и управлять передачей данных между ними.

Практические аспекты реализации системы

На рис. 2 представлен пример того, как может быть реализована схема системы фильтров в мессенджере, с учётом описанных выше принципов и требований.

Здесь API Gateway выполняет роль оркестратора и управляет маршрутизацией запросов, направляя их в систему фильтрации перед передачей в микросервисы мессенджера.

Компонент CMLFS контроля отправки сообщений проверяет, может ли пользователь отправить сообщение, его диаграмма классов представлена на рис. 3. Данные о правилах доступа загружаются из реляционной СУБД PostgreSQL и кэшируются в NoSQL СУБД Redis.

Компонент CMLFS контроля отправки файлов проверяет возможность отправки и скачивания файлов с учетом установленных ограничений, его диаграмма классов представлена на рис. 4.

CMLFS черных меток управляет базой данных пользователей с плохой репутацией, его диаграмма классов представлена на рисунке 4. Если пользователь имеет большое количество жалоб, его функционал может быть ограничен.

Сервис управления аккаунтами обрабатывает изменения в настройках пользователей и обновляет правила в базе данных CMLFS.

Сервисы сообщений, файлов и аутентификации обеспечивают базовую логику работы мессенджера после прохождения всех фильтров безопасности.

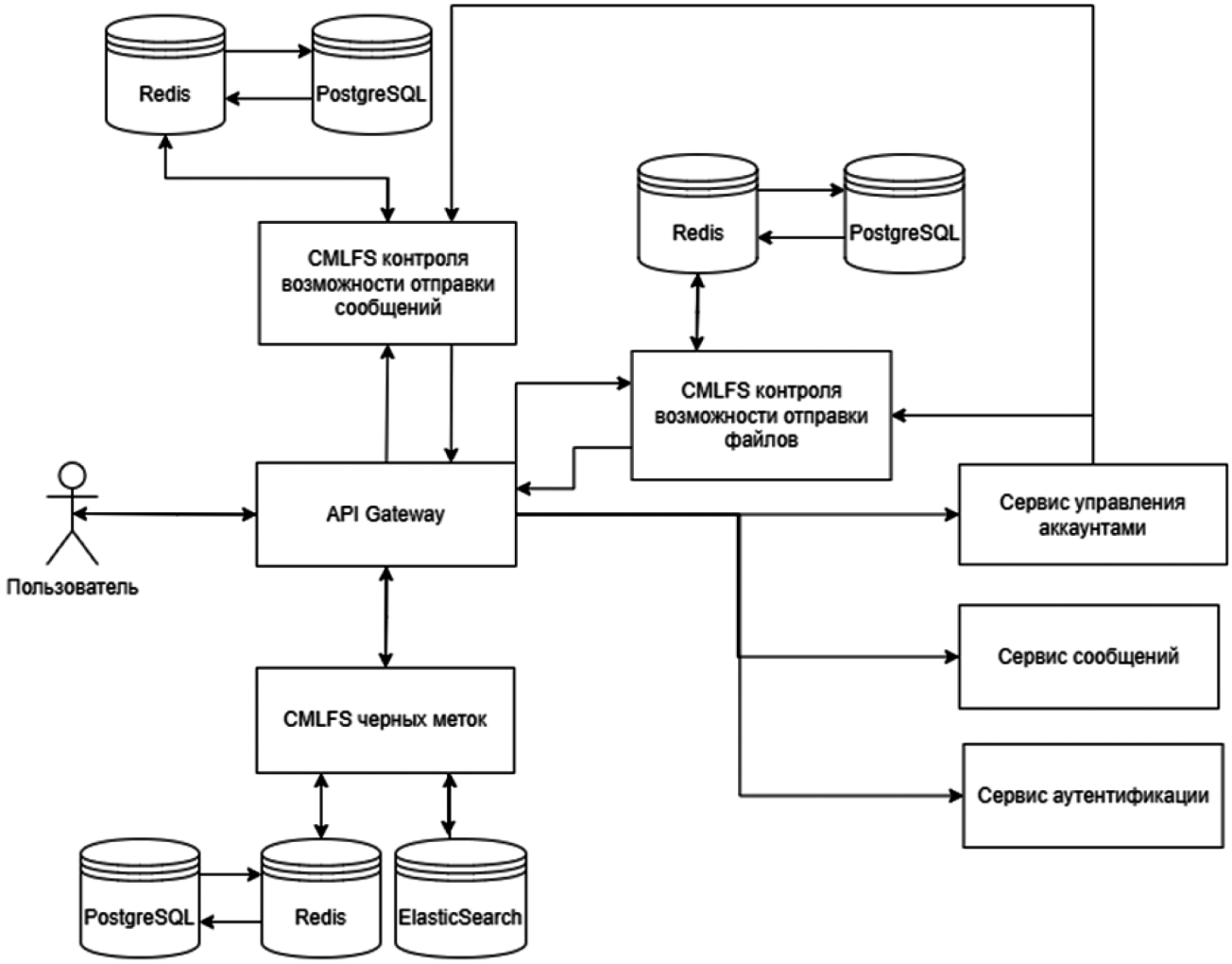


Рис. 2. Схема использования системы фильтров

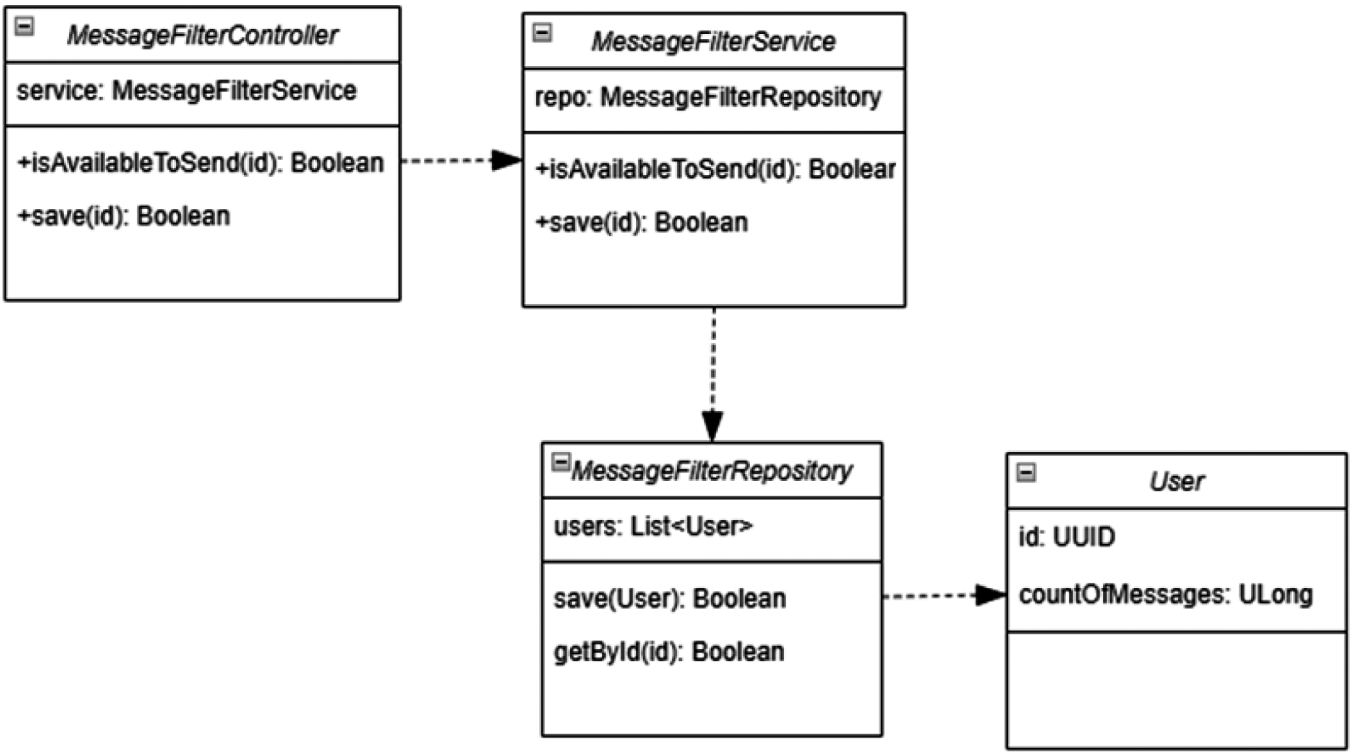


Рис. 3. Диаграмма классов сервиса MessageFilter

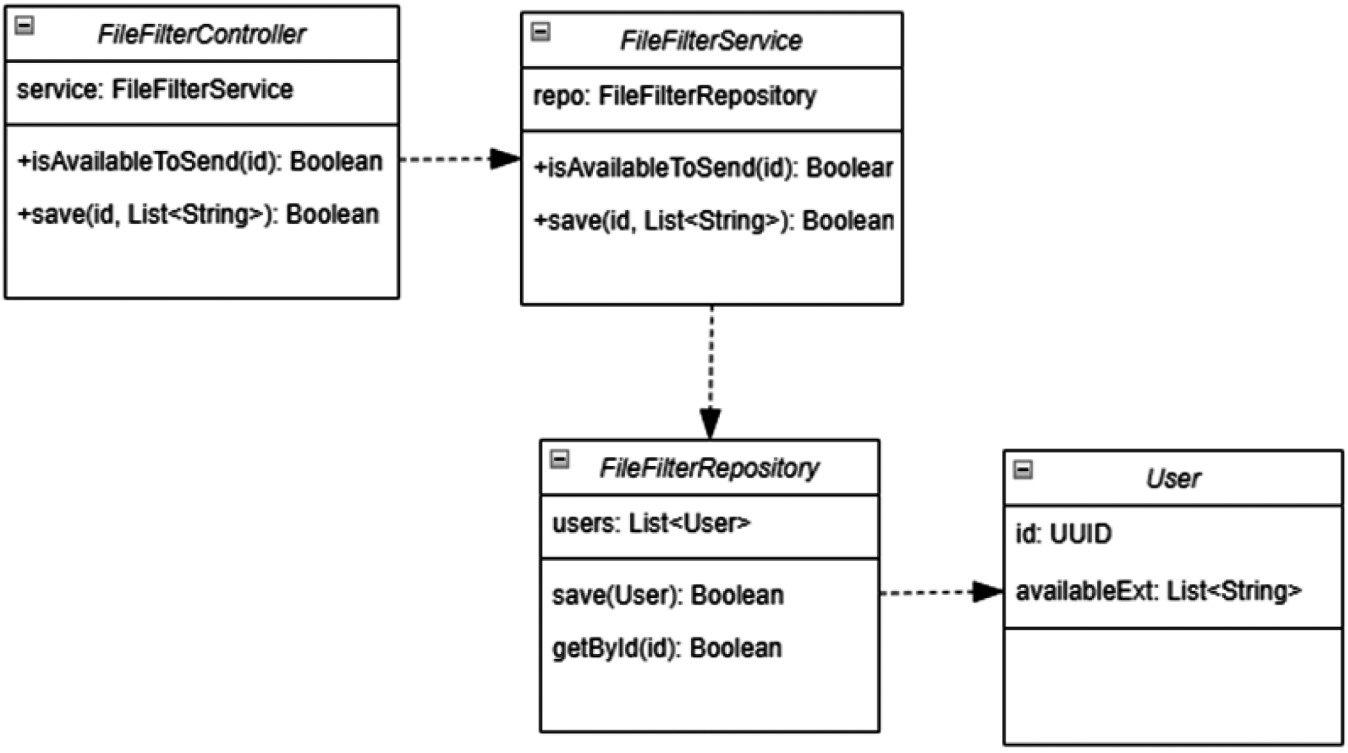


Рис. 4. Диаграмма классов сервиса FileFilter

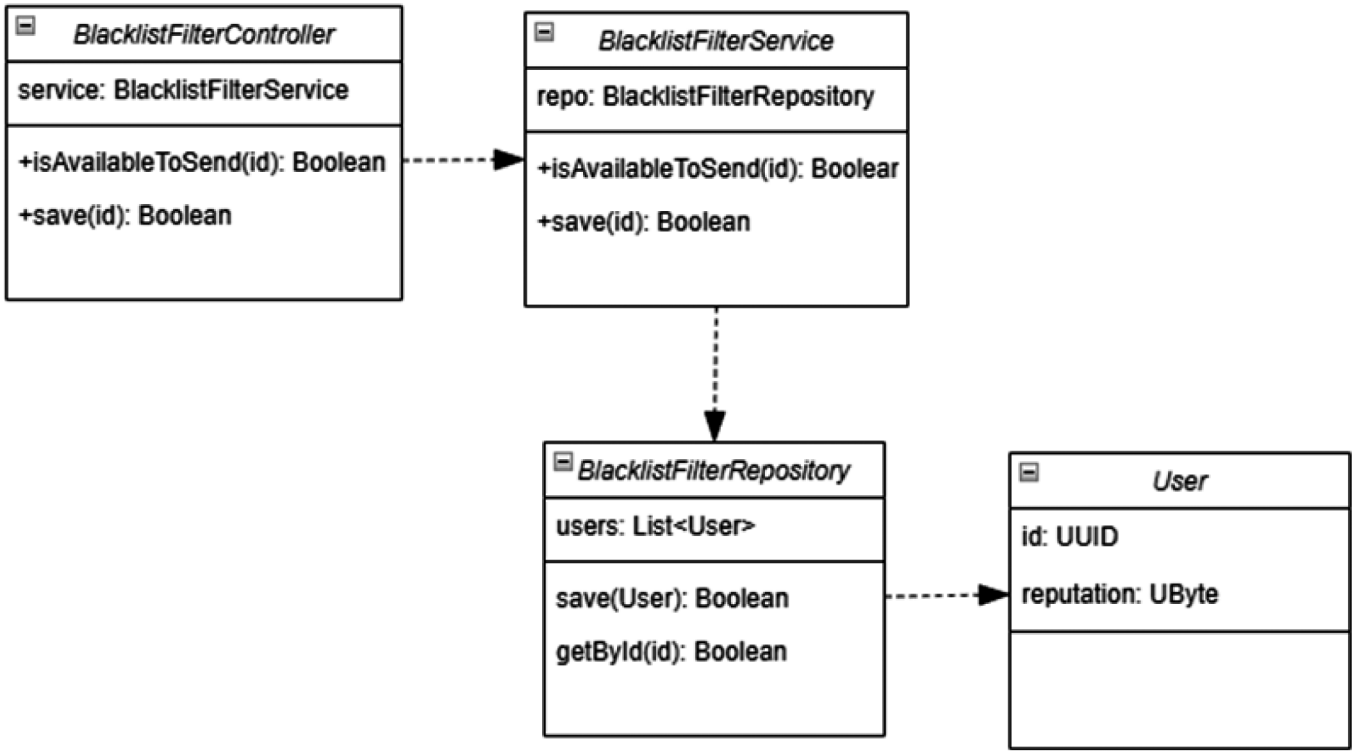


Рис. 5. Диаграмма классов сервиса BlacklistFilter

Листинг 1.

Пример реализации паттерна «оркестратор»

```
@RestController
@RequestMapping(«/api/messages»)
class MessageOrchestratorController(
 private val messageFilterService: MessageFilterService,
 private val fileFilterService: FileFilterService,
 private val blackListFilterService: BlackListFilterService,
 private val businessLogicService: BusinessLogicService,
) {
 @PostMapping(«/send»)
 @CircuitBreaker(name = «messageService», fallbackMethod = «fallbackSendMessage»)
 fun sendMessage(@RequestBody request: MessageRequest): Response<String> {
 if (!messageFilterService.isAvailableToSend(request.senderId, request.receiverId)) {
 return ErrorResponse(HttpStatus.FORBIDDEN, «The user has disabled the ability to send him messages from unknown
users»)}
 if (request.file != null && !fileFilterService.isAvailableToSend(request.senderId, request.file)) {
 return ErrorResponse(
 HttpStatus.BAD_REQUEST,
 «The user disabled the ability to send files with this permission.»
 )
 }
 if (!blackListFilterService.isAvailableToSend(request.senderId)) {
 return ErrorResponse(HttpStatus.TOO_MANY_REQUESTS, «Too many requests»)
 }
 businessLogicService.sendMessage(request.message)
 return SuccessResponse(«success»)
 }
}
```

Оркестрация реализована нами во фреймворке Spring на языке Kotlin. Код представлен в листинге 1.

Здесь класс MessageOrchestratorController — это контроллер, реализующий паттерн «оркестратор» для обработки отправки сообщений. Он координирует последовательную работу фильтров, проверяя каждое входящее сообщение перед передачей в основной бизнес-сервис.

Контроллер обрабатывает POST-запрос на эндпоинт /api/messages/send, получая от клиента объект MessageRequest.

1. Далее выполняются три ключевые проверки:
2. MessageFilterService — проверяет, может ли отправитель отправить сообщение получателю, в том числе с учётом настроек приватности (например, запрет на сообщения от незнакомых пользователей).
3. FileFilterService — если сообщение содержит файл, фильтр проверяет его допустимость по типу, размеру или настройкам отправителя.
4. BlackListFilterService — проверяет, не заблокирован ли пользователь системой (например, за подозрительную активность или превышение лимита).

В ходе последующего тестирования отключим возможность пользователю отправлять сообщения от неизвестных. Результат виден на рис. 6, время запроса составило 22 мс (по кэшируемым значениям в Redis).

Затем проведем тестирование отправки файлов с запрещенным расширением. На рис. 7 видно, что запрос выполнился за 37 мс, причём половина времени ушла на запрос в сервис MessageFilter, а оставшееся время было потрачено на сервис FileFilter.

Для проверки работы последнего фильтра необходимо совершить несколько сотен запросов от лица одного пользователя, чтобы система запретила отправку сообщений на несколько минут. В результате увидим ответ от сервиса по примеру рис. 8. Половина времени работы из 54 мс тратится на поход в сервисы фильтрации сообщений и файлов.

Body Cookies Headers (5) Test Results 429 Too Many Requests 22 ms 260 B

{} JSON ▷ Preview Visualize

```
1 {
2     "error": "The user disabled the ability to send hir messages fror unknown users"
3 }
```

Рис. 6. Ошибка отправки от неизвестного пользователя

Body Cookies Headers (4) Test Results 400 Bad Request 37 ms 220 B

{} JSON ▷ Preview Visualize

```
1 {
2     "error": "The user disabled the ability to send files with this permission"
3 }
```

Рис. 7. Ошибка отправки файла с запрещенным разрешением

Body Cookies Headers (5) Test Results 429 Too Many Requests 54 ms 207 B

{} JSON ▷ Preview Visualize

```
1 {
2     "error": "To many requests"
3 }
```

Рис. 8. Ошибка отправки сообщения из-за спама

Body Cookies Headers (5) Test Results 200 OK 241 ms 185 B

{} JSON ▷ Preview Visualize

```
1 {
2     "message": "Success"
3 }
```

Рис. 9. Запрос, прошедший всю цепочку фильтров

В итоге, если запрос проходит всю цепочку фильтров, то за время порядка 240 мс он попадает в бизнес-слой программного мессенджера (рис. 9).

Заключение

В результате применения концепции многоуровневой системы фильтрации реализована микросервисная архитектура мессенджера, позволяющая существенно усилить уровень защиты пользователя: ограничить взаимодействие с неизвестными пользователями (для предотвращения угроз мошенничества и социальной инженерии) в сочетании фильтром передаваемого содержимого и контролем аномальной активности (от угрозы рассылок спама).

При этом несмотря на внедрение цепочки новых фильтров и, как следствие, усложнения структуры программной системы, удалось достичь приемлемых показателей временных задержек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ механизмов защиты информации в микросервисных архитектурах [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/articles/669816/ (дата обращения 15.02.2025).
2. DNS и NGFW: многоуровневая система защиты [Электронный ресурс]. URL: https://www.it-world.ru/security/ttzq8vsqi3kgs0cg4w0o0kokw8kowwg.html (дата обращения 15.02.2025).
3. Микросервисы vs монолит: разница архитектур и руководство по переходу [Электронный ресурс]. URL: https://worksolutions.ru/blog/mikroservisy-vs-monolit-raznicza-arhitektur-i-rukovodstvo-po-perehodu/ (дата обращения 03.03.2025).
4. Основные принципы разработки [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/articles/810941/ (дата обращения 01.03.2025).
5. Memcached vs Redis [Электронный ресурс]. URL: https://dev.to/faangmaster/memcached-vs-redis-3b9m (дата обращения 27.02.2025).
6. Микросервисы: почему именно gRPC? [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/articles/853392/ (дата обращения 28.02.2025).
7. Проектирование архитектуры для микросервисов с использованием gRPC [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/companies/otus/articles/767724/ (дата обращения 19.02.2025).
8. Что такое Gateway API [Электронный ресурс]. URL: https://community.exolve.ru/blog/chto-takoe-gateway-api/ (дата обращения 25.02.2025).
9. Миграция микросервисной архитектуры на API Gateway [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/articles/765944/ (дата обращения 03.03.2025).
10. Что такое оркестрация и хореография и почему это так важно для микросервисов [Электронный ресурс]. URL: https://babok-school.ru/blog/orchestration-and-choreography-of-microservices-in-eda/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения 05.03.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.14

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АТАК ОТРАВЛЕНИЕМ НА КОМПОНЕНТЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

MODELS AND ALGORITHMS FOR POISONING ATTACKS ON MACHINE LEARNING COMPONENTS OF INTRUSION DETECTION SYSTEMS

Ichetovkin E.

Summary. In modern conditions, intrusion detection systems integrating machine learning methods are actively used to detect cyber threats in computer networks. Such solutions demonstrate high efficiency in detecting anomalies, but their reliability can be significantly reduced in the case of poisoning attacks aimed at compromising training. This study provides a detailed analysis of models and algorithms of such attacks, and assesses their impact on the operation of defense mechanisms. The methodological basis of the work includes modeling data poisoning attacks with subsequent assessment of system performance using classical metrics: accuracy, recall, and F-measure. The key novelty of the study lies in its integrated approach. Various machine learning algorithms used to detect anomalies are considered, including: single-class support vector machines, random forest, and deep machine learning. For the first time, comparative testing of several systems under the influence of targeted poisoning attacks was carried out, which made it possible to identify their critical vulnerabilities. The results of the experimental analysis confirmed that the studied systems are susceptible to poisoning attacks, which leads to a significant decrease in their detection ability. In particular, a 15–30 % drop in F-score was observed depending on the attack type and the model used. The findings highlight the need to develop more robust learning methods that are resistant to adversarial influences, as well as to modernize existing intrusion detection systems with intelligent classifiers. The work contributes to the development of defense mechanisms by offering not only threat analysis, but also a direction for further research in the field of improving the resilience of machine learning algorithms for intrusion detection systems under poisoning attacks.

Keywords: cybersecurity, intrusion detection systems, poisoning attacks, machine learning component, models and algorithms.

Ичетовкин Егор Андреевич
Аспирант, Лаборатория проблем компьютерной безопасности, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук
ichetovkin.e@iias.spb.su

Аннотация. В современных условиях для выявления киберугроз в компьютерных сетях активно применяются системы обнаружения вторжений, интегрирующие методы машинного обучения. Подобные решения демонстрируют высокую эффективность при детектировании аномалий, однако их надежность может быть существенно снижена в случае реализации атак отравления, направленных на компрометацию обучения. В данном исследовании проводится детальный анализ моделей и алгоритмов подобных атак, а также оценивается их влияние на работу защитных механизмов. *Методологическая основа* работы включает моделирование атак отравления данных с последующей оценкой производительности систем с использованием классических метрик: точности, полноты и F-меры. *Ключевая новизна* исследования заключается в комплексном подходе. Рассматриваются различные алгоритмы машинного обучения, применяемые для обнаружения аномалий, включая: одноклассовые машины с опорными векторами, случайный лес и глубокое машинное обучение. *Впервые* проведено сравнительное тестирование нескольких систем под воздействием целенаправленных атак отравлением, что позволило выявить их критические уязвимости. *Результаты* экспериментального анализа подтвердили, что исследуемые системы подвержены влиянию атак отравления, что приводит к значительному снижению их детектирующей способности. В частности, наблюдалось падение F-меры на 15–30 % в зависимости от типа атаки и используемой модели. Полученные данные подчеркивают необходимость разработки более устойчивых методов обучения, устойчивых к состязательным воздействиям, а также модернизации существующих систем обнаружения вторжений с интеллектуальными классификаторами. *Работа вносит вклад* в развитие защитных механизмов, предлагая не только анализ угроз, но и направление для дальнейших исследований в области повышения устойчивости алгоритмов машинного обучения систем обнаружения вторжений в условиях атак отравлением.

Ключевые слова: кибербезопасность, системы обнаружения вторжений, атаки отравлением, компонент машинного обучения, модели и алгоритмы.

Введение

В современных реалиях обеспечение информационной безопасности немыслимо без систем обнаружения вторжений (СОВ). Рост числа и сложности кибератак на важную инфраструктуру, включая объекты государственного значения, требует разработки более эффективных методов защиты [1].

Применяемые для защиты ответственной инфраструктуры СОВ принято делить на три категории:

- Сигнатурные — используют заранее заданные правила для выявления известных угроз, демонстрируя высокую точность при обнаружении атак с известными шаблонами.
- Эвристические — опираются на анализ поведенческих признаков (эвристик) сетевой активности.

Последние исследования подтверждают, что методы машинного обучения (МО) значительно повышают эффективность таких систем.
- Гибридные — комбинируют оба подхода, что позволяет сочетать оперативность сигнатурного анализа с широким охватом эвристических методов [2].

Особую опасность для компонентов машинного обучения гибридных и эвристических СОВ представляют состязательные атаки. Поскольку они направлены на манипуляцию с классификаторами детектирования аномалий [3]. В отличие от традиционных киберугроз, эти атаки эксплуатируют специфику нейросетевых моделей — их сложную структуру и статистическую природу. Стандартные механизмы защиты зачастую оказываются бесполезными против таких атак [4]. Существует несколько объяснений уязвимости моделей машинного обучения систем обнаружения вторжений:
- Нелинейность архитектуры — приводит к формированию «слепых зон», где модель некорректно интерпретирует входные данные.
- Переобучение — даже незначительные отклонения от обучающей выборки могут вызвать ошибочные предсказания.

Атаки на компоненты МО СОВ делятся на основные группы:
1. Атаки уклонением (evasion attacks) — злоумышленник модифицирует входные данные (например, добавляет шум или искажает признаки), чтобы обмануть классификатор.
2. Атаки отравлением (poisoning attacks) — направлены не на входные данные, а на саму модель, изменяя её параметры или границы принятия решений.
3. Скрытые угрозы (backdoors/trojans) — особая разновидность атак отравлением, при которой модель тайно активирует вредоносную логику при определенных условиях.

В работе анализируются методы и алгоритмы poisoning-атак (отравления), представляющих серьезную угрозу для систем машинного обучения, особенно в условиях ограниченности обучающих выборок [5].

Основная задача исследования — моделирование и анализ воздействия атак отравления на МО-компоненты систем обнаружения вторжений. Особое внимание уделяется исследованию динамики ключевых метрик качества классификации: *precision* (точности), *recall* (полноты) и *F*-меры при целенаправленном искажении обучающих данных.

Научная новизна исследования заключается в систематизации критериев оценки уязвимости классификаторов СОВ, разработке математической модели атак отравления и детальной спецификации экспериментальной методики. Приведены табличные данные и графики, демонстрирующие влияние искаженных данных на метрики МО-моделей.

Экспериментальная часть включает количественную оценку деградации качества классификации по трем ключевым показателям в условиях различных сценариев атак.

Структура статьи построена следующим образом: в Разделе I обсуждаются основные критерии оценки эффективности классификаторов. Раздел II посвящен сравнительному анализу различных алгоритмов компонентов машинного обучения. Описание датасетов и их характеристик приведено в Разделе III. Математические модели атак формализованы в Разделах IV–V. Методология эксперимента изложена в Разделе VI, тогда как Раздел VII содержит интерпретацию полученных результатов и выводы.

I. Критерии обнаружения

Эффективность классификаторов принято оценивать с помощью специальных метрик, которые показывают, насколько точно система отличает реальные угрозы от ошибочных тревог. Проще говоря, эти показатели помогают понять, сколько атак действительно обнаружила система и сколько из них оказались ложными срабатываниями [6].

Одним из ключевых показателей является точность (*Precision*) — доля корректно выявленных атак среди всех срабатываний системы. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

где TP (True Positives) — верно определенные атаки, а FP (False Positives) — ложные срабатывания.

Еще одна важная метрика — полнота (*Recall*), показывающая, какая часть реальных атак была обнаружена:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

где FN (False Negatives) означает пропущенные угрозы.

Для комплексной оценки используют F-меру — гармоническое среднее между точностью и полнотой:

$$F = 2\frac{precision \times recall}{precision + recall}. \quad (3)$$

Данный показатель учитывает как ложные срабатывания (FP), так и пропущенные атаки (FN), что делает его

особенно полезным при анализе сбалансированности модели [7].

II. Системы обнаружения вторжений на базе МО

Современные научные работы [8–10] подтверждают эффективность алгоритмов машинного обучения в задачах детектирования киберугроз. Подобные выводы актуализируют потребность в дальнейшем изучении уязвимостей самих классификаторов к целенаправленным атакам.

В контексте классификации сетевого трафика исследователи [11] добились значимых результатов, применив метод OC-SVM (One-Class Support Vector Machines, одноклассовые машины с опорными векторами). Другой подход продемонстрирован в работе [12], где нейросетевые технологии использовались для выявления ботнет-активности — здесь модель RF (Random Forest, случайный лес), обученная на датасете CICIDS, показала исключительную детектирующую способность.

Не менее интересны сравнительные исследования алгоритмов машинного обучения в области кибербезопасности. Так, авторы [13] провели комплексный анализ эффективности различных архитектур, включая DBN (Deep Belief Network, глубинные сети доверия) и MLP (Multi-layer Perceptron, многослойный перцептрон). Ключевыми этапами стали предварительный отбор и снижение размерности пространства информативных признаков.

Сводные характеристики систем обнаружения вторжений с компонентами машинного обучения систематизированы в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнение СОВ с компонентами машинного обучения

Модель	Метрики			СОВ
	F,%	Precision	Recall	
OC-SVM/ RF	99	99	98	Multi-Stage IDS with Machine Learning Component (Multi-Stage IDS) [10]
Random Forest	97	98	96	Machine Learning-Based Intrusion Detection System (ML-Based IDS) [11]
DBN	94	89	99	Intrusion detection system based on deep learning neural networks (IDS based DBN) [12]

Рассматриваемые параметры характеризуют интеграцию алгоритмов машинного обучения в СОВ и включают соответствующие метрики эффективности детектирования угроз. Вместе с тем, авторы не затрагивают критически важный аспект — уязвимость классификаторов к атакам отравлением. Для восполнения этого пробела требуется разработка специализированной системы оценивания устойчивости моделей к подобным воздействиям, как обосновано в исследовании [14].

III. Набор данных для моделирования атак

В современных исследованиях по информационной безопасности широко применяется датасет CICIDS [15], включающий как модели реальных кибератак, так и примеры нормальной сетевой активности. Этот комплексный набор данных предоставляет детализированную информацию о сетевых потоках, включая временные метки, IP-адреса (Internet Protocol, интернет-протокол) взаимодействующих узлов, номера портов, используемые протоколы и классификацию атакующих методик.

Особенностью CICIDS является применение системы b-профилей, которая анализирует типичные паттерны поведения пользователей и генерирует соответствующий фоновый трафик. В рамках датасета смоделирована деятельность 25 абстрактных пользователей, взаимодействующих через распространенные протоколы: HTTP (Hypertext Transfer Protocol, протокол передачи гипертекста), HTTPS (Hyper Text Transfer Protocol Secure, Защищенный протокол передачи гипертекста), FTP (File Transfer Protocol, протокол передачи файлов), SSH (Secure Shell, защищенная оболочка), а также использующих электронную почту.

Тестовая среда включала типовые сетевые компоненты: модем, межсетевой экран, коммутатор, маршрутизатор и хосты под управлением ОС Ubuntu [16].

Данные охватывают непрерывную неделю мониторинга, что позволяет анализировать динамику сетевой активности с привязкой ко времени и дням недели. В текущей работе CICIDS используется для оценки систем из таблицы 1 по критериям (1–3) в двух состояниях — до и после атаки. Такой подход дает возможность измерить воздействие кибератак на производительность систем обнаружения вторжений с компонентами машинного обучения [17].

IV. Модели атак отравлением

В отличие от атак уклонением, атаки отравлением манипулируют обучающими данными. Эти атаки можно классифицировать по четырём ключевым типам, различающимся по возможностям злоумышленника и моменту вмешательства. При этом атакующий может столкнуться с ограничениями: допустимое число модификаций, штрафы за изменения, допустимые типы преобразований данных [18].

Одним из распространённых методов является атака модификации меток (Label modification attacks), при которой изменяются только метки данных. Эта атака применима к произвольным точкам данных, но обычно имеет ограничения, например, на максимальное число изменяемых меток. Чаще всего она используется против двоичных классификаторов [19].

Другой тип — атака вставки яда (Poison insertion attacks), когда злоумышленник добавляет вредоносные векторы признаков. В отличие от предыдущего метода, эта атака работает в условиях обучения без учителя, где можно манипулировать только признаками, но не метками [20].

Более гибкой является атака модификации данных (Data modification attacks), позволяющая изменять как признаки, так и метки для произвольного подмножества обучающих данных. Это делает её особенно опасной, поскольку атакующий может адаптировать изменения под конкретную модель [21].

Наконец, атака «кипящей лягушки» (Boiling frog attacks) основана на постепенном отравлении модели в процессе её итеративного переобучения. В отличие от агрессивных вмешательств, здесь злоумышленник вносит малозаметные изменения на каждом этапе, что в долгосрочной перспективе серьёзно искажает работу модели. Такая атака особенно эффективна в сценариях обучения без учителя [22].

В типичном сценарии атак с отравлением данных злонамеренные акторы первоначально работают с нетронутым обучающим набором D_0, который впоследствии модифицируется в отравленную версию D. На этом изменённом наборе затем происходит обучение целевой модели машинного обучения [23].

Подобно атакам на этапе инференса, на этапе обучения злоумышленники могут преследовать два типа целей:

- Целевые атаки, направленные на манипуляцию предсказаниями модели для конкретных выборок S.
- Атаки на устойчивость, целью которых является общее снижение точности модели.

Ключевой задачей атакующего становится балансирование между эффективностью атаки и незаметностью внесённых изменений. Математически это выражается через функцию риска:

$$R_A(D, S), \tag{4}$$

которая зависит от параметров модели W, обученных на модифицированных данных D.

Стоимость модификации набора данных описывается уравнением:

$$c(D_0, D). \tag{5}$$

Оптимизационная задача злоумышленника часто формулируется как:

$$\min_D R_A(D, S) + \lambda c(D_0, D), \tag{6}$$

где параметр λ регулирует баланс между успешностью атаки и масштабом вмешательства. Альтернативно, можно использовать ограниченную по ресурсам постановку:

$$\min_D R_A(D, S),$$
$$c(D_0, D) \le C, \tag{7}$$

где C — максимально допустимая стоимость модификаций.

В ряде случаев вместо минимизации риска удобнее максимизировать функцию успешности атаки, которая связана с R_A обратной зависимостью, что позволяет напрямую оценить эффективность атаки:

$$U_A(D, S) = -R_A(D, S), \tag{8}$$

где U — успешность атаки, которую киберпреступник пытаться максимизировать.

Таким образом, выбор между этими подходами зависит от конкретных условий атаки и доступных злоумышленнику ресурсов. [24].

V. Алгоритмы атак отравлением

Атаки, нацеленные на системы онлайн-детектирования, представляют особую угрозу, поскольку нарушают работу эвристических методов анализа и затрудняют выявление редких или ранее неизвестных угроз. Речь идет о так называемой BFA (Boiling frog attacks, атака «кипящая лягушка»), которая основана на предположении, что алгоритм обнаружения аномалий регулярно обновляет свою модель по мере поступления новых данных. Злоумышленник постепенно накапливает информацию и внедряет изменения между последовательными циклами переобучения модели.

Ключевой элемент этой атаки — целевой вектор признаков X_T, который злоумышленник стремится внедрить в систему так, чтобы в дальнейшем он был ошибочно классифицирован как легитимный. По сути, это медленная и незаметная манипуляция, напоминающая принцип «лягушки, не замечающей постепенного нагрева воды» [25].

На определенном шаге обучения T атакующая стратегия достигает успеха, если выполняется условие:

$$\|X_T - \mu_T \geq r\|, \quad (9)$$

где T — номер итерации, μ_T — текущее положение центроида, а r — заданный порог детектирования аномалий.

В отличие от случайных возмущений, эта атака носит целенаправленный характер: злоумышленник стремится подобрать такое X_T, чтобы расстояние до центроида равнялось пороговому значению:

$$\|X_T - \mu_T\| = r. \quad (10)$$

Подобная тактика, основанная на постепенном «отравлении» обучающей выборки, является уникальной для онлайн-детекторов, использующих центроиды. Ее ключевое преимущество — скрытое внедрение вредоносных образцов, которые формально остаются в рамках нормы, но систематически смещают границы принятия решений [26].

Механизм атаки можно представить следующим образом. На каждой итерации, когда у злоумышленника появляется возможность модификации данных, он добавляет объект X_T расположенный строго на границе допустимой области. Вычисляется направление смещения:

$$a = \frac{X_T - \mu_T}{\|X_T - \mu_T\|}, \quad (11)$$

единичный вектор, который задает ориентацию атаки относительно центроида, но при этом остается в пределах нормальной области.

Тогда сам атакующий экземпляр принимает вид:

$$X_A = \mu_T + ra, \quad (12)$$

Такой подход гарантирует, что внедряемые данные не вызовут срабатывания детектора, но приведут к постепенной деградации его точности. В результате, когда произойдет реальная атака, система может классифицировать ее как нормальное поведение, что создает серьезные угрозы безопасности [27].

VI. Моделирование атак отравлением

Ранее был представлен сравнительный анализ систем обнаружения вторжений с компонентами машинного обучения, характеристика которых систематизированными в таблице 1. В рамках исследования изучалась устойчивость данных систем к атакам отравление. Работа классификаторов СОВ оценивалась по трем ключевым метрикам: полнота, точность, F-мера (1–3).

Для моделирования атак был выбран алгоритм BFA (атака «кипящая лягушка»). Для успешной реализации таких атак на МО-компоненты СОВ требуется выполнение двух критических условий.

Во-первых, злоумышленник должен постоянно мониторить оптимальные решения X_A.

Во-вторых, если в процессе онлайн-атаки нарушается равенство (10), необходимо заменять X_T на μ_T для его восстановления.

Суть BFA-атаки заключается в поиске минимального возмущения, способного изменить результат классификации входных данных [28].

В качестве примера рассмотрен Python-алгоритм, который может быть адаптирован для манипуляции процессом распознавания сетевых атак. Алгоритм маркирует все соединения как атаки, если они происходят в заданном временном окне после известного вредоносного события. Код реализации ранее был представлен автором в исследование [6]. Применяя в заранее определенные временные интервалы X_T, атака модифицирует исходно «чистый» трафик μ_T, что в ходе обучения модели приводит к смещению центроида согласно (12).

Это, в свою очередь, вызывает снижение эффективности СОВ, что проявляется в ухудшении значений метрик (1-3). Здесь параметр X_T отражает долю вредоносного трафика, искусственно внедренного в нормальный трафик μ_T. При превышении порогового значения r система перестает адекватно реагировать на аномальную активность, теряя способность к детектированию угроз.

VII. Эксперимент

Проанализируем уязвимость ML-based IDS. Исходный код системы, как и всех представленных в работе, разработан на высокоуровневом языке программирования Python и представлен в открытом доступе в сети Интернет.

Система реализована с применением следующих библиотек машинного обучения: scikit-learn для классических алгоритмов, tensorflow и keras — для глубокого обучения [11]. В частности, из пакета keras задействованы:

- модуль sequential, позволяющий строить слои нейросети;
- компонент model, обеспечивающий гибкость архитектуры.

Экспериментальное исследование проводилось с использованием BFA (атака «кипящей лягушки») — метода, который манипулирует обучающими данными.

Результаты тестирования с варьируемыми параметрами X_T демонстрируют уязвимость представленной системы обнаружения вторжений (таблица 2). Визуальная интерпретация динамики атаки представлена на рис. 1, где четко прослеживаются критические точки деградации детектора.

Таблица 2.

BFA атака на ML-based IDS

X_T	μ_T	*F*,%	*Recall*	*Precision*
0.00	1.00	97	96	98
0.06	0.94	95	94	96
0.08	0.92	92	90	95
0.12	0.88	92	88	96
0.16	0.84	88	82	95
0.20	0.80	85	78	94
0.24	0.76	73	62	90
0.28	0.72	64	54	80
0.32	0.68	58	44	85
0.36	0.64	48	34	80
0.40	0.60	35	24	66
0.44	0.56	23	14	62
0.48	0.52	4	02	38
0.52	0.48	4	02	34

Анализ экспериментальных данных показывает, что даже при незначительном уровне загрязнения трафика (X_T =0.2, что соответствует 20% вредоносных пакетов) наблюдается выраженная деградация ключевых метрик качества классификации.

Интересно отметить, что показатели *Recall* (полнота) демонстрируют более резкий спад по сравнению с *Precision* (точностью), что свидетельствует о растущем количестве ложноположительных срабатываний при увеличении доли аномального трафика.

В рамках работы была исследована многоуровневая система обнаружения вторжений Multi-stage IDS. СОВ основанна на принципах иерархического анализа. Реализация выполнена на Python с активным использованием таких библиотек машинного обучения, как scikit-learn (включая модули One-Class SVM, Random Forest и классификаторы), а также инструментов сериализации данных (pickle) для интеграции компонентов [12].

Влияние на работоспособность МО-компонентов системы обнаружения вторжений в рамках проведенной BFA-атака видно из таблицы 3 и рис. 2.

На рис. 2 наблюдается сбалансированность системы, что подтверждается устойчивыми показателями *F*-меры. Тем не менее, при достижении уровня вредоносного трафика X_T =0.16 (16%) отмечается снижение точности, которое при X_T =0.27 приводит к практически полному выравниванию её абсолютного значения с полнотой.

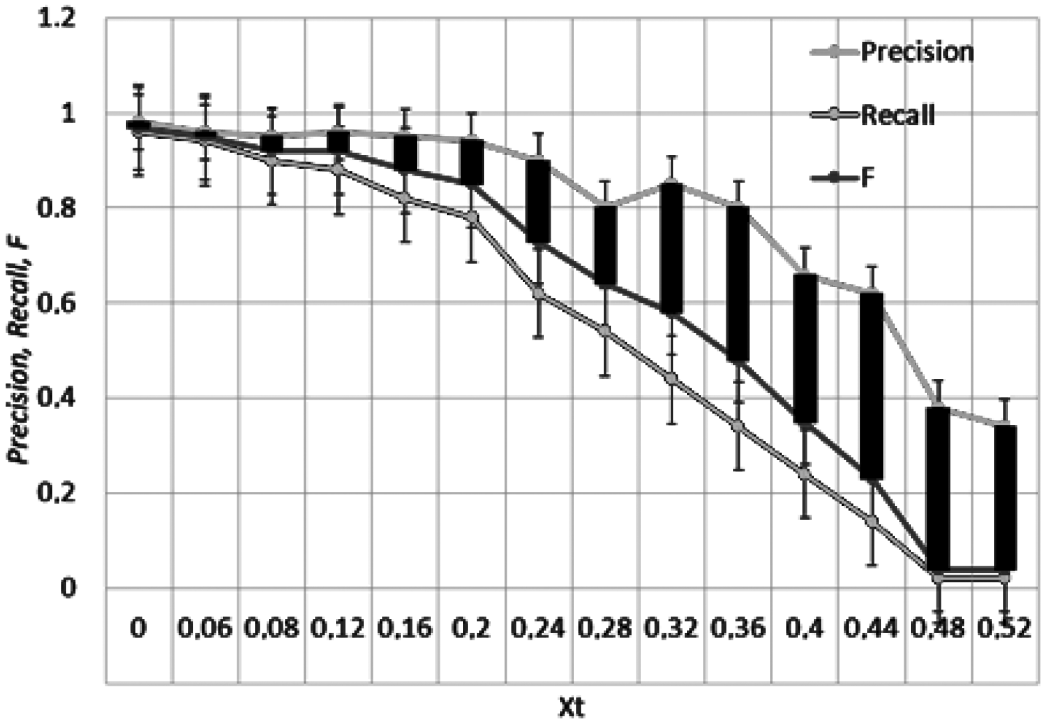


Рис. 1. Результат BFA атаки на ML-based IDS

Таблица 3.

BFA атака на Multi-stage IDS

X_T	μ_T	*F*,%	*Recall*	*Precision*
0.00	1.00	98	98	99
0.06	0.94	97	96	98
0.08	0.92	93	90	96
0.12	0.88	89	87	92
0.16	0.84	86	83	90
0.20	0.80	82	79	86
0.24	0.76	77	72	82
0.28	0.72	64	64	65
0.32	0.68	56	57	56
0.36	0.64	48	50	47
0.40	0.60	40	42	38
0.44	0.56	31	35	29
0.48	0.52	23	28	20
0.52	0.48	14	20	11

Для следующего эксперимента была выбрана IDS based DBN это СОВ на основе DBN (Deep Belief Network, глубокая доверительная сеть) — архитектуры машинного обучения, построенной на комбинации нейронных сетей глубокого обучения и RBM (Restricted Boltzmann Machines, ограниченных машин Больцмана), выполняющих роль скрытых слоёв. Реализация системы выполнена на Python с задействованием библиотек Torch и NN. Первая обеспечивает операции с тензорами и алгоритмами глубокого обучения, а модуль NN в PyTorch применяется для конструирования нейросетевых моделей.

Инициализация RBM для скрытых слоёв осуществляется последовательно: в цикле генерируются экземпляры RBM, где первый слой связывается с входными данными, а последующие — друг с другом. Обучение DBN проводится через метод fit для каждой RBM с параллельным обновлением входных данных для следующих слоёв сети, что в итоге возвращает значение среднеквадратичной ошибки [13].

Данные по атакам на МО-компоненты системы обнаружения вторжений приведены в таблице 4 и проиллюстрированы на рис. 3.

Данная атака демонстрирует нетипичное поведение, характеризующееся множественными пересечениями кривых *Precision* и *Recall* в точках X_T =0.24, X_T =0.32 и X_T =0.48. Такая динамика, вероятно, обусловлена спецификой функционирования DBN. Несмотря на общую сбалансированность системы и устойчивость метрики *F*, наблюдается критическое ухудшение всех ключевых показателей (*Precision*, *Recall*, *F*) при превышении порога X_T=0.2 (эквивалентно 20 % доли вредоносного трафика в условно легитимном потоке).

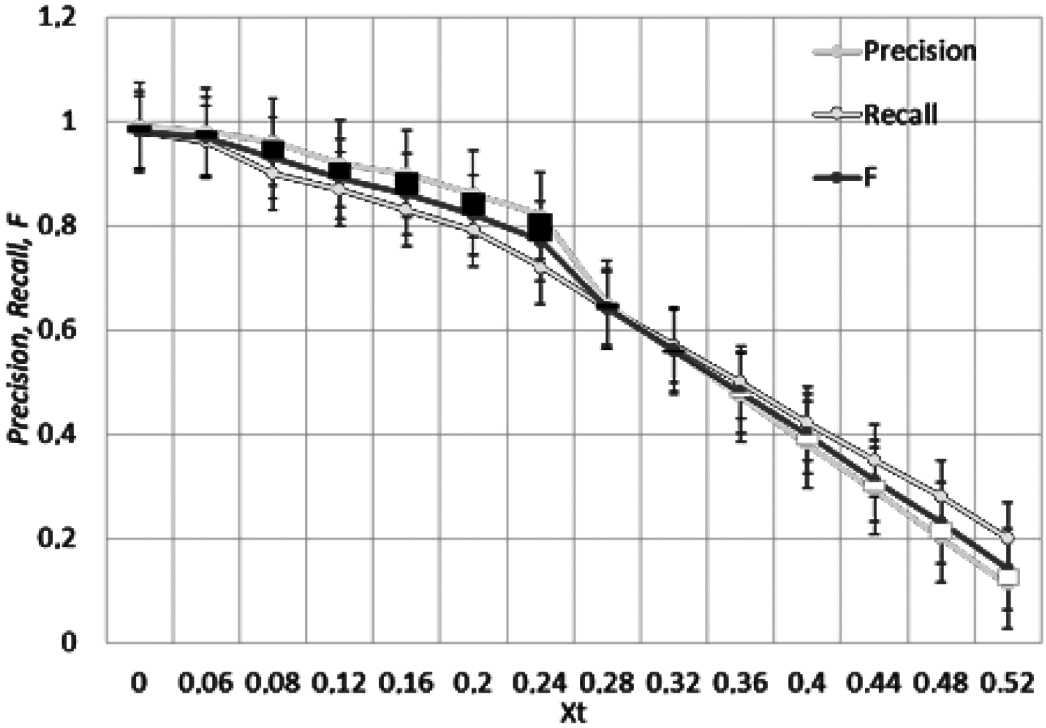


Рис. 2. Результат BFA атаки на Multi-stage IDS

Таблица 4.

BFA атака на IDS based DBN

X_T	μ_T	F,%	Recall	Precision
0.00	1.00	94	99	89
0.06	0.94	93	98	88
0.08	0.92	89	92	86
0.12	0.88	77	83	72
0.16	0.84	77	80	74
0.20	0.80	70	74	66
0.24	0.76	68	69	68
0.28	0.72	66	63	70
0.32	0.68	58	58	59
0.36	0.64	44	44	44
0.40	0.60	33	41	28
0.44	0.56	20	34	14
0.48	0.52	12	12	12
0.52	0.48	2	1	10

Проведённый анализ систем обнаружения вторжений выявил их критическую зависимость от устойчивости алгоритмов машинного обучения к целенаправленным искажениям входных данных. Как показывают эксперименты, все рассмотренные решения демонстрируют susceptibility (восприимчивость) к poisoning attacks (атакам на заражение обучающей выборки), что ставит под сомнение их надёжность при защите critical infrastructure (ответственных объектов информационной инфраструктуры).

Для практического использования таких систем в реальных условиях необходимо обязательное внедрение специализированных защитных механизмов — своеобразного «иммунного ответа» на попытки компрометации данных. Только при наличии таких countermeasures (противодействий) можно гарантировать, что технологии машинного обучения смогут эффективно выполнять свою защитную функцию, выступая в роли «цифровых дозорных» на стратегически важных участках сети.

Примечательно, что эта уязвимость носит фундаментальный характер — она присуща даже наиболее продвинутым hybrid IDS (гибридным системам обнаружения вторжений), сочетающим сигнатурные и поведенческие методы анализа. Это напоминает ситуацию, когда самая совершенная охранная сигнализация остаётся бесполезной, если злоумышленник получает доступ к её настройкам.

Заключение

В данной работе представлен всесторонний анализ уязвимостей современных алгоритмов машинного обучения, применяемых в системах обнаружения вторжений. Для этого представлены модели и алгоритмы атак отравления. Проведенные эксперименты убедительно

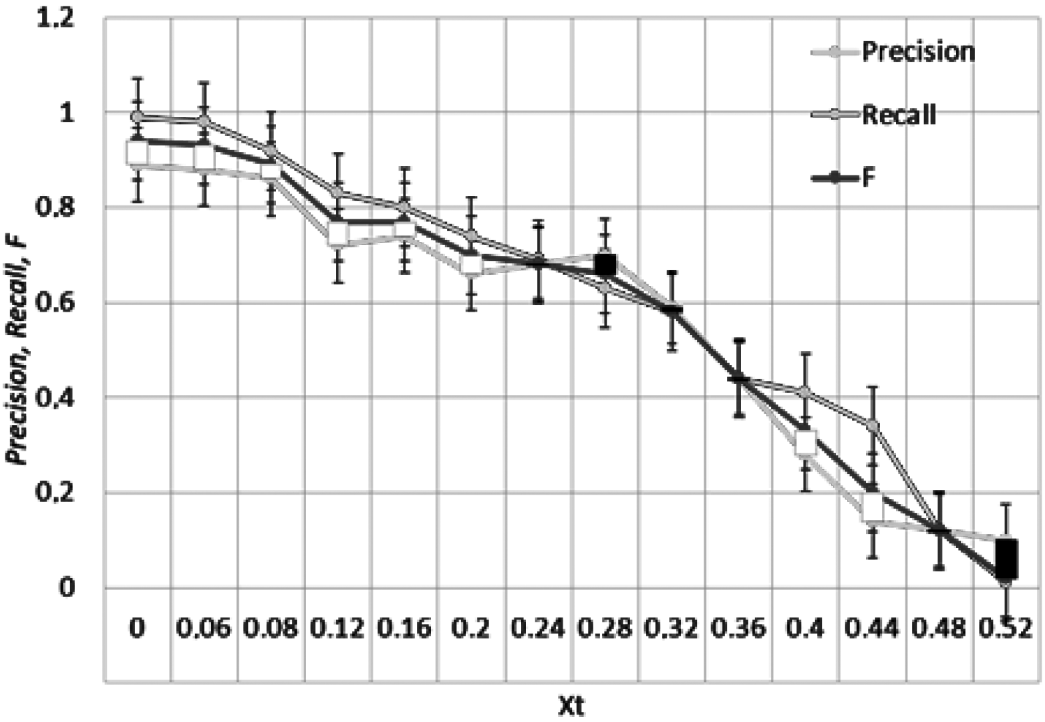


Рис. 3. Результат BFA атаки на IDS based DBN

демонстрируют парадоксальную ситуацию: хотя методы искусственного интеллекта действительно эффективно выявляют кибератаки, сами алгоритмы классификации оказываются крайне восприимчивыми к целенаправленным манипуляциям с обучающими данными.

Особую опасность представляет так называемый «эффект лягушки в кипятке» (boiling frog attack), при котором злоумышленник постепенно вносит незаметные изменения в обучающую выборку. Исследование показало, что подобные атаки приводят к значительной деградации ключевых метрик качества работы классификаторов — точности (*precision*), полноты (*recall*) и *F*-меры, которые являются критически важными для оценки эффективности систем информационной безопасности.

В качестве потенциального решения проблемы предлагается использовать архитектуры на основе автоэнкодеров (autoencoders) — специальных нейросетевых моделей, способных выявлять аномалии в данных. Такие системы могут служить дополнительным защитным механизмом, фильтруя потенциально опасные образцы перед их подачей на вход основного классификатора.

Перспективы дальнейших исследований видятся в следующих направлениях:

- Разработка новых алгоритмических подходов к защите компонентов машинного обучения СОВ.
- Исследование других типов состязательных атак, в частности атак уклонения (evasion attacks).
- Создание комплексных методов оценки устойчивости моделей к различным видам адверсарных воздействий.

Полученные результаты подчеркивают необходимость создания специализированных механизмов защиты компонентов машинного обучения систем обнаружения вторжений, работающих в условиях потенциальных киберугроз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Elhanashi A., Gasmi K., Begni A., Dini P., Zheng Q., Saponara S. Machine Learning Techniques for Anomaly-Based Detection System on CSE-CIC-IDS2018 Dataset // Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society: APPLEPIES 2022. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2023. P. 131–140. DOI: 10.1007/978-3-031-30333-3_12.
2. Jing D., Chen H.B. SVM Based Network Intrusion Detection for the UNSW-NB15 Dataset // Proceedings of the 2019 IEEE 13th International Conference on ASIC (ASICON). Chongqing, China, 29 October–1 November 2019. P. 1–4. DOI: 10.1109/ASICON47005.2019.8983564.
3. Kotenko I., Kuleshov A., Ushakov I. Aggregation of Elastic Stack Instruments for Collecting, Storing and Processing of Security Information and Events // Proceedings of the 14th IEEE Conference on Advanced and Trusted Computing (ATC 2017). San Francisco, USA, 4–8 August 2017. P. 1550–1557. DOI: 10.1109/ATC.2017.8167682.
4. Ichetovkin E., Kotenko I. Modeling Attacks on Machine Learning Components of Intrusion Detection Systems // 2024 International SmartIndustryCon. Sochi, Russian Federation, 2024. P. 261–266. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515506.
5. Hanif S., Ilyas T., Zeeshan M. Intrusion Detection in IoT Using Artificial Neural Networks on UNSW-15 Dataset // Proceedings of the 2019 IEEE 16th International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT IoT and AI (HONET-ICT). Charlotte, NC, USA, 6–9 October 2019. P. 152–156. DOI: 10.1109/HONET.2019.8908059.
6. Ichetovkin E., Kotenko I. Modeling Poisoning Attacks Against Machine Learning Components of Intrusion Detection Systems // 2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). Altai, Russian Federation, 2024. P. 1850–1855. DOI: 10.1109/EDM61683.2024.10615198.
7. Alshehri A., Alghamdi A., Alqahtani A. A Machine Learning-Based Intrusion Detection for Detecting Internet of Things Network Attacks // Journal of King Saud University — Computer and Information Sciences. 2022. DOI: 10.1016/j.jksuci.2022.05.005.
8. Branitskiy A., Kotenko I. Network Attack Detection Based on Combination of Neural, Immune and Neuro-Fuzzy Classifiers // Proceedings of the IEEE 18th International Conference on Computational Science and Engineering (CSE 2015). 2015. P. 152–159. DOI: 10.1109/CSE.2015.28.
9. Kotenko I., Chechulin A., Komashinsky D. Categorisation of Web Pages for Protection Against Inappropriate Content in the Internet // International Journal of Internet Protocol Technology. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 61–71. DOI: 10.1504/IJIPT.2017.083381.
10. Branitskiy A., Kotenko I. Hybridization of Computational Intelligence Methods for Attack Detection in Computer Networks // Journal of Computational Science. 2017. Vol. 23. P. 145–156. DOI: 10.1016/j.jocs.2017.10.003.
11. Verkerken M., D'hooge L., Sudyana D., Lin Y., Wauters T., Volckaert B., De Turck F. Novel Multi-Stage Approach for Hierarchical Intrusion Detection // IEEE Transactions on Network and Service Management. 2023. P. 1–1. DOI: 10.1109/TNSM.2023.3318705.
12. Goryunov M., Matskevich A., Rybolovlev D. Synthesis of a Machine Learning Model for Detecting Computer Attacks Based on the CICIDS2017 Dataset // Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS. 2020. Vol. 32, Issue 5. P. 81–94. DOI: 10.15514/ISPRAS-2020-32(5)-6.
13. Belarbi O., Khan A., Carnelli P., Spyridopoulos T. An Intrusion Detection System Based on Deep Belief Networks // Proceedings of the 4th International Conference on Science of Cyber Security (SciSec 2022). Cham: Springer, 2022. P. 377–392. DOI: 10.1007/978-3-031-17189-5_26.
14. Zhang C., Costa-Pérez X., Patras P. Adversarial Attacks Against Deep Learning-Based Network Intrusion Detection Systems and Defense Mechanisms // IEEE/ACM Transactions on Networking. 2022. Vol. 30, No. 3. P. 1294–1311. DOI: 10.1109/TNET.2022.3159581.
15. Sauka K., Shin G.-Y., Kim D.-W., Han M.-M. Adversarial Robust and Explainable Network Intrusion Detection Systems Based on Deep Learning // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, No. 13. P. 6451. DOI: 10.3390/app12136451.
16. Alhajjar E., Maxwell P., Bastian N. Adversarial Machine Learning in Network Intrusion Detection Systems // Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 186. P. 115782. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115782.

17. Pierazzi F., Pendlebury F., Cortellazzi J., Cavallaro L. Intriguing Properties of Adversarial ML Attacks in the Problem Space // Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). 2020. P. 1332–1349. DOI: 10.1109/SP40000.2020.00057.
18. Abdelaty M., Scott-Hayward S., Doriguzzi-Corin R., Siracusa D. GaDoT: GAN-Based Adversarial Training for Robust DDoS Attack Detection // Proceedings of the 9th IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS). 2021. P. 1–9. DOI: 10.1109/CNS53000.2021.9705029.
19. Tramèr F., Kurakin A., Papernot N., Goodfellow I.J., Boneh D., McDaniel P.D. Ensemble Adversarial Training: Attacks and Defenses // Proceedings of the 6th International Conference on Learning Representations (ICLR). 2018. P. 1–22. DOI: 10.48550/arXiv.1705.07204.
20. Pawlicki M., Choraś M., Kozik R. Defending Network Intrusion Detection Systems Against Adversarial Evasion Attacks // Future Generation Computer Systems. 2020. Vol. 110. P. 148–154. DOI: 10.1016/j.future.2020.04.012.
21. Patel N., Krishnamurthy P., Garg S., Khorrami F. Overriding Autonomous Driving Systems Using Adaptive Adversarial Billboards // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2022. Vol. 23, No. 8. P. 11386–11396. DOI: 10.1109/TITS.2021.3129785.
22. Vaccari I., Carlevaro A., Narteni S., Cambiaso E., Mongelli M. Explainable and Reliable Against Adversarial Machine Learning in Data Analytics // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 83949–83970. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3197500.
23. Moosavi-Dezfooli S.-M., Fawzi A., Frossard P. DeepFool: A Simple and Accurate Method to Fool Deep Neural Networks // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 2574–2582. DOI: 10.1109/CVPR.2016.282.
24. Costantino G., Matteucci I. Reversing Kia Motors Head Unit to Discover and Exploit Software Vulnerabilities // Journal of Computer Virology and Hacking Techniques. 2022. Vol. 19. P. 33–49. DOI: 10.1007/s11416-022-00441-2.
25. Cheng Q., Zhou S., Shen Y., Kong D., Wu C. Packet-Level Adversarial Network Traffic Crafting Using Sequence Generative Adversarial Networks. 2021. P. 47–94. DOI: 10.48550/arXiv.2106.12345.
26. Devarakonda A., Sharma N., Saha P., Ramya S. Network Intrusion Detection: A Comparative Study of Four Classifiers Using the NSL-KDD and KDD'99 Datasets // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2161. P. 012043. DOI: 10.1088/1742-6596/2161/1/012043.
27. Mozaffari S., Al-Jarrahand O.Y., Dianati M., Jennings P., Mouzakitis A. Deep Learning-Based Vehicle Behaviour Prediction for Autonomous Driving Applications: A Review // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2022. Vol. 23, No. 1. P. 33–47. DOI: 10.1109/TITS.2021.3117259.
28. Hsu T.-M., Wang C.-H., Hsu H.-C., Chiang C.-H., Chen Y.-R. Motion Planning of Autonomous Vehicle for Illegal Parked Vehicles at No Parking Area // Proceedings of the IEEE International Automatic Control Conference. 2021. P. 1–5. DOI: 10.1109/IACC51493.2021.9609488.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.15

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ МОШЕННИЧЕСТВУ

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO COUNTER FRAUD

O. Karelova
M. Makarov

Summary. The article is devoted to topical issues of the use of artificial intelligence in the fight against cyberbullying. The paper proposes a mathematical and linguistic model based on which a virtual interlocutor with artificial intelligence (chatbot) has been developed to increase the effectiveness of protection against a type of cyberfraud — telephone scam.

Keywords: fraud, artificial intelligence, social engineering, information security, risk reduction.

Карелова Оксана Леонидовна
Доктор физико-математических наук, профессор,
Московский Государственный
Лингвистический Университет;
Президентская академия (Москва)
okarelova@yandex.ru
Макаров Мирон Павлович
Московский Государственный
Лингвистический Университет
Miron.m4karov@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальным вопросам использования искусственного интеллекта в борьбе с кибермошенничеством. В работе предложена математико-лингвистическая модель, на базе которой разработан виртуальный собеседник с искусственным интеллектом (чат-бот) для повышения эффективности защиты от разновидности кибермошенничества — телефонного мошенничества.

Ключевые слова: мошенничество, искусственный интеллект, социальная инженерия, информационная безопасность, риск.

В эпоху цифровизации финансовые преступления становятся всё более изощрёнными и масштабными. Кибермошенники постоянно совершенствуют свои методы, используя передовые технологии для обмана людей и организаций. По последним данным[1], ежегодный ущерб от киберпреступлений достигает астрономических сумм, а количество пострадавших продолжает расти в геометрической прогрессии.

Традиционные методы борьбы с мошенничеством уже не справляются с современными вызовами. Человеческий фактор, задержки в обработке информации и ограниченность ресурсов правоохранительных органов создают благоприятные условия для деятельности преступников. Именно поэтому критически важно разрабатывать и внедрять инновационные решения, способные оперативно выявлять и предотвращать мошеннические схемы.

Практические компьютерные программы становятся первым рубежом обороны в борьбе с киберпреступностью. Они способны анализировать огромные массивы данных в режиме реального времени, выявлять подозрительные паттерны поведения и принимать превентивные меры задолго до того, как ущерб станет необратимым. От банковских антифрод систем до специализированных решений для защиты персональных данных — программное обеспечение становится неотъемлемой частью современной системы безопасности.

В последние годы наблюдается тревожный рост телефонного мошенничества, и у этого явления есть несколько весомых причин.

1. Простой доступ к потенциальным жертвам

Мошенники получили возможность легко находить людей для своих афер благодаря:

- Доступным базам телефонных номеров
- Развитой IP-телефонии
- Возможности совершать звонки из любой точки мира
- Возможности оставаться анонимными при звонках

2. Минимальные риски для преступников

Телефонное мошенничество привлекает злоумышленников тем, что:

- Позволяет действовать скрытно
- Снижает риск быть пойманными
- Дает возможность быстро менять локации
- Усложняет процесс идентификации преступников

3. Технологическая поддержка мошенников

Современные технологии стали как благословением для общества, так и инструментом для преступников:

[1] Ущерб от IT-преступлений в 2024 году уже достиг 99 млрд рублей//Ведомости/ URL: https://www.vedomosti.ru/society/articles/2024/09/04/1059854-uscherb-ot-it-prestuplenii-dostig-99-mlrd-rublei (дата обращения 20.02.2025)

- Возможность подмены номеров
- Создание фальшивых документов
- Автоматизация обзвонов
- Имитация официальных служб

4. SIM-карты как инструмент мошенничества

Особую роль играет доступность «серых» SIM-карт в России:
- Возможность приобретения без регистрации
- Низкая стоимость
- Простота получения
- Быстрота активации

5. Психологическое воздействие

Звонки остаются одним из самых эффективных способов манипуляции:
- Прямой контакт с жертвой
- Возможность адаптации под конкретную ситуацию
- Создание чувства срочности
- Особое воздействие на уязвимые группы

6. Недостатки системы безопасности

Пробелы в системе защиты также способствуют росту мошенничества:
- Медленная реакция на подозрительные операции
- Недостаточная проверка транзакций
- Отсутствие мгновенной блокировки мошеннических схем
- Задержки в реагировании финансовых учреждений

Для реализации предиктивной защиты от мошеннических звонков предложен подход, основанный на том, что номер звонящего ищется не по уже сформированной базе мошеннических номеров, а по логике формирования случайных номеров и использованию серых сим-карт.

Предлагается реализация данного подхода по следующей схеме:
1. Анализ структуры номера:
- Выявление аномальных комбинаций цифр (например, последовательности 12345 или повторяющиеся цифры).
- Определение необычных префиксов операторов.
- Анализ географического расположения номера относительно звонящего.
2. Алгоритмы оценки:
- Проверка соответствия кода провайдера региону звонка.
- Анализ времени активности номера.
- Выявление паттернов в последовательности цифр.
- Оценка частоты смены номеров одним абонентом.

В статье приведена практическая реализация предложенного подхода по этой схеме в виде чат-бота.

В современных условиях борьбы с мошенничеством чат-боты демонстрируют беспрецедентную эффективность благодаря уникальному сочетанию возможностей искусственного интеллекта и автоматизации.

Во-первых, чат-боты способны круглосуточно обрабатывать огромное количество обращений, мгновенно анализируя сообщения на предмет подозрительной активности. В отличие от человеческих операторов, им не требуется отдых, а скорость обработки информации многократно выше. Во-вторых, современные чат-боты используют сложные алгоритмы машинного обучения, позволяющие распознавать новые схемы мошенничества по мере их появления. Они могут анализировать языковые паттерны, эмоциональные маркеры и поведенческие особенности собеседников, выявляя даже едва заметные признаки мошеннических действий. В-третьих, чат-боты могут одновременно вести диалог с множеством пользователей, что критически важно при массовых атаках мошенников. Они способны оперативно реагировать на стандартные сценарии мошенничества по заранее заданным алгоритмам, при этом передавая сложные случаи на рассмотрение специалистам.

Особую ценность представляет возможность интеграции чат-ботов в различные коммуникационные каналы — от мессенджеров до корпоративных систем. Это позволяет создать единую систему защиты, охватывающую все точки контакта с потенциальными жертвами мошенников. Кроме того, чат-боты могут выполнять превентивную функцию, информируя пользователей о новых схемах мошенничества и правилах кибербезопасности в ходе обычных диалогов. Такой подход превращает систему защиты в активный инструмент профилактики преступлений.

Модель работы чат-бота следующая:
1) Сбор информации от пользователя
2) Обработка и анализ
3) Расчет результатов
4) Вывод и рекомендации

Сбор информации

После запуска (инициализации) чат-бота и нажатия кнопки /start выводит сообщение: «Привет! Я помогу тебе определить, является ли сообщение подозрительным.\n» «Пожалуйста, отправь мне текст сообщения.»

Под текстом сообщения подразумевается текст СМС, сообщений из соцсетей, текст писем из электронной почты или примерное описание слов из звонка.

Текст пользователь может писать в любом регистре на русском языке с или без соблюдения правил пунктуации. В программе (коде) прописан обработчик текста, который приводит слова в определенный формат для дальнейшей обработки (Рис. 1).

Затем чат-бот запрашивает у пользователя выбор источника: звонок, почта, СМС, соцсети, веб-сайт (Рис. 2).

Далее идет запрос уровня доверия к источнику, например, в случае корпоративной почты — адрес с того же домена (i.ivanov@kasperskiy.ru или a.ivanov@kasperskiy.ru), уровень доверия запрашивается по сто бальной шкале (Рис. 3).

Обработка и анализ

Математическая модель данной программы следующая:

$$Result = Abs\ (100 — (S *4 + K + D),$$

где result — число, обозначающее степень опасности, abs — модуль, S — количество совпадений слов, K — коэффициент источника, D — уровень доверия.

Для подсчета количества совпадений ключевых слов прописан следующий код (Рис. 4).

Совпадения считаются по базе ключевых слов, прописанных заранее. База ключевых слов пополняется актуальными элементами на постоянной основе.

Далее выбор источника сообщения переводится в коэффициент в соответствии с заранее выбранным коэффициентом риска, а также предлагается первое решение по проблеме пользователя (Рис. 5).

Выбор коэффициентов:

Звонок = 25, почта = 30, СМС = 25, Соцсети = 28, Веб-сайт = 29.

При выборе первого источника (звонок) далее предлагается ввести номер телефона, с которого был произведен звонок. Этот номер ищется по базе номеров (Рис. 6) уже известных как мошеннических, а также предположительно мошеннических согласно предложенному подходу. При совпадении — выводится сообщение пользователю с рекомендацией игнорировать звонок. Если номера нет в базе, то применяется алгоритм просчета вероятности того, является ли этот номер мошенническим. В ином случае выводится сообщение с рекомендацией связаться с человеком через другие каналы связи (Рис. 7).

```
# Функция обработки текста сообщения
def handle_message(update: Update, context: CallbackContext) -> int:
    text = update.message.text.lower()
```

Рис. 1. Обработчик введенного текста

```
update.message.reply_text("Какой был источник этого сообщения?")
update.message.reply_text("1 - Звонок\n2 - Почта\n3 - СМС\n4 - Соцсети\n5 - Веб-сайт")
```

Рис. 2. Виджет для выбора источника

```
# Обработчик уровня доверия
def trust_level(update: Update, context: CallbackContext) -> int:
    update.message.reply_text("Насколько по 100-балльной шкале Вы доверяете этому источнику? (от 0 до 100)")
    return TRUST_LEVEL
```

Рис. 3. Обработчик уровня доверия

```
# Подсчет количества совпадений ключевых слов
matches_count = sum(1 for keyword in KEYWORDS if keyword in text)
context.user_data['matches_count'] = matches_count
```

Рис. 4. Код для подсчета количества ключевых слов

```python
# Обработчик выбора источника
def choose_source(update: Update, context: CallbackContext) -> int:
    user_choice = int(update.message.text)

    if user_choice == 1:
        update.message.reply_text("Пожалуйста, напишите номер телефона без кода страны:")
        return PHONE_NUMBER

    elif user_choice == 2:
        update.message.reply_text("Игнорируйте данное сообщение и/или свяжитесь с человеком по другой линии связи.")
        return trust_level(update, context)

    elif user_choice == 3:
        update.message.reply_text("Игнорируйте данное сообщение и/или свяжитесь с человеком по другой линии связи.")
        return trust_level(update, context)

    elif user_choice == 4:
        update.message.reply_text("Игнорируйте данное сообщение.")
        return trust_level(update, context)

    elif user_choice == 5:
        update.message.reply_text(
            "Вы можете проверить сайт на мошенничество через данный ресурс: https://www.virustotal.com/gui/home/url")
        return trust_level(update, context)

    else:
        update.message.reply_text("Пожалуйста, выберите правильный вариант источника.")
        return SOURCE
```

Рис. 5. Обработчик выбора источника

```python
# Обработчик ввода номера телефона
def input_phone_number(update: Update, context: CallbackContext) -> int:
    phone_number = update.message.text
    if not re.match(r"^\d{10}$", number):  # Проверка формата номера (10 цифр)
        await update.message.reply_text(
            "Номер должен содержать только цифры и быть длиной 10 символов. Попробуйте ещё раз:")
        return PHONE_NUMBER_CHECK

    full_number = f"+7{number}"  # Предположим, что код страны +7
```

Рис. 6. Обработчик ввода номера телефона

```python
if full_number in phone_numbers_db:
    contact_info = phone_numbers_db[full_number]
    await update.message.reply_text(f"Данный номер известен как: {contact_info}")
else:
    await update.message.reply_text("Не удалось найти информацию об этом номере.")
    return PHONE_NUMBER_CHECK
```

Рис. 7. Результат анализа номера телефона

```python
# Обработчик результата
def calculate_result(update: Update, context: CallbackContext) -> int:
    try:
        trust_level = int(update.message.text)
        if not (0 <= trust_level <= 100):
            raise ValueError
    except ValueError:
        update.message.reply_text("Пожалуйста, укажите число от 0 до 100.")
        return TRUST_LEVEL
```

Рис. 8. Обработчик результата доверия к источнику

Далее анализиурется уровень доверия к источнику (Рис. 8).

Выводы и результаты

Собрав информацию от пользователя, обработав и проанализировав ее, выводится результат по алгоритму на основе математической модели, описанной выше (Рис. 9).

На основе численного результата выводятся следующие рекомендации (Рис. 10).

После вывода рекомендации прописано заключительное слово (Рис. 11).

Заключение

Разработанный чат-бот представляет собой инновационное решение в сфере защиты от мошенничества, объединяя в себе передовые технологии искусственного интеллекта и глубокого анализа данных. Его внедрение позволяет существенно повысить уровень безопасности пользователей благодаря:

Проактивной защите: Чат-бот не просто реагирует на уже известные схемы мошенничества, но и способен предвидеть новые угрозы на основе анализа поведения звонящих и характерных паттернов общения.

Повышению точности распознавания: Использование алгоритмов машинного обучения позволяет достигать высокой точности в определении мошеннических звонков, минимизируя количество ложных срабатываний.

Оперативности реагирования: Мгновенная обработка входящих звонков и определение потенциальной угрозы обеспечивает защиту пользователя в режиме реального времени.

Обучению и адаптации: Способность чат-бота к постоянному обучению на основе новых данных позволяет ему становиться всё более эффективным в выявлении мошеннических схем.

Комплексному подходу: Интеграция с существующими системами безопасности и возможность работы как самостоятельный инструмент защиты расширяет его функциональность.

```
matches_count = context.user_data.get('matches_count')
source = int(context.user_data.get('source'))
result = abs(100 - (matches_count * 4 + {
    1: 25,
    2: 30,
    3: 25,
    4: 28,
    5: 29
}.get(source, 0)) + trust_level)
```

Рис. 9. Алгоритм расчета результата

```
if result >= 74:
    update.message.reply_text("Это мошенники! Смените пароли, заново заведите двухфакторную аутентификацию.")
elif result >= 52:
    update.message.reply_text("Большая вероятность, что это мошенники. Будьте бдительны и осторожны!")
else:
    update.message.reply_text(
        "Есть небольшая вероятность, что это мошенники. Перепроверьте источник, действуйте на свой страх и риск!")

return ConversationHandler.END
```

Рис. 10. Вывод рекомендаций

```
# Функция завершения разговора
def cancel(update: Update, context: CallbackContext) -> int:
    update.message.reply_text("До свидания! Если у вас возникнут новые подозрения, обращайтесь снова.")
    return ConversationHandler.END
```

Рис. 11. Функция завершения диалога

Однако важно понимать, что чат-бот является частью комплексной системы защиты, и его эффективность максимальна при использовании в сочетании с другими методами борьбы с мошенничеством:

- Проверка по базам данных
- Анализ поведения звонящего
- Обучение пользователей
- Взаимодействие с правоохранительными органами
- Для достижения максимальной эффективности рекомендуется:
- Регулярно обновлять базы данных
- Настраивать параметры анализа под актуальные угрозы
- Обеспечивать техническую поддержку системы
- Собирать и анализировать обратную связь от пользователей

Внедрение такого чат-бота может стать значительным шагом в борьбе с мошенничеством, существенно повысив уровень защиты пользователей и снизив риски финансовых потерь. При этом важно продолжать развитие и совершенствование подобных систем, учитывая постоянно меняющиеся методы и тактики мошенников.

В перспективе развитие подобных технологий может привести к созданию ещё более совершенных систем защиты, способных не только предотвращать мошенничество, но и прогнозировать появление новых схем обмана, обеспечивая упреждающую защиту интересов пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовская Н.Р., Гуляев А.А. К вопросу о кибермошенничестве // Вестн. Удм. ун-та. Социология. Политология. Международные отношения. 2022. Т. 6, вып. 1. С. 133–138. https://doi.org/10.35634/2587-9030-2022-6-1-133-138 (дата обращения: 21.03.2025).
2. Старостенко Олег Александрович. Профилактика и предупреждение кибермошенничества // Наука. Образование. Современность / Science. Education. The present. 2020. №1-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/profilaktika-i-preduprezhdenie-kibermoshennichestva (дата обращения: 21.02.2025).
3. Пикалов Павел Александрович, Бортников Сергей Петрович. Кибермошенничество с использованием искусственного интеллекта // АВБсП. 2024. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kibermoshennichestvo-s-ispolzovaniem-iskusstvennogo-intellekta (дата обращения: 20.02.2025).
4. Кулев В.К., Папшева Е.В., Старинский А.Ю., Сугробова К.С. Телефонное мошенничество // НиКа. 2010. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/telefonnoe-moshennichestvo (дата обращения: 21.02.2025).
5. Тюхтин Дмитрий А. Противодействие телефонному мошенничеству // Правовой альманах. 2025. №1 (41). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/protivodeystvie-telefonnomu-moshennichestvu (дата обращения: 20.02.2025).
6. Демидова-петрова Елизавета Викторовна, Зотина Елена Владимировна. Телефонное мошенничество: современные угрозы и вызовы // Всероссийский криминологический журнал. 2024. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/telefonnoe-moshennichestvo-sovremennye-ugrozy-i-vyzovy (дата обращения: 20.02.2025).
7. Ущерб от IT-преступлений в 2024 году уже достиг 99 млрд рублей — Текст электронный // Ведомости. URL: https://www.vedomosti.ru/society/articles/2024/09/04/1059854-uscherb-ot-it-prestuplenii-dostig-99-mlrd-rublei (дата обращения 20.02.2025)
8. Защита от нежелательных спам-звонков и мошенников с услугой МТС «Защитник» — Текст электронный // МТС Медиа. URL: https://media.mts.ru/internet/201326-usluga-mts-zashchitnik/ (дата обращения 20.02.2025)
9. Правительство внесет в Думу три десятка мер по борьбе с телефонным мошенничеством — Текст электронный // Интерфакс. URL: https://www.interfax.ru/russia/1008795 (дата обращения 21.02.2025)
10. Россиянам рассказали, почему опасно пользоваться «серыми» SIM-картами — Текст электронный // Газета.ру. URL: https://www.gazeta.ru/social/news/2023/05/26/20524874.shtml (дата обращения 21.02.2025)

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.19

ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

APPROACH TO ENSURING RELIABILITY OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

L. Maleshina
A. Dubrovsky

Summary. In the conditions of the modern digital economy, corporate information systems, ensuring reliability and competitiveness, have become an integral part of the successful functioning of organizations and enterprises. The introduction of innovative technologies and equipment has allowed not only to improve the management of information, resources and business processes in various fields of activity, but also expanded the landscape of information security threats. The article substantiates the need to modernize computer attack detection systems, which may result in critical situations that disrupt the normal operation of systems. The problem of combining the readings of several detection tools and making a decision on the presence or absence of a threat on their basis is presented. A method for solving it is proposed, based on the concept of a «critical area», taking into account the individual characteristics of information threat detection tools.

Keywords: corporate information system, reliability, information security, information threat, threat detection tool.

Малёшина Людмила Михайловна
Кандидат технических наук, доцент,
Российский университет транспорта (МИИТ), Москва
docentmlm@mail.ru
Дубровский Арсений Александрович
Российский университет транспорта (МИИТ), Москва

Аннотация. В условиях современной цифровой экономики корпоративные информационные системы, обеспечивая надежность и конкурентоспособность, стали неотъемлемой частью успешного функционирования организаций и предприятий. Внедрение инновационных технологий и техники позволило не только усовершенствовать управление информацией, ресурсами и бизнес-процессами в различных сферах деятельности, но и расширило ландшафт угроз информационной безопасности. В статье обоснована необходимость модернизации систем обнаружения компьютерных атак, вследствие которых могут возникать критические ситуации, нарушающие нормальную работы систем. Представлена задача объединения показаний нескольких средств обнаружения и принятия на их основе решения о наличии угрозы или отсутствии таковой. Предложен способ ее решения, основанный на понятии «критической области», учитывающий индивидуальные характеристики средств обнаружения информационных угроз.

Ключевые слова: корпоративная информационная система, надежность, информационная безопасность, информационная угроза, средство обнаружения угроз.

Эффективное функционирование и расширение сферы деятельности рынка возможно только при наличии «конкуренции», так как конкуренция выступает важным фактором для экономического развития [1]. В современных условиях «конкурентоспособность» стала одной из основополагающих идей при разработке экономической политики любого субъекта рыночных отношений [2]. Что делает доминирующей потребность организаций и предприятий непрерывно улучшать характеристики выпускаемой продукции или оказываемых услуг, формируя, таким образом, ключевые преимущества над конкурентами.

Среди наиболее действенных способов повышения качества работы предприятия можно выделить следующие:

— поиск новых методов экономического планирования;
— повышение оперативности управления производством;
— реструктуризация управления финансовыми потоками;
— эффективное использование ресурсов предприятия;
— снижение доли издержек.

В условиях постоянно усиливающейся конкуренции рост добавленной стоимости в выпуске продукции возможен только при наличии у предприятия компетентных преимуществ, формируемых путем внедрения в производственные процессы инновационных технологий и техники [2]. Таким образом корпоративные информационные системы (далее — КИС), предоставляющие собой комплексное и эффективное управление информацией, ресурсами и бизнес-процессами, обеспечивая надежность и конкурентоспособность в быстро меняющемся цифровом мире, стали неотъемлемой частью успешного функционирования организаций и предприятий.

Но «цифровая трансформация» не только позволяет усовершенствовать решение задач планирования и управления различными видами деятельности, но и расширяет ландшафт угроз информационной безопасности. По данным компании Positive Technologies «в 2022 году случился всплеск атак на российские организации ввиду ухудшения геополитической ситуации, что повлияло на ландшафт киберугроз всей страны. За первые три квартала 2024 года количество успешных атак практически сравнялось с показателями за весь 2022 год.

Российские организации атакуются десятками кибершпионских, хактивистских и финансово мотивированных группировок» [3]. В 2023 году увеличилось число успешных атак на организации по всему миру [4]. В III квартале 2024 года, как и в предыдущих кварталах, компьютерные преступники сосредоточили свое внимание на краже конфиденциальной информации (рис. 1). Несанкционированное раскрытие очень важных для организации, ее клиентов и контрагентов сведений впоследствии могут привести к финансовым потерям, прерыванию бизнес-процессов или работоспособности отдельных систем, а также к последующим атакам на контрагентов и частных лиц.

Ввиду перманентно высокого уровня атак на КИС, актуальной остается задача минимизации ущерба при нарушении нормальной работы системы, решение которой возможно только при своевременном и как можно более раннем выявлении несанкционированных действий нарушителей.

Для определения признаков наличия тех или иных критических ситуаций, возникающих вследствие компьютерных атак на объекты КИС, могут использоваться различные средства обнаружения информационных угроз (далее — СОУ), к которым можно отнести широкий спектр средств мониторинга и защиты, начиная от систем физического контроля доступа и заканчивая популярными антивирусами и межсетевыми экранами. При этом каждое СОУ характеризуется вероятностью обнаружения кибератак определенного типа, а также вероятностью возникновения сигнала «ложной тревоги».

Для обеспечения максимальной степени защищенности принято использовать на объекте защиты несколько СОУ с разными принципами действия и областями контроля. В этом случае должна быть решена задача объединения показаний нескольких СОУ и принятия на их основе решения о наличии угрозы или отсутствии таковой. Объединение результатов работы СОУ возможно разными способами, обеспечивающими разную степень точности и достоверности.

Для аналогичных задач в радиотехнике наибольшее распространение получили схемы логической обработки бинарных сигналов тревоги, например, 2 из 3 ($N = 3$, $K = 2$), где N — количество независимых СОУ, K — количество поступивших сигналов об атаке. Функционирование данных схем основано на том, что число сработавших СОУ должно достигнуть и/или превысить заданную величину K, тогда формируется общий сигнал тревоги. Достоинство данного алгоритма — простота, однако отсутствие учета индивидуальных особенностей и характеристик каждого отдельно взятого СОУ не позволяет добиться наилучшего соотношения между вероятностью обнаружения и частотой генерации «ложной тревоги».

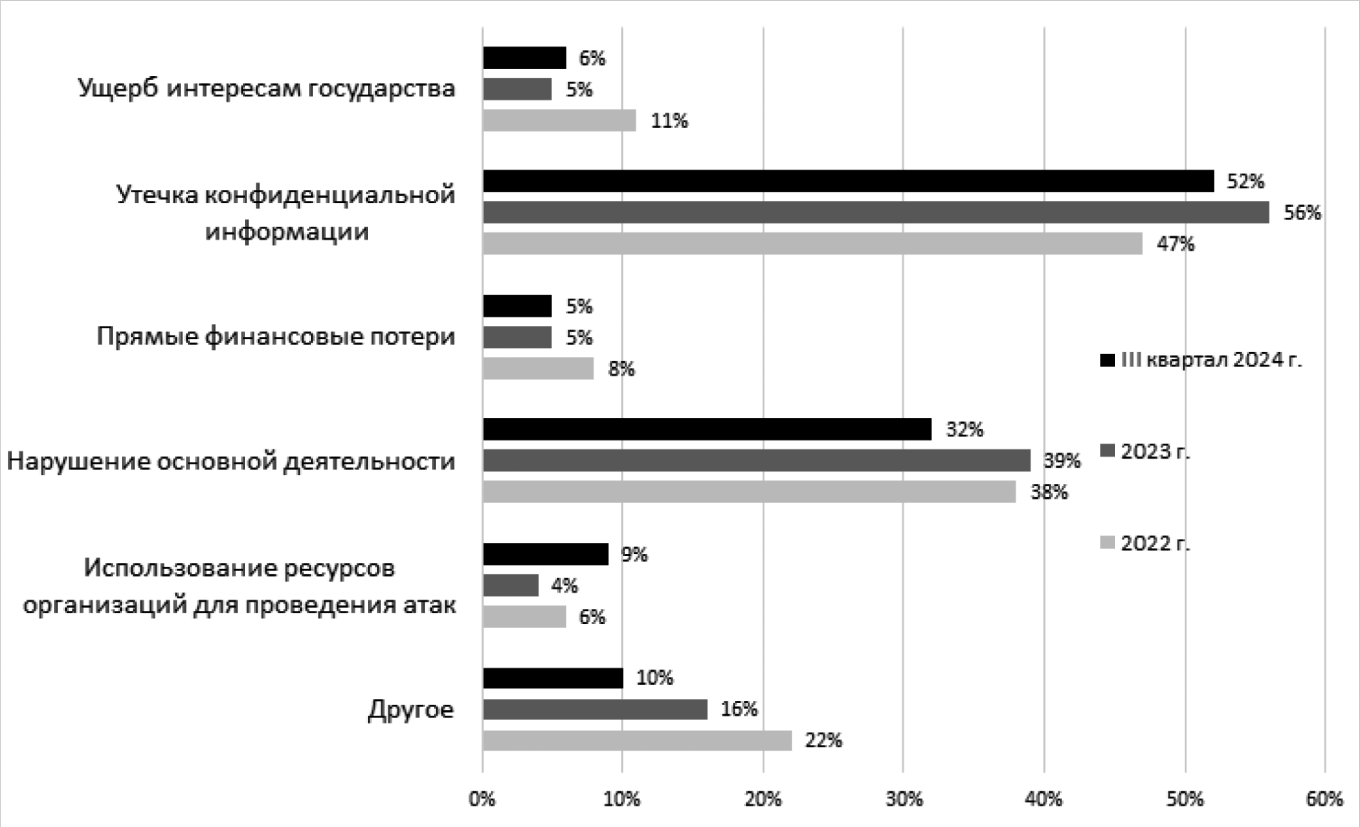


Рис. 1. Последствия атак на организации [4, 5]

Таким образом, возникает необходимость применять алгоритмы логической обработки сигналов, позволяющие за счет учета индивидуальных особенностей СОУ добиваться снижения вероятности «ложной тревоги» при сохранении заданной вероятности обнаружения.

Рассмотрим способ обнаружения информационных угроз, основанный на понятии «критической области» [6], для определения которой можно использовать метод, построенный на анализе статистических данных. Для получения необходимой информации проводится преднамеренное заражение узлов КИС различными комбинациями вирусов, осуществляется несанкционированное использование ресурсов и т.д.

Ситуацию можно трактовать так: имеется случайная величина X_0, которая принимает значение 1, если угроза обнаружена и 0 в противном случае. Экспериментатор, проводя моделирование, изменяет X_0. Средства обнаружения, позволяющие распознавать информационную угрозу, можно трактовать как X_i, где $i = 1, \ldots, n$ и n — количество СОУ. Случайные величины X_i, принимают значения 0 и 1 по схеме: 1 — угроза обнаружена; 0 — угроза не обнаружена.

Итак, предметом нашего внимания является многомерная случайная величина (X_0, X_1, …, X_n), распределение которой мы не знаем, но стремимся изучить при помощи эксперимента.

Введем следующие обозначения:

x_0 — показатель, принимающий значения 0 или 1 (реализация X_0);

$x = (x_1, x_1, \ldots, x_n)$ — система показателей, где x_i так же принимает одно из двух значений;

K — множество всех наборов x, состоящее из $N = 2^n$ элементов;

K^* — критическая область информационных угроз (далее — КОУ), такая что если $x \in K^*$, то угроза существует, иначе угроза отсутствует, при этом K^* ? K.

Эксперимент состоит из ряда наблюдений, результатом которых является статистическая функция $P = p\ (x_0, x_1, \ldots, x_n)$, где p — это относительная частота появления набора (x_0, x_1, …, x_n) в эксперименте, а сумма частот $p\ (x_0, x_1, \ldots, x_n)$ по всем наборам равна 1. Таким образом, выборочный закон распределения, например, случайной величины X_0 имеет вид:

X_0	0	1
вероятность	q_0	p_0

где $p_0 = \sum_{x \in K} p(1; x)$; $q_0 = 1 - p_0$. Значения величин p_0 и q_0 исследователь определяет по результатам эксперимента, и зависят от технологии его проведения.

Одним из основных является вопрос, как на основании показаний средств обнаружения X_i определить есть информационная угроза или нет. В рамках традиционного подхода он может быть решен следующим образом [6]. Пусть, например, основная гипотеза H_0 заключается в том, что угрозы нет ($X_0 = 0$), тогда H_1 — альтернативная гипотеза, означает что угроза есть ($X_0 = 1$). Тогда если $x \in K^*$, то гипотеза H_0 отвергается.

Ошибка I рода α состоит в том, что H_0 отвергается, хотя она верна, при этом α вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{q_0} \sum_{x \in K} * p(0; x).$$

Ошибка II рода β состоит в том, что H_0 принимается, в то время как верна H_1, и вычисляется по следующей формуле:

$$\beta = 1 - \frac{1}{p_0} \sum_{x \in K} * p(1; x).$$

Заметим, что αq_0 может быть интерпретирована как вероятность «ложной тревоги», βp_0 — как вероятность «необнаруженной информационной угрозы».

Задача состоит в том, чтобы при фиксированном уровне значимости α за счет выбора K^* минимизировать β. Она может быть решена в рамках следующего алгоритма:

Пронумеруем элементы множества K так, чтобы величины $\frac{p(1; x_a)}{p(0; x_a)}$, где $a = 1,2, \ldots, N$, не возрастали.

Построим последовательность расширяющихся подмножеств K_a^* ? K, а именно: $K_0^* = \varnothing$, $K_1^* = \{x_1\}$, $K_2^* = \{x_1, x_2\}$ и т.д. Если найдутся наборы элементов x с частотой $p(0; x) = 0$, то такие наборы x включаются в подмножество K_0^*.

Далее параллельно рассчитаем две числовые последовательности:

$$0 = \alpha_0 \le \alpha_1 \le \ldots \le \alpha_{N'},$$
$$\beta_0 \ge \beta_1 \ge \ldots \ge \beta_{N'},$$

где $N' \le N$, $\alpha_a = \frac{1}{q_0} \sum_{x \in K_a^*} p(0; x)$, $\beta_a = 1 - \frac{1}{p_0} \sum_{x \in K_a^*} p(1; x)$.

На каждом шаге данного алгоритма при фиксированном уровне значимости α обеспечивается минимальность β_a, что следует из традиционного подхода [6].

При этом на каком именно шаге следует остановиться, мы решаем сами, исходя из значений α_a, β_a и выбранного нами баланса между ними. В результате экспериментатор определяет КОУ — K_a^*.

Другой подход к обнаружению информационных угроз состоит в следующем: пусть на множестве показателей K задана функция $y = f(x)$, где $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n) \in K$, принимающая два значения 0 и 1. Таким образом мы определили разбиение K на два подмножества ($K = K_0 \cup K_1$), таких что $K_i = \{x: f(x) = i; i = 0, 1\}$.

Верно и обратное, любое такое разбиение задает функцию. Если при этом x_j принимает только два значения 0 и 1, то это булева функция. На основании имеющейся статистики $p(x_0, x)$ может быть определено выборочное распределение случайной величины $Y_f = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, а именно:

Y_f	0	1
Вероятность	q_f	p_f

где $p_f = \sum_{x \in K_1} \left(p(0;x) + p(1;x) \right)$; $q_f = 1 - p_f$.

Функции f мы отводим роль «инструмента для принятия решения», а именно, если для некоторого набора показателей $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ значение $f = 1$, то принимается решение «информационная угроза есть», в противном случае «информационной угрозы нет». Таким образом, чем более коррелированы случайные величины X_0 и Y_f, тем выше качество принимаемого решения.

Для нахождения коэффициента корреляции между упомянутыми случайными величинами нужно знать их совместное распределение, которое может быть также получено из статистики $p(x_0, x)$:

X_0 / Y_f	0	1
0	p_{00}	p_{01}
1	p_{10}	p_{11}

где $p_{ij} = \sum_{x \in K_j} p(i;x)$; $i, j = 0,1$.. Величины p_{ij} связаны с ранее введенными следующими соотношениями:

$$p_0 = p_{10} + p_{11},\ q_0 = p_{00} + p_{01},\ p_f = p_{01} + p_{11},\ q_f = p_{00} + p_{10}.$$

Выборочный коэффициент корреляции между X_0 и Y_f имеет вид:

$$r_f = \frac{p_{00}p_{11} - p_{10}p_{01}}{\sqrt{p_0 q_0 p_f q_f}}.$$

Поскольку $r_{1-f} = -r_f$, то можно ограничиться рассмотрением тех функций, для которых $r_f \geq 0$ или же изучать поведение r_f^2. Задача состоит в нахождении функции f такой, что r_f принимает максимальное значение. Ее решение возможно методом перебора.

Заключение

Необходимость обеспечения информационной безопасности корпоративных информационных систем, от надежности и эффективности которых напрямую зависит конкурентоспособность организаций и предприятий, обусловлена ростом числа успешных компьютерных атак. Для обеспечения эффективной защиты объектов КИС используют различные средства обнаружения несанкционированных действий и критических ситуаций, которые обладают индивидуальными характеристиками, такими как вероятность обнаружения и вероятность генерации сигнала «ложной тревоги». Традиционные алгоритмы по объединению сигналов от множества СОУ при формировании общего решения о наличии/отсутствии угрозы не учитывают особенности каждого средства, что является их существенным недостатком.

Предложенный в работе способ объединения показаний нескольких СОУ, основанный на применении «критической области», обеспечивает оптимальное соотношение ошибок I рода и II рода, позволяя таким образом добиться оптимального соотношения значений вероятности «ложной тревоги» αq_0 и вероятности «необнаруженной информационной угрозы» βp_0. Предложенный алгоритм обнаружения киберугроз учитывает возможное взаимное влияние различных средств обнаружения друг на друга, так как в основе его работы лежит КОУ, построенная на вероятностных характеристиках общего сигнала СОУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинясова, Н.А. Конкуренция и конкурентоспособность в современной парадигме экономического развития / Н.А. Пинясова, Ю.Ю. Суслова, А.В. Волошин // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2024. — № 7(237). — С. 9–25.
2. Четырбок, Н.П. Инновации и конкурентоспособность предприятия / Н.П. Четырбок // Вестник Брестского государственного технического университета. — 2021. — № 2(125). — С. 123–126.
3. Как изменились атаки на российские компании за два года [Электронный ресурс] // Positive Technologies: сайт. — URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/kak-izmenilis-ataki-na-rossiyskie-kompanii-za-dva-goda/#id1 (Дата обращения 30.03.2025).
4. Актуальные киберугрозы для организаций: итоги 2023 года [Электронный ресурс] // Positive Technologies: сайт. — URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktualnye-kiberugrozy-dlya-organizacij-itogi-2023-goda/ (Дата обращения 30.03.2025).
5. Актуальные киберугрозы: III квартал 2024 года [Электронный ресурс] // Positive Technologies: сайт. — URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktualnye-kiberugrozy-iii-kvartal-2024-goda/#id17 (Дата обращения 30.03.2025).
6. Крамер, Г. Математические методы статистики = Mathematical Methods of Statistics: [монография] / ред. А.Н. Колмогоров; пер.: А.С. Монин, А.А. Петров; Г. Крамер. — Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2003. — 648 с.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

THE USE OF IMAGE RECOGNITION TECHNOLOGIES IN THE OPERATION OF ROLLING STOCK

V. Nikulin
I. Epishkin
I. Idiatov
G. Sotov

Summary. This article discusses the use of image recognition technologies in the field of transportation equipment operation. In recent years, significant progress has been made in image processing and analysis, which opens up new opportunities for improving diagnostic and monitoring processes of transport systems. The main aspects of the implementation of these technologies, their advantages, as well as possible problems are discussed. Examples of successful implementation of image recognition systems in practice are given, which confirm their effectiveness and reliability. A conclusion is made about the prospects for further development and adaptation of these technologies to the needs of the transport industry.

Keywords: pattern recognition, rolling stock, diagnostics, monitoring, technologies, transport industry.

Никулин Владимир Валерьевич
Преподаватель, доцент, кандидат техн. наук, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
nikulinvv@mail.ru
Епишкин Илья Андреевич
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
ilya.epishkin@gmail.com
Идиятов Эльдар Анисович
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
idiyatove@bk.ru
Сотов Глеб Эдуардович
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
glebosta@yandex.ru

Аннотация. В этой статье рассматривается использование технологий распознавания изображений в сфере эксплуатации транспортного оборудования. В последние годы происходит значительный прогресс в обработке и анализе изображений, что открывает новые возможности для совершенствования процессов диагностики и мониторинга транспортных систем. Обсуждаются основные аспекты внедрения этих технологий, их преимущества, а также возможные проблемы. Приводятся примеры успешного внедрения систем распознавания изображений на практике, которые подтверждают их эффективность и надежность. Делается заключение о перспективах дальнейшего развития и адаптации этих технологий для нужд транспортной отрасли.

Ключевые слова: распознавание образов, подвижной состав, диагностика, мониторинг, технологии, транспортная отрасль.

Введение

Использование технологий распознавания образов при эксплуатации подвижного состава произвело революцию в железнодорожной отрасли. По мере роста требований к перевозкам и старения инфраструктуры возрастает потребность в эффективных и интеллектуальных системах. Распознавание образов, являющееся частью искусственного интеллекта, позволяет железнодорожным операторам повышать безопасность, оптимизировать техническое обслуживание и повышать общую эффективность работы поездов. Распознавание образов предполагает автоматизированную идентификацию закономерностей, нерегулярностей или специфических шаблонов в данных. В контексте эксплуатации подвижного состава оно в первую очередь направлено на обработку огромных объемов визуальных, акустических и сенсорных данных для обеспечения бесперебойной работы локомотивов и вагонов.

Одно из основных применений распознавания образов в подвижном составе — это профилактическое техническое обслуживание. Анализируя закономерности из исторических записей о техническом обслуживании и данных, поступающих в режиме реального времени от датчиков, установленных на поездах, можно с удивительной точностью предсказать вероятность отказа компонентов. Такой подход позволяет проводить плановые вмешательства, сокращая количество неожиданных поломок и продлевая срок службы оборудования. Еще одним важным преимуществом является повышение безопасности.

Кроме того, качество обслуживания пассажиров повышается за счет повышения надежности и пунктуаль-

ности движения поездов. Используя технологию распознавания маршрутов, железнодорожные службы могут корректировать расписание, оптимизировать маршруты и обеспечивать эффективное распределение подвижного состава в соответствии со структурой спроса [5].

Проблема разрастания деревьев вблизи железных дорог

Высадка деревьев вблизи железных дорог представляет собой многогранную проблему, в которой переплетаются экологические соображения, соображения безопасности и эксплуатационные соображения. Поскольку железнодорожные сети являются артериями мировой торговли, пышная зелень, которая часто окаймляет эти железные дороги, может быть как благом, так и бедствием. Деревья играют важную роль в борьбе с эрозией почвы, обеспечивая тень и поддерживая биоразнообразие [4].

Однако, когда их бесконтрольный рост нарушает железнодорожные коридоры, риски возрастают в геометрической прогрессии. Одной из основных проблем является то, что деревья могут создавать помехи для железнодорожной инфраструктуры. Разросшиеся ветви могут препятствовать передаче сигналов, ухудшать видимость и нарушать структурную целостность воздушных линий. Такие помехи не просто создают неудобства, они могут привести к катастрофическим последствиям. Поваленные деревья представляют значительную опасность, загораживая пути, что может привести к сходу поездов с рельсов или дорогостоящим перебоям в обслуживании. Зимний сезон еще больше усугубляет эти риски, поскольку заснеженные ветки могут ломаться и создавать препятствия. Кроме того, близость густой растительности к железнодорожным путям повышает риск возникновения пожаров, особенно в периоды засухи. Искра от проезжающего поезда может воспламенить сухие листья и ветки, что приведет к потенциально разрушительным лесным пожарам, представляющим опасность для жизни людей, имущества и ресурсов окружающей среды [2].

Решение проблемы чрезмерного разрастания деревьев вблизи железных дорог требует сбалансированного подхода. Регулярное техническое обслуживание имеет решающее значение, включая обрезку, удаление инвазивных видов и стратегическую пересадку менее проблемной листвы. Использование таких технологий, как ЛиДАР и беспилотные летательные аппараты, необходимо для эффективного мониторинга и планирования технического обслуживания. Эти инновации позволяют точно отображать и оценивать рост растительности, помогая железнодорожным операторам своевременно принимать меры.

Рассматривая возможность использования камер, установленных на поездах, для анализа состояния окружающей среды, важно обратить внимание как на стратегическую установку этих устройств, так и на типы камер, используемых на локомотивах. Железнодорожные камеры предоставляют бесценную перспективу, снимая окружающую обстановку в режиме реального времени, которая может быть проанализирована для различных целей — от обеспечения безопасности на железнодорожных путях до наблюдения за взаимодействием с дикой природой. На локомотивах обычно используются камеры нескольких типов. Во-первых, камеры, направленные вперед, имеют решающее значение для мониторинга пути впереди. Эти камеры предоставляют важные визуальные данные, которые могут быть записаны и проанализированы для обнаружения препятствий или потенциальных опасностей на путях, что повышает безопасность как пассажиров, так и поездной бригады [4].

Кроме того, установлены боковые камеры для наблюдения за окружающей средой, прилегающей к железнодорожным путям. Эти камеры могут снимать участки, непосредственно окружающие поезд, что облегчает изучение взаимодействия с близлежащими природными или городскими ландшафтами. Это может быть особенно полезно для мониторинга экологического воздействия движения поездов на местную дикую природу или оценки того, как близлежащая инфраструктура взаимодействует с движением поездов.

Применение распознавания образов в оценке состояния подвижного состава

Стремительное развитие технологий оказало значительное влияние на различные отрасли транспортной отрасли, особенно на техническое обслуживание и оценку подвижного состава. Среди этих инноваций технология распознавания изображений стала ключевым инструментом, изменившим способ оценки состояния поездов и других железнодорожных транспортных средств. Этот сложный подход использует передовые алгоритмы и методы машинного обучения для анализа визуальных данных, обеспечивая эффективное и точное обслуживание подвижного состава. Развитие технологий на железнодорожном транспорте. За последнее десятилетие внедрение цифровых технологий на железнодорожном транспорте открыло новые возможности для повышения эксплуатационной эффективности и безопасности. Традиционно оценка состояния подвижного состава в значительной степени зависела от ручных проверок, которые, хотя и были эффективными, отнимали много времени и были подвержены человеческим ошибкам. Сегодня системы распознавания изображений обеспечивают более простой и точный метод диагностики, сокращая время простоя и повышая надежность железнодорожной сети.

Что такое распознавание изображений. Распознавание изображений — это способность программного

обеспечения идентифицировать объекты, особенности или узоры на цифровых изображениях. В сфере технического обслуживания подвижного состава эта технология используется для выявления износа, деформаций конструкции и других аномалий, которые могут поставить под угрозу безопасность или эксплуатационные характеристики. Камеры и датчики высокого разрешения, установленные вдоль путей или на самих локомотивах, позволяют получать изображения в режиме реального времени, которые затем обрабатываются с помощью сложных алгоритмов [6].

Применение в техническом обслуживании подвижного состава. Основным применением распознавания изображений при техническом обслуживании подвижного состава является профилактическое обслуживание. Анализируя изображения, система может прогнозировать потенциальные сбои до того, как они произойдут, что позволяет операторам оперативно устранять неполадки, а не реагировать на них после поломки. Например, дефекты колес, проблемы с осью или даже более тонкие признаки механической усталости могут быть выявлены задолго до того, как они перерастут в более серьезные проблемы.

Новизна

Наш инновационный подход направлен на использование современных технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения для анализа данных, полученных с камер. Основная идея заключается в интеграции систем компьютерного зрения, способных независимо анализировать и интерпретировать видеопоток с камер поезда. Эти технологии позволяют идентифицировать и классифицировать объекты в пределах видимости и могут прогнозировать потенциальные угрозы для движения поезда. Процесс начинается с установки камер высокого разрешения, стратегически расположенных вокруг локомотива, для получения подробной видеозаписи. Эти камеры должны быть оснащены функциями ночного видения и защиты от атмосферных воздействий, чтобы поддерживать эффективность в различных условиях. Затем видеоданные передаются на централизованный бортовой компьютер, который использует передовые алгоритмы искусственного интеллекта для обработки поступающей информации в режиме реального времени. Модели машинного обучения обучаются распознавать широкий спектр объектов, от пешеходов и транспортных средств до препятствий и знаков, обеспечивая всестороннюю ситуационную осведомленность. Постоянно обучаясь на основе новых данных, система повышает точность обнаружения объектов и адаптируется к изменениям в окружающей среде.

Кроме того, наш новый подход предполагает применение передовых технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа данных, собранных с железнодорожных камер. Основной концепцией является интеграция систем компьютерного зрения, способных автономно анализировать и интерпретировать видеопоток с камер. Эти технологии позволят идентифицировать и классифицировать объекты, попадающие в поле зрения камеры, а также прогнозировать потенциальные угрозы движению поездов. Для достижения этой цели мы предлагаем инновационную архитектуру системы, которая сочетает камеры высокого разрешения, стратегически размещенные по всему поезду, с передовыми алгоритмами искусственного интеллекта. Эти камеры, оснащенные приборами ночного видения и тепловизионными датчиками, будут работать при различном освещении и погодных условиях, обеспечивая непрерывный мониторинг. Полученные видеоданные в режиме реального времени будут передаваться в мощный встроенный процессор, способный обрабатывать большие объемы информации без задержек.

Бортовая система искусственного интеллекта будет обучена с использованием обширного набора данных, содержащего множество сценариев железнодорожной обстановки. Этот набор данных будет включать различные типы местности, погодные условия и распространенные препятствия, что позволит системе изучать их и делать точные прогнозы. Используя методы глубокого обучения, искусственный интеллект будет распознавать закономерности и сигнализировать о любых отклонениях от нормальных условий, которые могут указывать на потенциальные риски.

Кроме того, эта система будет включать алгоритмы распознавания объектов, позволяющие различать различные типы объектов, таких как животные, пешеходы, транспортные средства или мусор на путях. Благодаря многоуровневому механизму обнаружения ИИ может определять приоритетность угроз и предупреждать операторов о необходимости оперативного принятия необходимых мер. Такой упреждающий подход повышает безопасность и сводит к минимуму риск несчастных случаев.

Важной особенностью этого нового метода является его возможность беспрепятственного взаимодействия с существующими системами управления поездами. Он будет использовать зашифрованные протоколы беспроводной связи для передачи важных данных и оповещений операторам поездов, предоставляя им жизненно важную информацию в режиме реального времени. Благодаря интеграции с автоматизированными системами движения поездов он также может способствовать автоматическому торможению или снижению скорости при обнаружении серьезной угрозы, что еще больше обеспечивает безопасность пассажиров. Еще одним преимуществом нашей системы является ее адаптивность. Она предназначена для постоянного изучения и обновления

своих алгоритмов на основе новых данных и аналитических заключений. Эта адаптивность позволит со временем совершенствовать ее, повышая точность и надежность.

Помимо повышения безопасности, этот метод обеспечивает эксплуатационные преимущества. Анализируя закономерности и тенденции в собранных данных, операторы поездов могут оптимизировать расписание, прогнозировать потребности в техническом обслуживании и снижать потребление энергии, что приводит к повышению эффективности работы. В заключение отметим, что наш инновационный подход к использованию железнодорожных камер для анализа состояния окружающей среды использует возможности искусственного интеллекта и машинного обучения. Повышая безопасность, эффективность эксплуатации и адаптивность, эта система представляет собой значительный прогресс в области железнодорожных технологий, соответствующий современным стандартам и ожиданиям. Наше решение не только решает текущие проблемы, но и закладывает основу для создания более разумной и безопасной железнодорожной системы в будущем.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения в системы безопасности на железнодорожном транспорте представляет собой революционный шаг вперед в области транспортных технологий. Используя компьютерное зрение и передовые алгоритмы, этот инновационный подход не только повышает ситуационную осведомленность, но и прогнозирует и смягчает потенциальные угрозы в режиме реального времени. Способность адаптироваться, обучаться и совершенствоваться гарантирует, что система остается надежной даже при изменении условий окружающей среды и эксплуатационных требований. Помимо обеспечения безопасности, это решение обладает значительными эксплуатационными преимуществами. От оптимизации расписания движения поездов до прогнозирования требований к техническому обслуживанию и снижения энергопотребления, оно открывает путь к созданию более эффективной и устойчивой железнодорожной экосистемы. Такие многогранные преимущества подчеркивают ценность внедрения технологий, основанных на искусственном интеллекте, в современные транспортные сети.

Успешное внедрение этой системы зависит от сотрудничества между различными заинтересованными сторонами, включая производителей поездов, железнодорожные власти и специалистов в области искусственного интеллекта. Работая вместе, эти организации могут обеспечить бесперебойную интеграцию, соблюдение нормативных требований и постоянное совершенствование технологии. Эти коллективные усилия не только обеспечат безопасность пассажиров и инфраструктуры, но и установят новые стандарты инноваций в отрасли. В конечном счете, внедрение систем компьютерного зрения на базе искусственного интеллекта в поездах знаменует собой важный шаг на пути к созданию более умных, безопасных и эффективных железных дорог.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нарожняя А., Чендев Ю., Соловьев А., Лебедева М., Саблина О. Analysis of the current state of shelterbelts by the remote sensing data, Russia, Belgorod oblast // 6th International Scientific Conference Geobalcanica 2020. Proceedings. 12–14 May, 2020 Ohrid, North Macedonia., 6th International Scientific Conference Geobalcanica 2020. Proceedings. 12–14 May, 2020 Ohrid, North Macedonia. — Ohrid, 2020. — Pp. 807–814. (2020).
2. Нарожняя А.Г., Чендев Ю.Г. The study of the modern ecological state of shelterbelts using GIS and remote sensing data // InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020., V.26. Part 2. P.54–65. (2020).
3. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г. Влияние лесополос на накопление полиаренов в почвах (Белгородская область) // Вестник Московского университета. Серия 5: География, № 3. — С. 14–21. (2020). EDN: JFJQWQ
4. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г. Influence of forest shelterbelts on local pedodiversity (Belgorod oblast) // Eurasian Soil Science, №9, Vol. 53, P. 1195–1205. (2020). EDN: FXUGWR
5. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Золотухин Н.И., Титова С.В., Царевская Н.Г., Чендев Ю.Г. Preserved Sections of Steppes as the Basis for the Future Ecological Framework of Belgorod Oblast // Arid Ecosystems, 10, 36–43 (2020). (2020). EDN: QVUWOY
6. Чендев Ю., Лукин С., Соловьев А., Нарожняя А., Лебедева М. Transformation of chernozems under the influence of oak shelterbelt in Agroforestry landscape of Central Russian Upland // 6th International Scientific Conference Geobalcanica 2020. Proceedings. 12–14 May, 2020 Ohrid, North Macedonia., 6th International Scientific Conference Geobalcanica 2020. Proceedings. 12–14 May, 2020 Ohrid, North Macedonia. — Ohrid, 2020. — Pp. 201–206. (2020).
7. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Заздравных Е.А. Формирование морфологических признаков лесостепных черноземов под лесополосами и на пашнях // Материалы Всероссийской научной конференции «Почва как компонент биосферы: эволюция, функционирование и экологические аспекты», М., Пущино: Товарищество научных изданий КМК, 2020. — С. 198–200. (2020). EDN: OQEEYQ
8. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д. Заздравных Е.А., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А. Change of Forest-Steppe Chernozems under the Influence of Shelterbelts in the South of the Central Russian Upland // Eurasian Soil Science, Vol. 53. — No. 8. — Pp. 1033–1045. (2020). EDN: OMQYQ
9. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Смирнова М.А. Разрастающиеся лесополосы как модели эволюционного изменения черноземов под лесом // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф.; под ред. И.С. Белюченко., Краснодар: Куб ГАУ, 2020. — С. 141–144. (2020). EDN: UHEZXD

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.26

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ БПЛА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

APPLICATION OF THE KALMAN FILTER FOR UAV TRAJECTORY PREDICTION BASED ON NEURAL NETWORK IMAGE ANALYSIS

K. Parfentiev
I. Mashkov
D. Brel

Summary. The article examines the application of an extended Kalman filter for integrating data from neural network image analysis, an inertial measurement unit, and a global satellite navigation system to predict the trajectory of an unmanned aerial vehicle. The proposed approach ensures high accuracy in position determination even when one of the sources is disconnected, thereby enhancing the reliability of the control system.

Keywords: extended Kalman filter, neural network image analysis, data integration, inertial measurement systems, global satellite navigation system, trajectory prediction, unmanned aerial vehicle, control algorithms, system reliability.

Парфентьев Кирилл Викторович
к.т.н., Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
parfentiev@bmstu.ru
Машков Илья Игоревич
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
mii20u625@student.bmstu.ru
Брель Даниил Олегович
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bdo21u131@student.bmstu.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение расширенного фильтра Калмана для интеграции данных нейросетевого анализа изображений, инерциального блока и глобальной спутниковой системы навигации с целью прогнозирования траектории беспилотного летательного аппарата. Представленный подход обеспечивает высокую точность определения положения даже при отключении одного из источников, что повышает надежность системы управления.

Ключевые слова: расширенный фильтр Калмана, нейросетевой анализ изображений, интеграция данных, инерциальные измерительные системы, глобальная система спутниковой навигации, прогнозирование траектории, беспилотный летательный аппарат, алгоритмы управления, надежность системы.

Введение

В современном мире задачи автономной навигации и управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) приобретают всё большее значение как в военной, так и в гражданских сферах. Растущая сложность траектория, обусловленная изменчивостью метеоусловий, наличием помех в системах связи и динамическими особенностями окружающей среды, требует разработки высокоточных методов прогнозирования положения БПЛА в пространстве [1]. Одним из перспективных направлений является применение расширенного фильтра Калмана [2], позволяющего интегрировать данные, получаемые из различных источников информации, таких как нейросетевой анализ изображений, инерциальный блок и глобальная спутниковая система навигации [3]. Этот подход обеспечивает устойчивость системы определения положения даже при временной недоступности или отказе одного из источников данных, что является критически важным условием для реализации надежных систем управления современными БПЛА.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности и устойчивости систем автономного управления в условиях высокой неопределенности и изменчивости внешней среды. Традиционные методы обработки данных, основанные на классических фильтрах, зачастую не способны адекватно компенсировать динамические ошибки, возникающие при резких изменениях траектории или появлении неожиданных внешних возмущений. Применение нейросетевых технологий для анализа изображений открывает новые возможности в области извлечения пространственных признаков, что в совокупности с алгоритмами расширенного фильтра Калмана позволяет существенно улучшить качество прогнозирования траектории БПЛА [4]. В этом контексте интеграция разнородных источников информации становится необходимым условием создания комплексной системы навигации, способной оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям и минимизировать риск потери контроля над аппаратом.

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в разработке алгоритма, который объединяет нейро-

сетевой анализ изображений с данными инерциального блока и глобальной спутниковой системы навигации посредством расширенного фильтра Калмана. Такой алгоритм позволяет осуществлять непрерывное обновление оценок состояния БПЛА, учитывая как прогнозные модели движения, так и фактические измерения, получаемые в режиме реального времени. Преимущество такого подхода заключается в возможности компенсировать ошибки, обусловленные как случайными шумами датчиков, так и систематическими погрешностями измерений, что в конечном итоге приводит к повышению точности и надежности системы управления. Кроме того, применение методов машинного обучения для предварительной обработки и интерпретации изображений позволяет выделять ключевые признаки, влияющие на траекторию полета, что существенно обогащает информационное наполнение модели.

Важным аспектом исследования является детальное рассмотрение алгоритмических решений, направленных на адаптивную калибровку параметров расширенного фильтра Калмана с учетом особенностей работы нейросетевых моделей. Такой подход позволяет осуществлять динамическую адаптацию системы к изменяющимся условиям эксплуатации, что является значимым шагом в развитии интеллектуальных систем управления. В работе проведен комплексный анализ существующих методов интеграции данных, выявлены их ограничения и предложены пути их преодоления за счет использования современных алгоритмов обработки информации.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью его применения в широком спектре задач, связанных с мониторингом, поисково-спасательными операциями, сельским хозяйством и транспортировкой грузов. Повышение точности определения положения БПЛА способствует оптимизации маршрутов, снижению затрат на топливо и уменьшению риска аварийных ситуаций. Анализ, проведенный в рамках исследования, демонстрирует, что интеграция данных с использованием расширенного фильтра Калмана позволяет не только улучшить качество прогнозирования траектории, но и создать базу для дальнейшего развития систем автономного управления, способных работать в условиях высокой степени неопределенности.

Структура работы включает в себя обзор теоретических основ и современных тенденций в области применения фильтров Калмана для задач навигации, анализ методов нейросетевого анализа изображений, а также описание разработанной модели интеграции данных. В представленной работе рассматривается алгоритм обработки данных, используемый в инерциальных измерительных системах и глобальных системах спутниковой навигации. Далее описывается разработка и апробация интегрированного алгоритма, включающего методики настройки параметров фильтра, механизмы коррекции ошибок и процедуры валидации модели. Завершающая часть содержит обобщение полученных результатов, выводы о практической применимости предложенного подхода и перспективы его дальнейшего развития.

Таким образом, представленное исследование направлено на решение актуальной задачи повышения эффективности систем автономного управления БПЛА посредством интеграции данных с использованием современных вычислительных методов и алгоритмов обработки сигналов. Применение расширенного фильтра Калмана в сочетании с нейросетевым анализом изображений представляет собой инновационный подход, позволяющий обеспечить высокую точность прогнозирования траектории и устойчивость работы системы в условиях неопределенности. Дальнейшие исследования в данном направлении могут способствовать созданию новых моделей управления, способных адаптироваться к различным режимам работы и условиям эксплуатации, что имеет существенное значение для развития технологий автономной навигации и безопасности воздушного пространства.

Постановка задачи

Целью работы является повышение точности и надежности прогнозирования траектории беспилотного летательного аппарата посредством интеграции данных нейросетевого анализа изображений, инерциального блока и глобальной спутниковой системы навигации с использованием расширенного фильтра Калмана.

Основная проблема исследования заключается в том, что процесс интеграции разнородных источников данных для определения положения аппарата является сложным и трудоемким, поскольку каждый из источников характеризуется различной степенью точности, скоростью обновления и уровнем шумов. Необходимость учитывать динамические изменения внешней среды, влияние случайных и систематических ошибок, а также временную недоступность отдельных сенсоров существенно усложняет задачу корректного определения траектории полета. Анализ множества факторов, влияющих на качество измерений, и выработка оптимальных алгоритмов их синтеза требуют значительных вычислительных ресурсов и глубокого понимания как теоретических, так и практических аспектов систем навигации.

Современными тенденциями в решении подобных задач является применение систем, способных адаптивно интегрировать данные с различных источников с учетом особенностей каждого из них. Использование методов нейросетевого анализа изображений в сочетании с алгоритмами расширенного фильтра Калмана открывает перспективы для создания надежных и от-

казоустойчивых систем управления, что уже успешно применяется в ряде отраслей, включая робототехнику, транспорт и аэрокосмическую промышленность.

На сегодняшний день в области автономной навигации беспилотных летательных аппаратов отсутствует единый алгоритм, способный объединить преимущества нейросетевого анализа, инерциальных измерительных систем и глобальных спутниковых навигационных технологий в единой модели прогнозирования траектории. В связи с этим, представляется необходимым разработать алгоритм, который позволит не только компенсировать ошибки каждого из источников, но и обеспечит устойчивость системы при отказе одного или нескольких датчиков, что является ключевым фактором повышения надежности управления аппаратами в условиях реального времени.

Разработка подхода

Для определения положения и скорости движения беспилотного летательного аппарата используется вектор состояния, представленный в виде [5]:

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ v_{x,k} \\ v_{y,k} \\ v_{z,k} \end{bmatrix}, \tag{1}$$

где (x_k, y_k, z_k) — координаты положения, а $(v_{x,k}, v_{y,k}, v_{z,k})$ — компоненты скорости. Динамика системы моделируется дискретным уравнением:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k, \tag{2}$$

где матрица перехода $\mathbf{F}$ описывает влияние прошедшего времени dt на изменение координат и скоростей, а матрица $\mathbf{B}$ отражает влияние управляющего воздействия $\mathbf{u}_k$ — ускорения, полученного с инерциальных датчиков. Вектор $\mathbf{w}_k$ представляет случайный шум процесса, который считается гауссовским с ковариационной матрицей $\mathbf{Q}$.

Матрицы $\mathbf{F}$ и $\mathbf{B}$ задаются следующим образом:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{3}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.5dt^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5dt^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5dt^2 \\ dt & 0 & 0 \\ 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & dt \end{bmatrix}, \tag{4}$$

Данная модель учитывает влияние временной дискретизации, что является критически важным при быстром изменении динамики полета. Точные расчеты матриц $\mathbf{F}$ и $\mathbf{B}$ позволяют обеспечить корректное распространение ошибки и гарантировать, что спрогнозированное состояние отражает реальные физические процессы, протекающие в системе. Важным моментом является учет инерционных эффектов, который реализуется через корректное моделирование ускорения, полученного с инерциальных измерительных систем, с последующей компенсацией гравитационного воздействия [6].

Алгоритм расширенного фильтра Калмана (РФК) реализует два ключевых этапа — предсказание и корректировку [7, 8]. На первом этапе производится вычисление прогнозного состояния системы, что позволяет оценить положение и скорость БПЛА до получения новых измерений:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{k+1}^{pred} &= \mathbf{F}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k, \\ \mathbf{P}_{k+1}^{pred} &= \mathbf{F}\mathbf{P}_k\mathbf{F}^T + \mathbf{Q} \end{aligned} \tag{5}$$

Эти уравнения позволяют распространить предыдущую оценку состояния с учётом влияния управляющего воздействия и модели шума процесса [9]. На следующем этапе, при поступлении измерений, производится корректировка прогнозного состояния:

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= \mathbf{H}\mathbf{P}_{k+1}^{pred}\mathbf{H}^T + \mathbf{R}, \\ \mathbf{K} &= \mathbf{P}_{k+1}^{pred}\mathbf{H}^T\mathbf{S}^{-1}, \\ \mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{x}_{k+1}^{pred} + \mathbf{K}\left(\mathbf{z} - \mathbf{H}\mathbf{x}_{k+1}^{pred}\right), \\ \mathbf{P}_{k+1} &= \left(\mathbf{I} - \mathbf{K}\mathbf{H}\right)\mathbf{P}_{k+1}^{pred} \end{aligned} \tag{6}$$

где матрица $\mathbf{H}$ связывает вектор состояния с измерениями, а $\mathbf{R}$ описывает шум измерений. Эти шаги позволяют эффективно корректировать прогнозное состояние с учетом поступающих данных, что особенно важно при наличии значительного шума и систематических ошибок в измерениях.

Корректировка состояния существенно повышает точность оценки, позволяя фильтру адаптивно реагировать на изменения внешней среды и динамику движения

аппарата. Результат работы фильтра представлен на рисунке 1.

Абсолютная ошибка предсказания траектории представлена на рисунке 2.

На первом рисунке видно, что предсказанная траектория близка к истинной, но при большом приближении траектории расходятся. На втором рисунке абсолютная ошибка после начального роста стабилизируется около 0,1–0,12 м, что говорит о достаточно высокой точности прогнозирования.

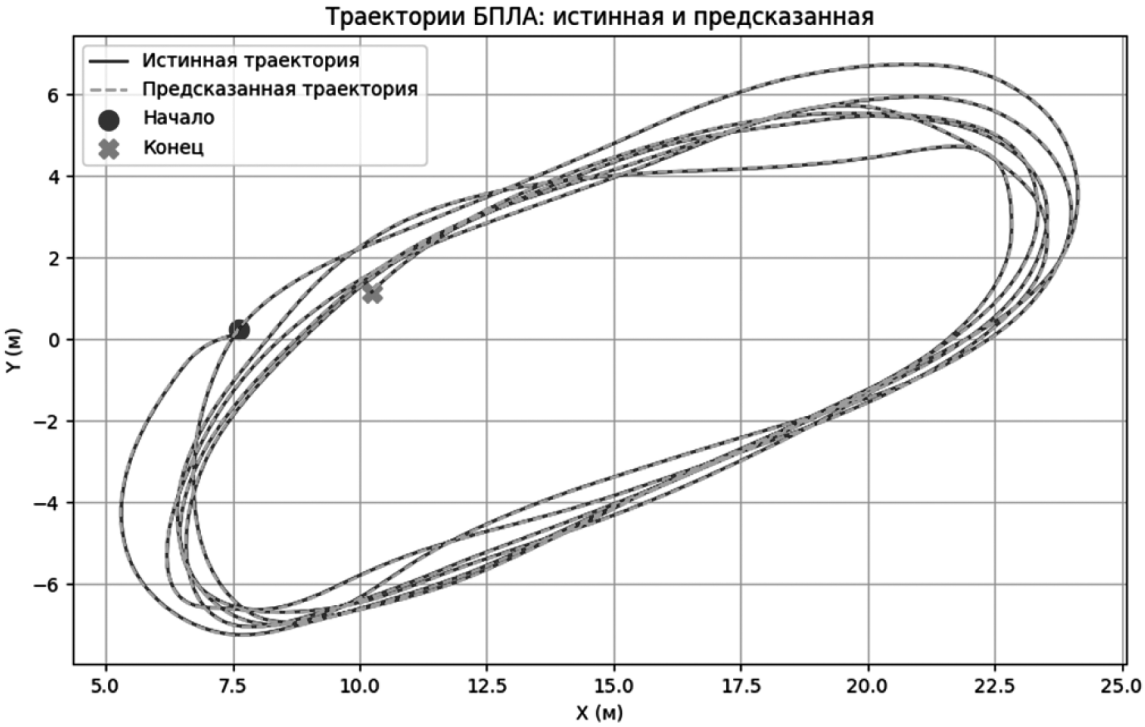


Рис. 1. Сравнение истинной и предсказанной (инерциальный блок и навигационные данные) траекторий БПЛА

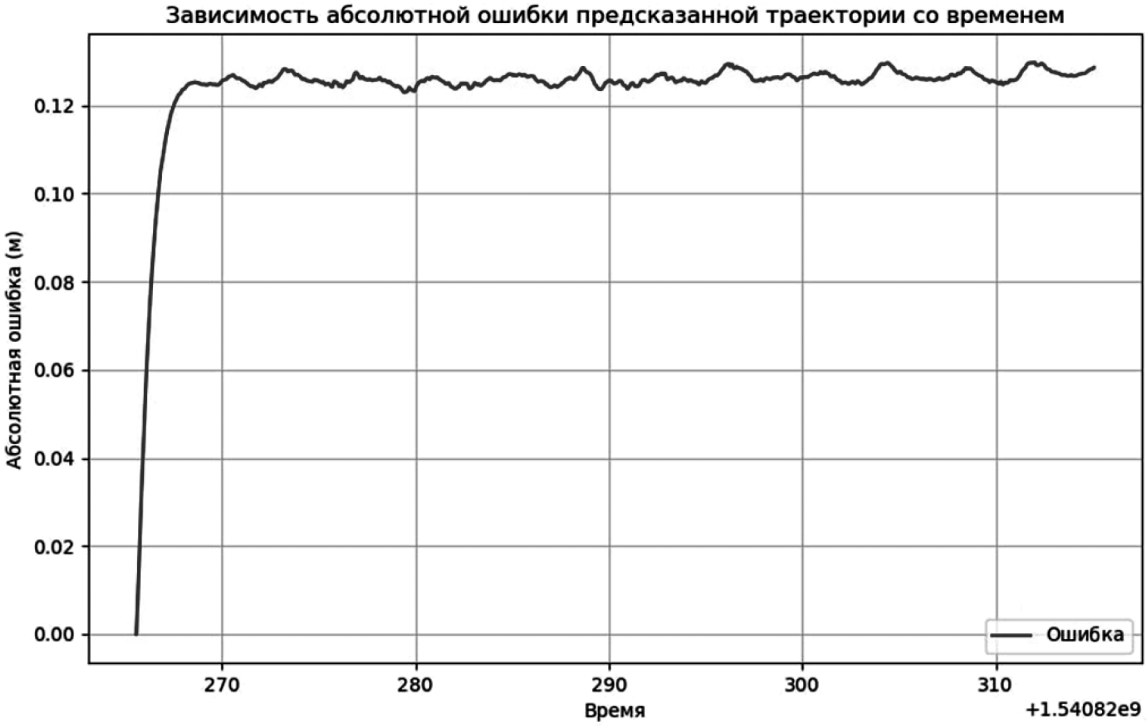


Рис. 2. Абсолютная ошибка отклонения предсказанной (инерциальный блок и навигационные данные) от истинной траектории БПЛА

Расширенный фильтр Калмана обеспечивает объединение данных от инерциальных измерительных систем и спутниковой навигации, что позволяет точно отслеживать траекторию БПЛА в нормальных условиях. Однако при отключении навигации или других внешних источников данные, получаемые исключительно от инерциальных систем, быстро накапливают ошибки, что значительно снижает надежность оценки. Для повышения отказоустойчивости модели наблюдения введена нейросетевая модель, которая корректирует траекторию, компенсируя ошибки, возникающие при отсутствии внешних данных, и тем самым обеспечивает стабильность работы системы даже в условиях временного отсутствия спутниковой навигации. Алгоритм коррекции оценки положения представлен на рисунке 3.

Архитектура нейросетевой модели представляет собой гибридное решение, сочетающее возможности сверточных нейронных сетей (CNN) и рекуррентных нейронных сетей (LSTM) для извлечения пространственно-временных признаков [10, 11]. Структурно модель включает следующие компоненты:

— Сверточный блок: данный блок состоит из нескольких сверточных слоев с нелинейными функциями активации (например, ReLU) и слоев подвыборки, что позволяет эффективно извлечь

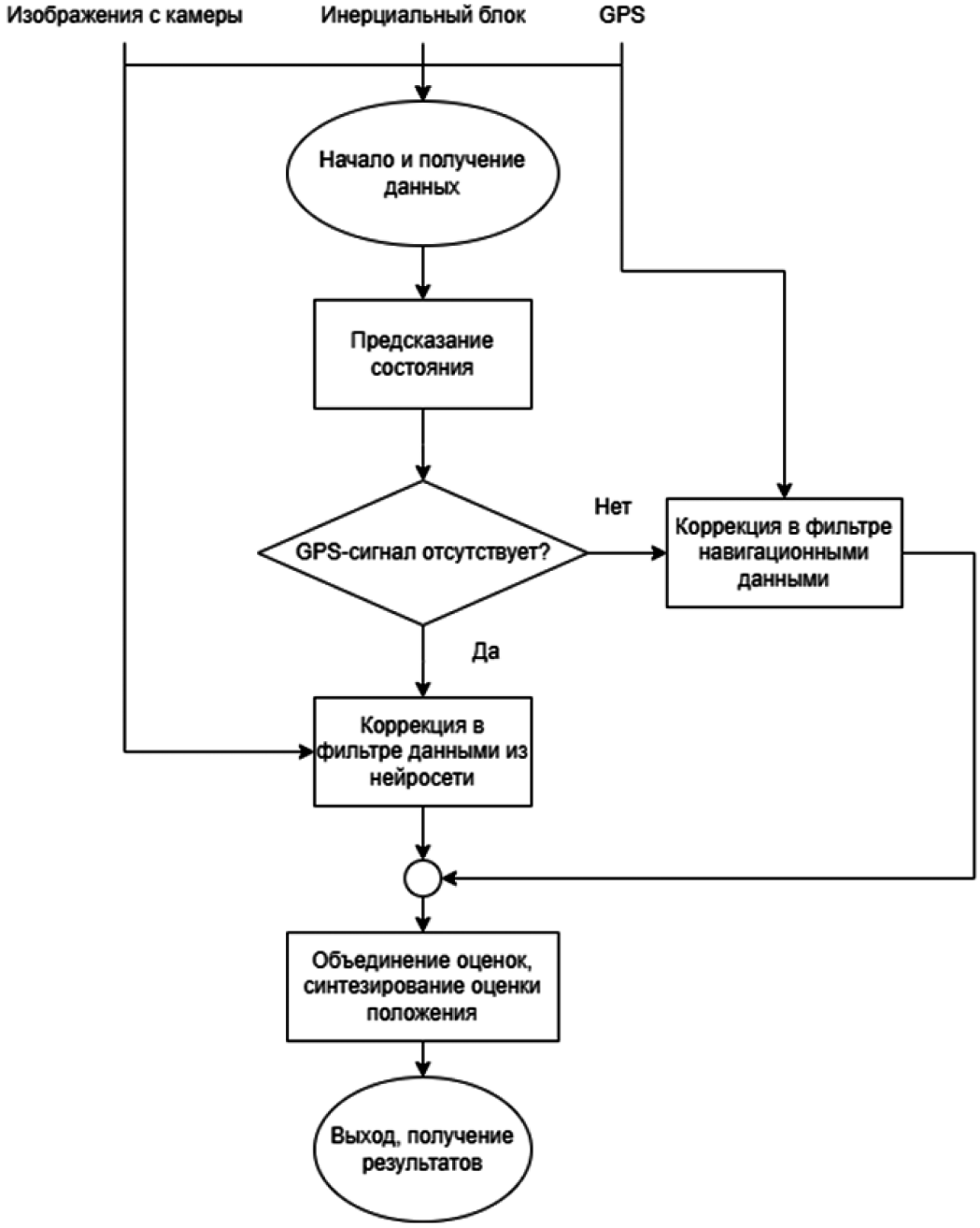


Рис. 3. Алгоритм коррекции оценки положения нейросетью

признаки из каждого отдельного изображения [12]. Эти признаки формируются в вектор фиксированной размерности, представляющий информацию о локальных особенностях изображения.

— Рекуррентный блок (LSTM): векторные представления, полученные для последовательности изображений, объединяются и передаются в LSTM-слой [13]. Этот слой обучается выявлять временные зависимости между последовательными изображениями, отражающие динамику изменения положения БПЛА. Рекуррентная структура обеспечивает возможность моделирования сложных нелинейных взаимосвязей, характерных для динамических процессов.

— Полносвязный выходной слой: итоговое представление, сформированное рекуррентным блоком, преобразуется в конечный вектор смещения $\Delta \mathbf{p}$ с использованием полносвязного слоя с линейной активацией, что позволяет непосредственно прогнозировать изменение координат [14].

Функция потерь, используемая при обучении модели, определяется как среднеквадратичная ошибка (MSE) [15, 16]:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left\|\Delta \mathbf{p}_i^{true} - \Delta \mathbf{p}_i^{pred}\right\|^2, \qquad (7)$$

где N — количество обучающих примеров. Минимизация данной функции приводит к улучшению качества прогнозирования смещения, что отражается на итоговой точности траектории.

Обучение нейросетевой модели проводилось на наборе из 2091 изображения, полученных с камеры БПЛА при разрешении 346x260 пикселей. Каждое изображение было сопоставлено с записями о положении (tx, ty, tz) и ориентации (qx, qy, qz) аппарата. Для унификации входных данных все изображения были преобразованы к размеру 128×128 пикселей и нормализованы в диапазоне [0, 1]. Далее формировались последовательности длиной 10 кадров, на основе которых вычислялось смещение (разность координат начального и конечного кадра в последовательности). Итоговая обучающая выборка имела размерность (N, 10, 128, 128, 3) для входных данных и (N, 3) для выходных векторов смещения. Нейросетевая архитектура включала сверточную часть (Conv2D- и MaxPooling-слои с 32 и 64 фильтрами), слой Flatten, полносвязный слой на 128 нейронов и рекуррентный слой LSTM на 64 единицы, после чего применялся выходной слой на три нейрона для регрессии смещения. Модель обучалась 10 эпох с размером выборки 8, используя оптимизатор Adam и функцию потерь MSE. Такой подход позволил не только объективно оценить качество предсказания смещения по тестовой выборке, но и при необходимости оперативно скорректировать гиперпараметры для снижения риска переобучения.

Объединение двух независимых методов оценки траектории (на основе расширенного фильтра Калмана и нейросетевого анализа) позволяет провести глубокий сравнительный анализ их эффективности. По результатам экспериментов получено визуальное сравнение двух траекторий, представленное на рисунке 4.

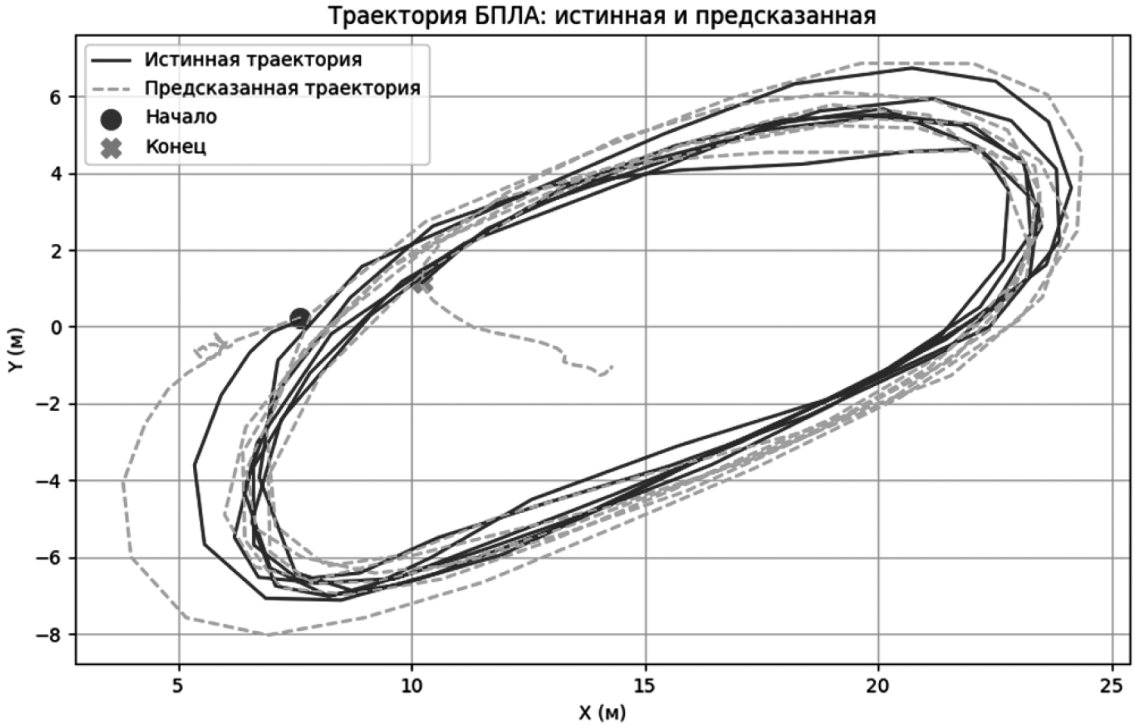


Рис. 4. Сравнение истинной и предсказанной (инерциальный блок и нейросетевая навигация) траекторий БПЛА

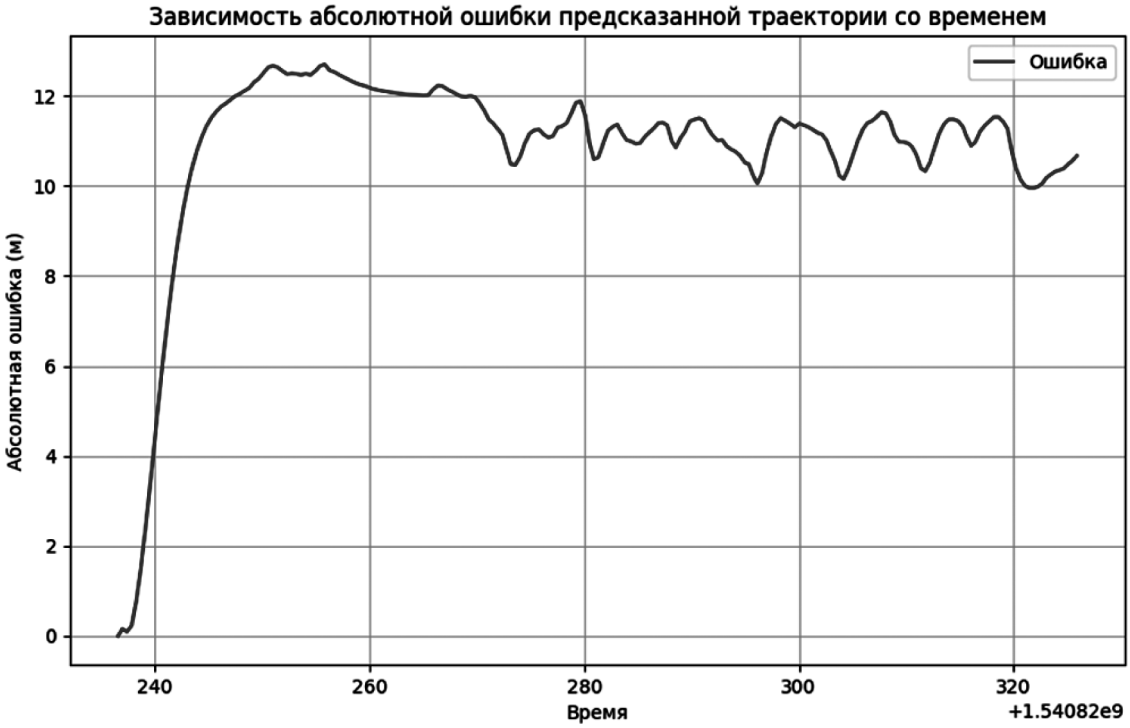


Рис. 5. Абсолютная ошибка отклонения предсказанной (инерциальный блок и нейросетевая навигация) от истинной траектории БПЛА

Абсолютная ошибка при таком подходе представлена на рисунке 5.

На первом рисунке видно, что предсказанная траектория в целом воспроизводит форму истинной, но имеет более заметные отклонения. На втором рисунке ошибка достигает 10–12 м и колеблется в этом диапазоне, что указывает на необходимость дальнейшей оптимизации или калибровки алгоритма.

Заключение

В статье рассмотрена задача повышения надёжности прогнозирования траектории беспилотного летательного аппарата на основе интеграции данных инерциальных измерительных систем, спутниковой навигации и нейросетевого анализа изображений. Предложенный подход, основанный на использовании расширенного фильтра Калмана и нейросетевых технологий, позволяет повысить отказоустойчивость системы и подробно воспроизвести траекторию летательного аппарата. Результаты экспериментов демонстрируют, что описанный метод способствует более обеспечивает высокую точность оценки положения даже при отключении одного из источников данных (спутниковой навигации) и может быть адаптирован к различным условиям эксплуатации. Кроме того, применение нейросетевого анализа открывает перспективы для дальнейшего расширения функционала, в том числе по выявлению дополнительных факторов, влияющих на траекторию, и быстрого реагирования на динамические изменения окружающей среды, что повышает экономическую и прикладную ценность решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fahlstrom P.G., Gleason T.J., Sadraey M.H. Introduction to UAV systems. — John Wiley & Sons, 2022.
2. Кудрявцева И.А. Анализ эффективности расширенного фильтра Калмана, сигма-точечного фильтра Калмана и сигма-точечного фильтра частиц //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. — 2016. — №. 224 (2). — С. 43–51.
3. Питенко А.А. Нейросетевой анализ в геоинформационных системах //АА Питенко [Электронный ресурс], URL: https://docplayer. ru/25973945-Aa-pitenko-neyrosetevoy-analiz-vgeoinformacionnyh-sistemah. html (дата обращения 20.05. 2021). — 2000.
4. Кондрашов Я.В., Арутюнян А.К., Кравчишин И.А. Прогнозирование терминальных параметров движения беспилотных летательных аппаратов //Электроника и управление/ЯВ Кондрашов, АК Арутюнян, ИА Кравчишин. — К.: НАУ. — 2009. — С. 10–14.
5. Ахрамович С.А., Малышев В.В., Старков А.В. Математическая модель движения беспилотного летательного аппарата в бикватернионной форме //Научно-техн. ж.» Полет». — 2018. — Т. 4. — С. 9.
6. Лойцянский Л. Ламинарный пограничный слой. — Рипол Классик, 2013.

7. Безмен П.А. Комплексирование данных системы управления мобильным роботом с использованием расширенного фильтра Калмана //Известия Юго-Западного государственного университета. — 2019. — Т. 23. — №. 2. — С. 53–64.
8. Дегтярев А.А., Тайль Ш. Элементы теории адаптивного расширенного фильтра Калмана //Препринты Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. — 2003. — №. 0. — С. 26–36.
9. Матушкин А.С. Фильтры Калмановского типа и их использование в навигации мобильных объектов //VII всероссийской научно-практической конференции «Научная сессия НТИ НИЯУ МИФИ–2015». — 2015. — С. 159.
10. Alzubaidi L. et al. Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions //Journal of big Data. — 2021. — Т. 8. — С. 1–74.
11. Shao Y. et al. The Traffic Flow Prediction Method Using the Incremental Learning-Based CNN-LTSM Model: The Solution of Mobile Application //Mobile Information Systems. — 2021. — Т. 2021. — №. 1. — С. 5579451.
12. Chen Y. et al. Dynamic relu //European conference on computer vision. — Cham: Springer International Publishing, 2020. — С. 351–367.
13. Ямашкин С.А., Ямашкина Е.О., Коваленко С.М. Принципы построения сверточно-рекуррентной нейросетевой модели для прогнозирования пространственно-временных процессов //Наука и бизнес: пути развития. — 2020. — №. 9. — С. 154–156.
14. Горбачевская Е.Н. Классификация нейронных сетей //Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. — 2012. — №. 2 (19). — С. 128–134.
15. Sara U., Akter M., Uddin M.S. Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study //Journal of Computer and Communications. — 2019. — Т. 7. — №. 3. — С. 8–18.
16. Tan H.L. et al. A perceptually relevant MSE-based image quality metric //IEEE Transactions on Image Processing. — 2013. — Т. 22. — №. 11. — С. 4447–4459.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.27

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЗОН РОСТА И ТЕСТИРОВАНИЕ ГИПОТЕЗ ПО ПЕРЕСТРОЕНИЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

USE OF SIMULATION MODELING TOOLS TO IDENTIFY PROMISING GROWTH AREAS AND TEST HYPOTHESES FOR BUSINESS PROCESS RECONSTRUCTION

I. Piskunov

Summary. Process management, including the development, monitoring and improvement of business processes, is the most important part of enterprise management. This article discusses the use of simulation modeling tools to ensure effective business process management. Based on the proposed tools, a group of contracting processes for a manufacturing enterprise was modeled in the ARENA discrete event modeling software product.

Keywords: business process management, discrete event modeling, BPM, business process optimization, business process modeling.

Пискунов Илья Андреевич
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Ilya.2410@yandex.ru

Аннотация. Процессное управление, включающее выстраивание, мониторинг и совершенствование бизнес-процессов, является важнейшей частью управления предприятием. В данной статье рассматривается применение инструментов имитационного моделирования для обеспечения эффективного управления бизнес-процессами. На основании предложенных инструментов произведено моделирование группы процессов контрактования производственного предприятия в программном продукте для дискретно-событийного моделирования ARENA.

Ключевые слова: управление бизнес-процессами, дискретно-событийное моделирование, BPM, оптимизация бизнес-процессов, моделирование бизнес-процессов.

В последние годы все большее количество предприятий в России и по всему миру фокусируются на выстраивании, автоматизации и совершенствовании бизнес-процессов, направленных на предоставление ценности потребителю. По статистике, предоставленной Precedence Research, ежегодный рост BPM систем во всем мире будет составлять 14,3 % [1], что может говорить о растущих перспективах процессного управления и автоматизации бизнес-процессов.

Исходя из данного фокуса предприятий на бизнес-процессах, возникает проблематика, заключающаяся в необходимости корректного управления бизнес-процессам, которое в большинстве случаев требует использования специализированных методик и инструментов, в том числе автоматизированных.

Целью данной работы является рассмотрение возможности применения инструментов имитационного моделирования для управления бизнес-процессами.

Согласно BPM CBOK, «управление бизнес-процессами — это это системный подход к выявлению, проектированию, исполнению, документированию, измерению, мониторингу и контролю как автоматизированных, так и неавтоматизированных бизнес-процессов, нацеленный на стабильное достижение показателей, согласованных со стратегическими целями организации» [2]. В дополнение к данному определению в жизненный цикл управления бизнес-процессами входит этап поиска и внедрения изменений, направленных на повышение показателей эффективности данных бизнес-процессов. Таким образом, для управления бизнес-процессами необходимо выполнение следующих действий:

1) проектирование и исполнение процесса;
2) моделирование и документирование процесса;
3) измерение и мониторинг процесса;
4) поиск и внедрение изменений процесса.

Первые три этапа описаны во множестве работ, для данных действий разработано большое количество различных программных продуктов и систем, в частности BPM-системы, такие как СУБП ELMA365, Comindware Business Application Platform, Digital Q.BPM и другие [3]. Последний этап не имеет такого точного описания и воспринимается в большинстве случаев как инновационный вид деятельности.

Этап совершенствования может рассматриваться как бизнес-процессная инновация (BPI / BPR), то есть разовое проектное изменение процесса в соответствие со стратегиями и целями компании, внешними и внутренними факторами, или как постоянное совершенствование, то есть непрерывное совершенствование бизнес-процесса с целью достижения более высокого уровня эффективности [2].

Оба рассмотренных подхода имеют одинаковую циклическую структуру:

1) анализ и определение «зоны роста» или «узкого места» процесса;
2) предложение гипотез для совершенствования процесса;
3) тестирование гипотез и выбор наилучших вариантов;
4) внедрение изменений и дальнейший мониторинг.

Для исполнения данного цикла в рамках работы применяются методы дискретно-событийного моделирования в программной среде ARENA.

Дискретно-событийное моделирование (DES) используется для построения модели, отражающей развитие системы во времени, когда состояния переменных меняются мгновенно в конкретные моменты времени [4]. Модель DES используется для описания и имитации процессов, происходящих в реальной бизнес-среде. Использование имитационного моделирования на этапе изменения процесса приведено в таблице 1 [5].

Таблица 1.

Цели имитации моделей

Действие	Применение модели
Анализ и определение «зоны роста» или «узкого места» процесса	Извлечение знаний о бизнес-процессах на основании журналов событий, определение «узких мест»
Предложение гипотез для совершенствования процесса	Создание экземпляров моделей процессов
Тестирование гипотез и выбор наилучших вариантов	Имитация экземпляров процесса
Внедрение изменений и дальнейший мониторинг	Определение наилучшего варианта экземпляра и внедрение в общую процессную структуру

В рамках данной работы была рассмотрена группа процессов контрактования проектов производственной компании. Группа процессов контрактования имеет границы от поступления заявки в маркетинговый отдел или обращения в отдел продаж до момента заключения договора с заказчиком и передачи проекта в исполнение. Бизнес-процессы, входящие в группу процессов контрактования:

— Маркетинговое обеспечение;
— Пресейл (предпродажная подготовка);
— Формирование технического решения;
— Формирование технико-коммерческого предложения;
— Участие в тендерной процедуре;
— Заключение договора с Заказчиком (контратование).

Графическая модель группы процессов приведена на рисунке 1.

Данная группа процессов имеет два входа — заявка, поступающая от новых клиентов, и заявка, поступающая от заказчиков, с которыми ранее взаимодействовала компания (действующие или прошлые заказчики). Заявка, поступающая от новых клиентов, обрабатывается отделом маркетинга в бизнес-процессе «Маркетинговое обеспечение». В среднем в месяц в компанию поступает 3 заявки от новых клиентов. Заявка, поступающая от действующих или прошлых заказчиков, поступает напрямую в отдел продаж и обрабатывается уже в бизнес-процессе «Пресейл». В среднем в месяц поступает 1,5 заявки от данного типа клиентов или 1 заявка в 20 дней. Данные по поступлениям заявок взяты в среднем за год; сезонность в количестве поступаемых заявок отсутствует.

Бизнес-процесс «Маркетинговое обеспечение» представляет собой обработку поступающих от новых клиентов заявок, в данном процессе осуществляется анализ соответствия требования клиента возможностям компании. В случае наличия возможности реализации происходит занесение заявки в CRM-систему и автоматическая передача заявки в бизнес-процесс «Пресейл». Бизнес-процесс «Маркетинговое обеспечение» поддерживается сотрудниками отдела маркетинга. В среднем обработка 1 заявки занимает у сотрудника отдела маркетинга 1 день. Минимальное время обработки (для заявок на типовые проекты компании) — половина дня; максимальное время обработки (для заявок на сложные комплексные проекты или нетиповые проекты) — 1,5 дня.

После обработки в рамках бизнес-процесса «Маркетинговое обеспечение» в среднем по статистике за последние 5 лет отклоняется 20 % заявок от новых клиентов, 60 % — передаются в отдел продаж в бизнес-процесс «Пресейл», а оставшиеся 10 % откладываются в банк проектов для ожидания. К данным заявкам относятся те, у которых тендерный конкурс будет проводиться более чем через 12 месяцев. В данном случае данные заявки откладываются на год и затем также передаются в бизнес-процесс «Пресейл».

В бизнес-процесс «Пресейл» приходят обработанные отдел маркетинга в рамках бизнес-процесса «Маркетинговое обеспечение» заявки, данные заявки уже являются

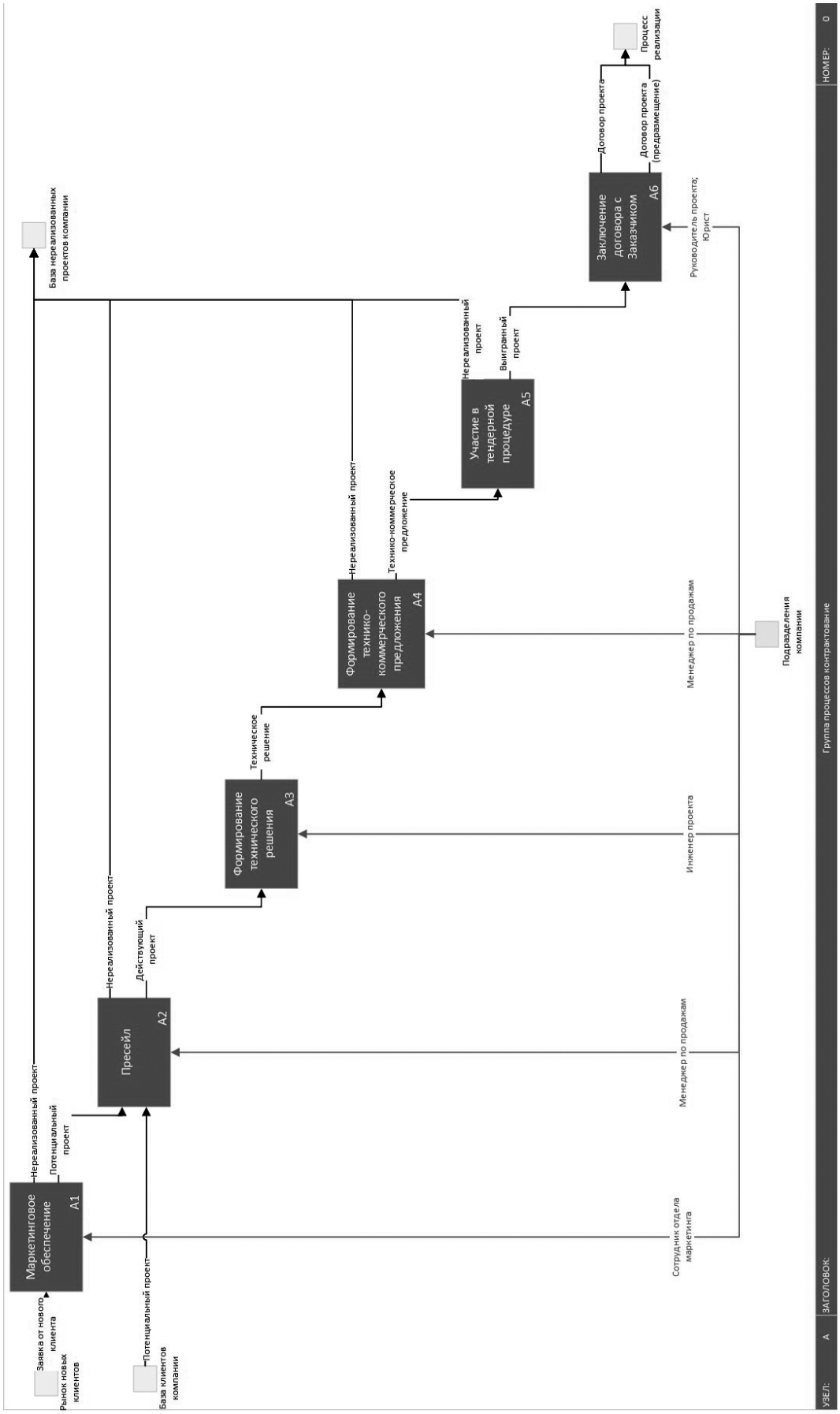


Рис. 1. Графическая модель группы процессов

потенциальными проектами компании, так как занесены в CRM-систему. Помимо заявок от новых клиентов, напрямую в бизнес-процесс «Пресейл» поступают заявки от уже действующих или прошлых заказчиков компании. Данные заявки автоматически становятся потенциальными проектами компании и поступают через CRM-систему.

В рамках бизнес-процесса «Пресейл» потенциальный проект ведется менеджером по продажам (сотрудник отдела продаж). Менеджер по продажам проводит переговоры с заказчиком, при необходимости презентует компанию и продукцию заказчику, формирует первичные технические требования и бюджет проекта. Работа над одним потенциальным проектом занимает у одного менеджера по продажам в среднем 21 день. Наименьшее зафиксированное время — 7 дней; максимальное зафиксированное время 60 дней. По результатам предпродажной подготовки менеджера по продажам в среднем 20 % проектов отклоняются ввиду различных причин. Потенциальные проекты, успешно прошедшие бизнес-процесс «Пресейл», получают в системе статус действующего проекта и передаются в бизнес-процесс «Формирование технического решения».

В рамках бизнес-процесса «Формирование технического решения» инженер проекта создает техническое решение на основании требований заказчика. Реализация технического решения в рамках одного действующего проекта осуществляется одним инженером в среднем за 30 дней. Минимальное время разработки (при типовых решениях) — 7 дней; максимальное время разработки (при сложных комплексных проектах) — 120 дней.

После разработки технического решения проект передается на формирование технико-коммерческого предложения в рамках бизнес-процесса «Формирование технико-коммерческого предложения», осуществляемого сотрудником отдела продаж (менеджером по продажам). В среднем данный процесс занимает у одного сотрудника 7 дней на один действующий проект. Минимальное зафиксированное время — 1 день; максимальное зафиксированное время — 30 дней.

Финальное технико-коммерческое предложение (ТКП) передается на тендерную процедуру.

В случае если длительность обработки проекта превышает 12 месяцев, то проект считается нереализованным, так как время для подачи на тендер истекает (тендер реализуется спустя 12 месяцев с даты получения заявки).

При соблюдении сроков проведения тендера наступает процесс «Участие в тендерной процедуре». В данном случае подается заявка на тендерный конкурс и ожидается 7 дней на проведение тендера. Если ТКП подготавливается ранее начала тендера, то осуществляется ожидание тендерного конкурса.

По результатам тендерного конкурса проект может быть принят и передан в бизнес-процесс «Заключение договора» или отклонен (проигран). Вероятность победы в конкурсе высока ввиду детальной подготовки и в среднем составляет 90 %. При победе на тендере статус проекта меняется на «выигранный проект».

Бизнес-процесс «Заключение договора с Заказчиком» является финальным бизнес-процессом рассматриваемой группы процессов. В заключении договора участвуют два сотрудника компании — юрист и руководитель проекта. Среднее время заключения одного контракта 21 день; макс время — 70 дней; мин время — 1 неделя (7 дней). В случае если заключения договора длится более 2 месяцев (60 дней) сущность уходит на предразмещение (ускоренное размещение заявки на отгрузку). После контрактации сущности уходят в дальнейшую реализацию, не рассматриваемую в рамках данной группы процессов.

Человеческие ресурсы с указанием деятельности, в которых необходимы их компетенции указаны в таблице 2.

Таблица 2.

Ресурсы и компетенции компании

Должность	Количество сотрудников	Бизнес-процесс
Сотрудник отдела маркетинга	1	Маркетинговое обеспечение
Менеджер по продажам	3	Пресейл, Формирование технико-коммерческого предложения
Инженер проекта	3	Формирование технического решения
Юрист	2	Заключение договора с Заказчиком
Руководитель проекта	3	Заключение договора с Заказчиком

По описанной группе процессов контрактования компании была сформирована имитационная модель в программной среде ARENA, приведенная на рисунках 2–3.

По результатам имитации во временном диапазоне до 3650 дней (10 лет) были получены данные, приведенные на рисунках 4–6.

По результатам видно, что большинство проектов уходят на закрытие ввиду того, что не вкладываются

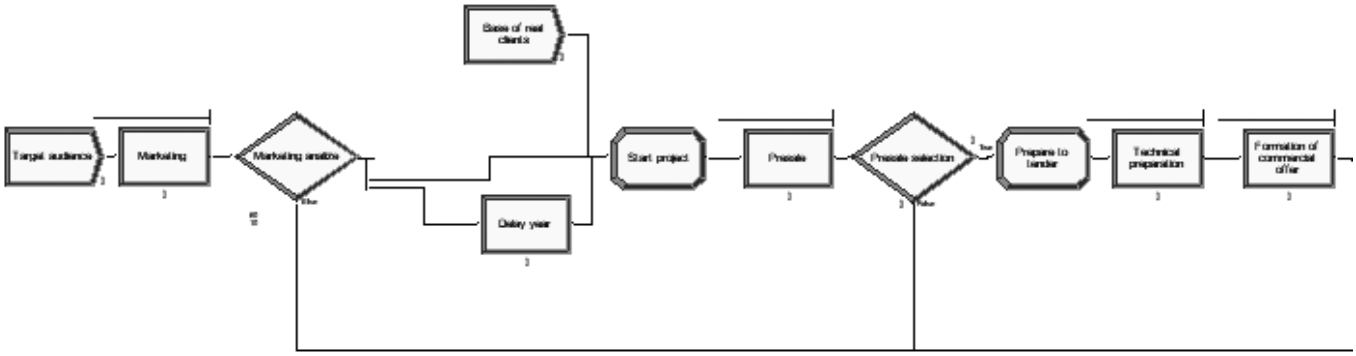


Рис. 2. Имитационная модель в программной среде ARENA (часть 1)

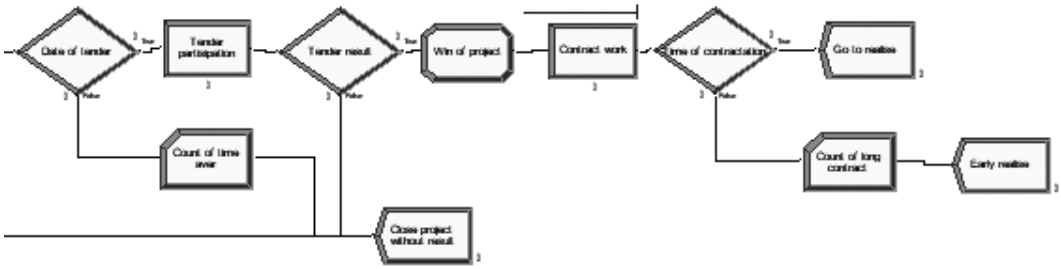


Рис. 3. Имитационная модель в программной среде ARENA (часть 2)

в сроки тендера, исходя из чего требуется изменение модели. По ожиданию и времени прохождения видно, что наибольшее время затрачивается на процессах Presale, Technical formation и Formation of commercial offer. Исходя из этого было предложено изменение последовательности процессов Technical formation и Formation of commercial offer. Изменение отражено на рисунке 7.

В результате имитации модели были получены данные, приведенные на рисунке 8. По полученным данным можно сделать вывод, что изменение последовательности процесса повлияло на количество положительно реализуемых проектов (рост практически в два раза).

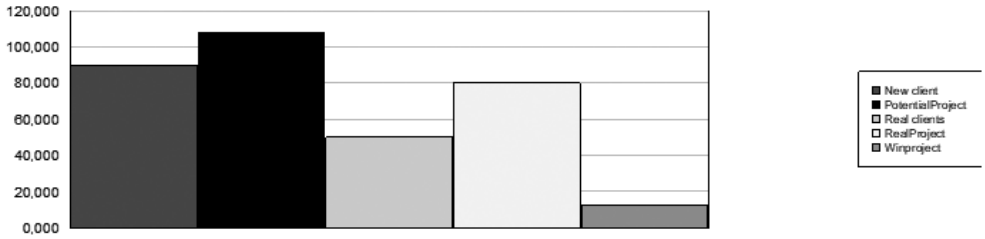
Проведенное исследование отражает возможность эффективного применения имитационного моделирования для выявления «зон роста» / «узких мест», формирования и тестирования гипотез перестроения процесса / группы процессов.

Дальнейшее совершенствование рассматриваемого механизма может быть направлено на непрерывное изменение процесса при его выполнении, то есть гибкое перестроение процесса в среде реализации данного процесса (при его автоматизации).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рынок BPM 2023 / CNews — издание о высоких технологиях : сайт — URL: https://www.cnews.ru/reviews/rynok_bpm_2023/articles/rossijskij_rynok_bpm_zhdet_volna_sliyanij
2. Т. Бенедикт, М. Кирхмер, М. Шарсиг, П. Франц, Р. Саксена, Д. Моррис, Дж. Хилти. Свод знаний по управлению бизнес-процессами: BPM СВОК 4.0 / Под ред. А.А. Белайчука ; Пер. с англ. — М. : Альпина Паблишер, 2022. — 504 с.
3. BPM-системы 2024 / CNews — издание о высоких технологиях: сайт — URL: https://www.cnews.ru/reviews/bpm-sistemy_2024
4. С.А. Олейникова Моделирование: учебное пособие / ФГБОУ ВО О-53 «Воронежский государственный технический университет». — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. — 127 с.
5. A.F. Septiyanto, R. Sarno and K.R. Sungkono, «Identifying Bottlenecks of Hierarchical Process Model by Using Discrete Event Simulation and Process Mining», 2022 IEEE 8th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED), Sukabumi, Indonesia, 2022, с. 1–6, doi: 10.1109/ICCED56140.2022.10010450.

Number In	Value
New client	90.0000
PotentialProject	108.00
Real clients	50.0000
RealProject	80.0000
Winproject	12.0000



Number Out	Value
New client	90.0000
PotentialProject	108.00
Real clients	50.0000
RealProject	80.0000
Winproject	12.0000

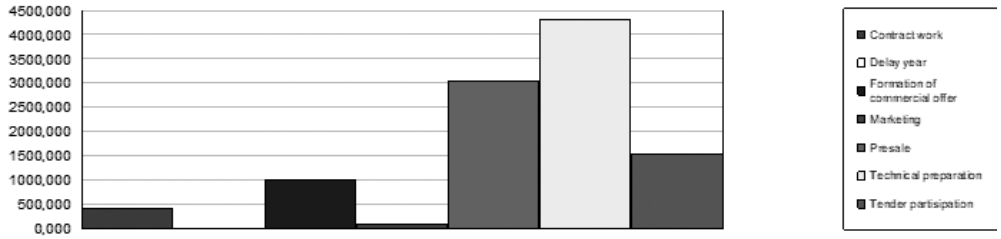
VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Contract work	32.7407	(Insufficient)	8.1178	67.3667
Delay year	0.00034247	(Insufficient)	0.00034247	0.00034247
Formation of commercial offer	12.3523	(Insufficient)	2.0638	27.9259
Marketing	0.9927	(Insufficient)	0.5393	1.4320
Presale	28.1861	(Insufficient)	9.5486	58.3354
Technical preparation	53.9632	(Insufficient)	10.6888	109.78
Tender partisipation	117.41	(Insufficient)	16.8324	214.53

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Contract work	22.4944	(Insufficient)	0.00	41.8411
Formation of commercial offer	127.79	(Insufficient)	0.00	257.54
Marketing	1.0137	(Insufficient)	0.00	2.5615
Presale	143.90	(Insufficient)	0.00	265.33
Technical preparation	141.55	(Insufficient)	0.00	280.31

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Contract work	55.2351	(Insufficient)	26.9943	77.5941
Delay year	0.00034247	(Insufficient)	0.00034247	0.00034247
Formation of commercial offer	140.14	(Insufficient)	3.2831	277.29
Marketing	2.0064	(Insufficient)	0.5393	3.6148
Presale	172.09	(Insufficient)	13.5826	294.24
Technical preparation	195.51	(Insufficient)	36.8618	359.01
Tender partisipation	117.41	(Insufficient)	16.8324	214.53

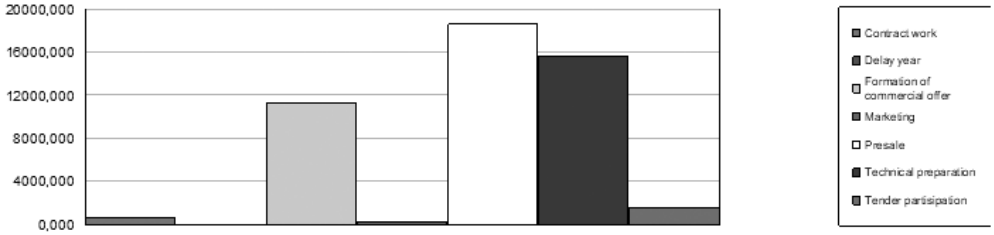
Рис. 4. Отчет по имитации модели (часть 1)

Accum VA Time	Value
Contract work	392.89
Delay year	0.00102740
Formation of commercial offer	988.18
Marketing	89.3452
Presale	3044.10
Technical preparation	4317.06
Tender partisipation	1526.39



Accum Wait Time	Value
Contract work	269.93
Formation of commercial offer	10223.11
Marketing	91.2333
Presale	15541.56
Technical preparation	11323.71

Total Accum Time	Value
Contract work	662.82
Delay year	0.00102740
Formation of commercial offer	11211.29
Marketing	180.58
Presale	18585.66
Technical preparation	15640.76
Tender partisipation	1526.39



Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Contract work.Queue	22.4944	(Insufficient)	0.00	41.8411
Formation of commercial offer.Queue	127.79	(Insufficient)	0.00	257.54
Marketing.Queue	1.0137	(Insufficient)	0.00	2.5615
Presale.Queue	143.90	(Insufficient)	0.00	265.33
Technical preparation.Queue	141.55	(Insufficient)	0.00	280.31

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Contract work.Queue	0.07395420	(Insufficient)	0.00	3.0000
Formation of commercial offer.Queue	2.8009	(Insufficient)	0.00	17.0000
Marketing.Queue	0.02499544	(Insufficient)	0.00	2.0000
Presale.Queue	4.2580	(Insufficient)	0.00	25.0000
Technical preparation.Queue	3.1024	(Insufficient)	0.00	16.0000

Рис. 5. Отчет по имитации модели (часть 2)

Count

	Value
Number of long contract	0.00
Number of time aver	49.0000

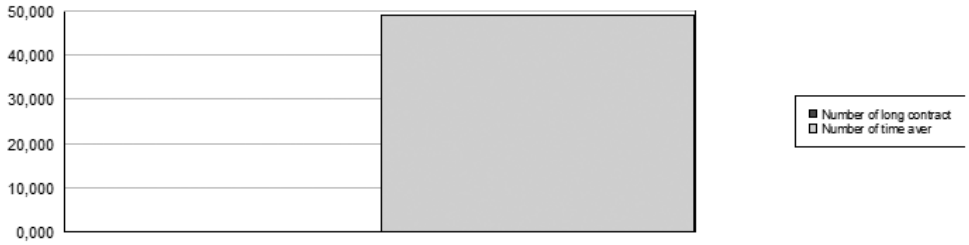


Рис. 6. Отчет по имитации модели (3)

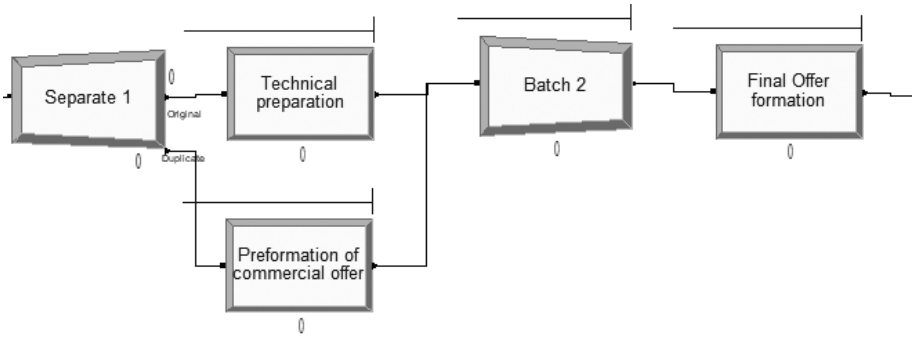
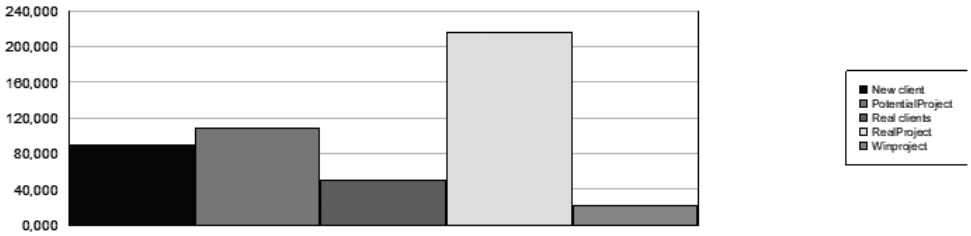


Рис. 7. Изменение группы процессов

Number In

	Value
New client	90.0000
PotentialProject	109.00
Real clients	50.0000
RealProject	216.00
Winproject	22.0000



Number Out

	Value
New client	90.0000
PotentialProject	109.00
Real clients	50.0000
RealProject	216.00
Winproject	22.0000

Count

	Value
Number of long contract	0.00
Number of time aver	67.0000

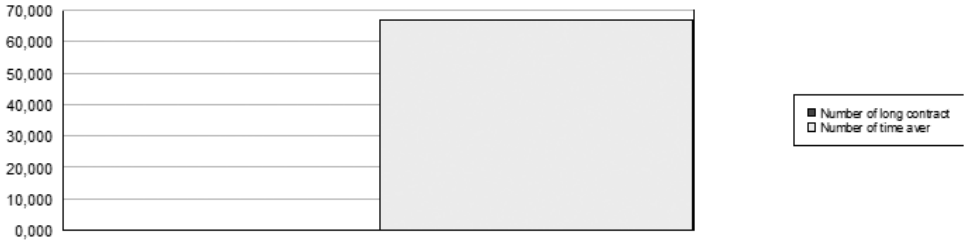


Рис. 8. Отчет по имитации измененной модели

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.30

К ВОПРОСУ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕСТРУКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

ON THE ISSUE OF IDENTIFYING DESTRUCTIVE BEHAVIOR BASED ON TEXT DATA ANALYSIS USING MACHINE LEARNING METHODS

N. Teterin
V. Smolentseva

Summary. The problem of identifying destructive behavior of Internet users based on the analysis of text data considered in the paper is an effective tool for preventing the consequences of destructive behavior. Destructive behavior, including cyberbullying, trolling, and hate speech, is a serious problem for online communities. The paper proposes an approach based on machine learning and natural language processing (NLP) methods based on the example of identifying destructive behavior. Experiments have been conducted using various classification algorithms, such as Random Forest, as well as text preprocessing methods. The results show that the proposed approach makes it possible to effectively identify destructive behavior.

Keywords: Destructive behavior, machine learning, forecasting, natural language processing, Internet users.

Тетерин Николай Николаевич
Ассистент, ФГБОУ ВО МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА)
teterin@mirea.ru
Смоленцева Владислава Владимировна
ФГБОУ ИВО «Российский государственный университет социальных технологий (РГУ СОЦТЕХ)
smoltan@bk.ru

Аннотация. Рассмотренная в работе задача выявления деструктивного поведения интернет-пользователей на основе анализа текстовых данных является эффективным инструментом для предотвращения последствий от негативного влияния. Деструктивное поведение, включая кибербуллинг, троллинг и распространение ненависти, представляет собой серьезную проблему для онлайн-сообществ. В работе предложен подход, основанный на методах машинного обучения и обработки естественного языка (NLP) на примере выявления деструктивного поведения. Проведены эксперименты с использованием различных алгоритмов классификации, таких как Random Forest, а также методов предобработки текста. Результаты показывают, что предложенный подход позволяет эффективно выявлять деструктивное поведение.

Ключевые слова: деструктивное поведение, машинное обучение, прогнозирование, обработка естественного языка, интернет-пользователи.

С развитием интернет-сообществ и социальных сетей проблема деструктивного поведения пользователей становится все более актуальной. Кибербуллинг, троллинг, распространение ненависти и другие формы агрессивного поведения негативно влияют на психологическое состояние пользователей и могут приводить к серьезным социальным последствиям. Автоматизация выявления таких случаев является важной задачей для обеспечения безопасности в онлайн-среде. В данной статье предлагается подход к прогнозированию выявления деструктивного поведения на основе анализа текстовых данных с использованием методов машинного обучения [1]. В данной области проводятся исследования Минаевым А.В. и Симоновым А.В., которые в своих работах акцентируют внимание на вопросах информационной безопасности [2–3].

Для преобразования текста в числовой формат использовался метод TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency). Данный метод учитывает частоту слов и степень важности [4].

В качестве модели классификации использовался Random Forest. Данный алгоритм был выбран благодаря его способности работать с нелинейными зависимостями и высокой интерпретируемости результатов.

Для обучения модели использовался синтетический набор данных, пример представлен в таблице 1, содержащий 15 текстовых сообщений, разделенных на четыре категории:

- Сообщения, содержащие запросы информации (вопросы).
- Сообщения, выражающие недовольство (жалобы).
- Сообщения с благодарностями или положительными оценками (положительные сообщения).
- Сообщения, содержащие агрессию или крайний негатив (деструктивное сообщения).

Выбор именно такого числа категорий описан в работе соавторов раннее [5].

Матрица ошибок, представленная на рисунке 1, является важным инструментом для оценки качества работы модели классификации. Она наглядно демонстрирует, как модель справляется с разделением данных на классы, и позволяет понять, какие ошибки она допускает.

Таблица 1.

Набор данных

Текст	Категория
Почему в библиотеке так мало учебников?	вопрос
Преподаватель по математике просто замечательный!	положительный
Я не могу понять, как подать апелляцию на оценку.	вопрос
Этот курс ужасно организован, ничего не понятно!	жалоба
Спасибо за помощь в оформлении документов!	положительный
Почему в столовой всегда такие длинные очереди?	жалоба
Как записаться на дополнительные курсы?	вопрос
Мне не нравится, как проводят лекции, это скучно.	жалоба
Отличная библиотека, всегда нахожу нужные книги!	положительный
Зачем вообще нужны эти обязательные предметы?	деструктивное
Я ненавижу этот университет, всё здесь ужасно!	деструктивное
Какой прекрасный кампус, здесь так уютно!	положительный
Почему никто не отвечает на мои письма?	жалоба
Мне нужна помощь с выбором курсов, куда обратиться?	вопрос
Этот университет — пустая трата времени и денег!	деструктивное

В данном случае матрица ошибок показывает, что модель корректно классифицировала все сообщения в тестовой выборке.

Анализ важности признаков, представленный на рисунке 2, позволяет определить, какие именно слова или характеристики текста оказывают наибольшее влияние на процесс классификации, что важно для понимания того, как модель машинного обучения принимает решения и какие данные она считает наиболее информативными. В данном случае выявлено, что определенные слова играют ключевую роль в классификации, что может указывать на их значимость для выявления деструктивных сообщений. Такой анализ помогает:

Улучшить интерпретируемость модели для понимания того, какие слова важны, что делает модель более прозрачной и объяснимой.

Оптимизировать предобработку данных для выявления значимых слов, что позволяет сосредоточиться на наиболее релевантных признаках и ускорить процесс обработки текста.

Повысить точность модели для исключения малозначимых признаков или добавление новых, что может улучшить качество классификации.

Выявить закономерности, для анализа важности слов, помогая понять, какие темы или формулировки

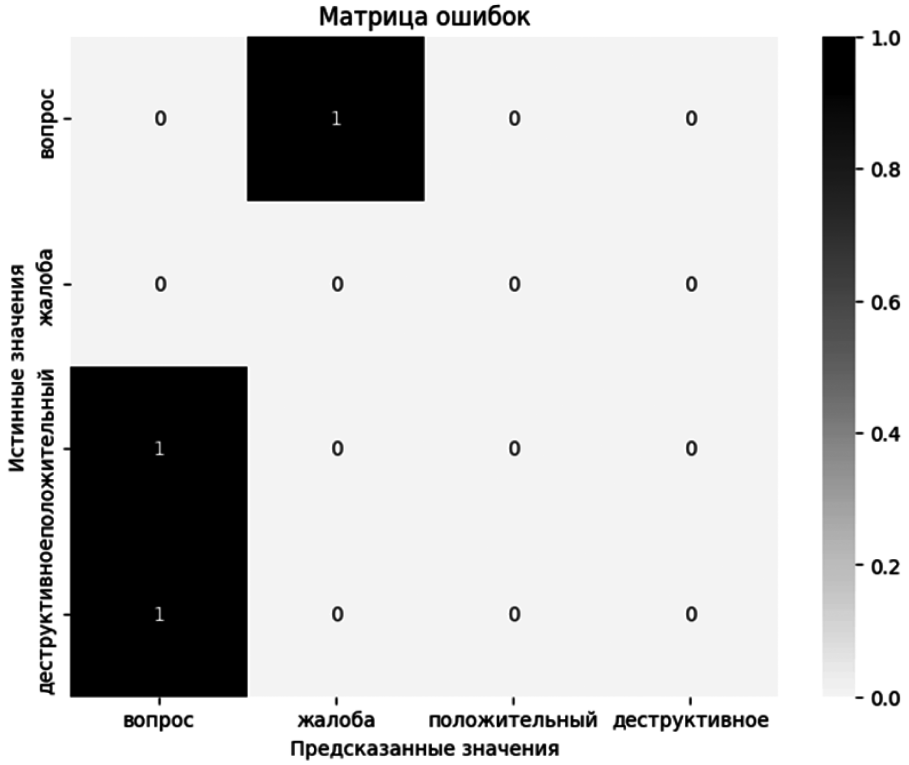


Рис. 1. Матрица ошибок

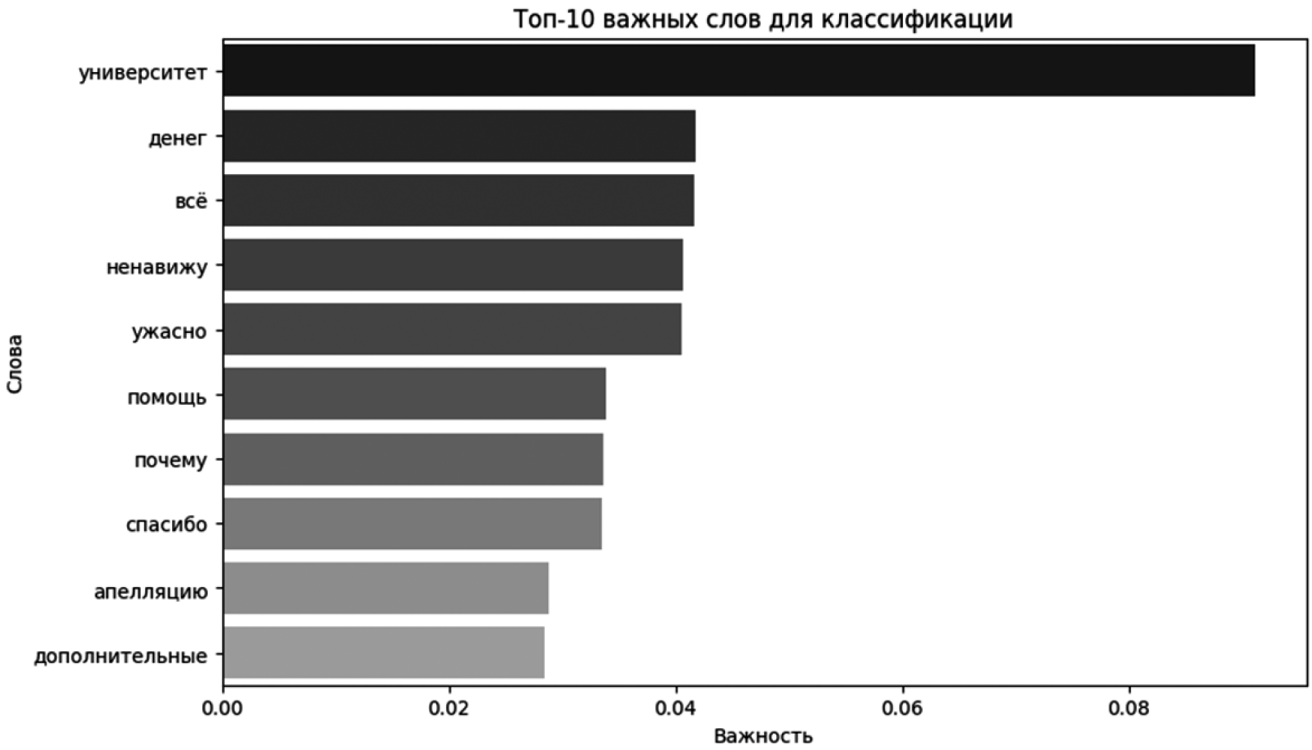


Рис. 2. Наиболее значимые слова для классификации

чаще всего связаны с деструктивными сообщениями, что может быть полезно для дальнейших исследований или разработки профилактических мер.

Использование систем автоматического выявления деструктивного поведения в текстовых сообщениях сопряжено с рядом этических и правовых вопросов, связанных с конфиденциальностью пользователей [6]. Алгоритмы, применяемые для анализа текста, должны быть прозрачными и интерпретируемыми, чтобы пользователи могли понимать, на основании каких критериев принимаются решения, что особенно важно для минимизации риска ложных срабатываний, которые могут привести к необоснованным блокировкам или ограничениям пользователей [7]. Ложные срабатывания не только нарушают права пользователей, но и снижают доверие к системе, для решения этой проблемы необходимо внедрять механизмы контроля осуществляющего ЛПР (лицо принимающее решение), а также обеспечивать возможность анализа решений, предложенных алгоритмом.

Одной из ключевых проблем в разработке моделей для выявления деструктивного поведения является недостаток размеченных данных. Качественная разметка данных требует значительных временных и ресурсных затрат, так как предполагает привлечение экспертов для аннотирования текстов. Кроме того, деструктивное поведение часто зависит от контекста, что усложняет задачу классификации. Например, одно и то же сообщение может быть воспринято как оскорбительное в одном контексте и как нейтральное или даже позитивное — в другом, что требует разработки более сложных методов анализа, учитывающих контекстную зависимость сообщений [8]. Еще одной проблемой является культурная и языковая специфика. Деструктивное поведение может по-разному проявляться в различных языковых и культурных средах. Например, выражения, которые считаются оскорбительными в одной культуре, могут быть приемлемыми в другой, что требует создания мультиязычных и мультикультурных наборов данных, а также адаптации моделей к локальным особенностям.

Для повышения качества классификации деструктивного поведения предлагаются следующие подходы:

Использование предобученных языковых моделей: Современные языковые модели, такие как BERT, GPT и их аналоги, демонстрируют высокую эффективность в задачах обработки естественного языка (NLP). Данные модели способны учитывать контекст сообщений и извлекать сложные семантические зависимости, что делает их особенно полезными для классификации деструктивного поведения. Например, BERT может анализировать контекстные связи между словами, что позволяет более точно определять намерения автора сообщения [9-10].

Для улучшения классификации контекстно-зависимых сообщений предлагается использовать методы, учитывающие не только отдельные слова или фразы,

но и их окружение, что может включать анализ последовательностей сообщений, учет тональности текста, а также использование дополнительных метаданных [11].

Для обучения моделей необходимо создавать аннотированные корпуса текстов, которые охватывают различные языки, культуры и типы деструктивного поведения, что может быть достигнуто за счет краудсорсинга, сотрудничества с социальными платформами и использования полуавтоматических методов разметки данных. Кроме того, важно учитывать баланс классов в наборах данных, чтобы избежать смещения модели в сторону одного из классов.

Язык и поведение пользователей постоянно эволюционируют, модели должны регулярно обновляться и переобучаться на новых данных, что позволит поддерживать их актуальность и эффективность в долгосрочной перспективе.

Заключение

Использование методов машинного обучения, таких как Random Forest, в сочетании с комплексной предобработкой текста, включающей очистку данных, устранение дубликатов и удаление повторов, демонстрирует высокую эффективность в выявлении деструктивных сообщений. Тем не менее, для достижения более высокой точности и надежности модели требуется дальнейшее исследование, включающее внедрение более сложных алгоритмов, таких как нейронные сети, а также расширение и улучшение качества обучающих данных.

Разработка систем автоматического выявления деструктивного поведения требует комплексного подхода, который учитывает как технические, так и этические аспекты. Использование современных языковых моделей, таких как BERT и GPT, в сочетании с методами анализа контекста и созданием качественных наборов данных, позволяет значительно повысить точность и надежность таких систем. Однако важно помнить о необходимости соблюдения прозрачности, минимизации ложных срабатываний и учета культурных особенностей, чтобы обеспечить точную интерпретацию и защиту прав пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семериков, А.В. Классификация объектов на основе нейронной сети и методами дерева решения и ближайших соседей: учебное пособие / А.В. Семериков, М.А. Глазырин. — Ухта: УГТУ, 2022. — С. 68.
2. Минаев, В.А. Выявление деструктивного контента в социальных МЕДИА на основе Моделей машинного обучения / В.А. Минаев, А.Д. Реброва, А.В. Симонов // Информация и безопасность. — 2021. — Т. 24, № 1. — С. 7–20.
3. Минаев, В.А. Повышение точности идентификации контента экстремистского характера в социальных медиа / В.А. Минаев, А.В. Симонов // Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра: Сборник статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Москва, 14 апреля 2022 года. — Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2022. — С. 80–86.
4. Гехт, А.Б. Гуманитарные проблемы искусственного интеллекта и его применения: монография / А.Б. Гехт, Р.В. Душкин, А.В. Неровный [и др.]. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2024. С. 204–212.
5. Тетерин, Н.Н. К вопросу формализации задачи выявления деструктивного поведения с применением технологий искусственного интеллекта / Н.Н. Тетерин, В.В. Смоленцева // Тенденции развития науки и образования. — 2024. — № 114-10. — С. 81–83.
6. Ибрагимова, Н.И. Опасности в современном мире и методы обучения вопросам безопасности: учебно-методическое пособие / Н.И. Ибрагимова, А.В. Жогаль. — Сургут: СурГУ, 2024. С. 20–25.
7. Романов, В.Г. Социальная инженерия мошенничества: монография / В.Г. Романов, И.В. Романова. — Чита: ЗабГУ, 2021. С. 103–107.
8. Москвитин, А.А. Данные, информация, знания: методология, теория, технологии: монография / А.А. Москвитин. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. С. 171–174.
9. Широких, И.В. Специфика текста как продукта искусственного интеллекта / И.В. Широких, А.Г. Фомин // Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных : Сборник статей II Всероссийской научной конференции: в 5 томах, Москва, 27–28 апреля 2023 года. — Москва: КДУ, Добросвет, 2023. — С. 349–355.
10. Салып, Б.Ю. Анализ модели BERT как инструмента определения меры смысловой близости предложений естественного языка / Б.Ю. Салып, А.А. Смирнов // StudNet. — 2022. — Т. 5, № 5. — С. 33.
11. Методика сбора и обработки социологической информации из сети Интернет / А.А. Воробьев, А.М. Рыбак, Р.А. Середкин [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — № 2. — С. 208–213.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.31

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ: ОГРАНИЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

DECISION SUPPORT SYSTEMS IN MEDICINE: LIMITATIONS AND POSSIBLE SOLUTIONS

Haddad Nekoula

Summary. Decision support systems (DSS) in medicine are technological tools designed to optimize clinical practice by analyzing patient data and generating recommendations. However, their effectiveness is limited by the difficulties of integration with electronic medical records (EMRs), which remain a key source of information. The article examines the technical, organizational, and legal barriers to such integration, including incompatibility of data formats, fragmentation of systems, and privacy issues. Based on the analysis of modern research, solutions are proposed: standardization of interfaces, improvement of the algorithms used, and staff training.

Keywords: decision support system, artificial intelligence, machine learning, information systems integration, data standardization, NLP.

Хаддад Некула
Аспирант, МГТУ им. Баумана
nekoula@inbox.ru

Аннотация. Системы поддержки принятия решений (СППР) в медицине — это технологические инструменты, призванные оптимизировать клиническую практику за счет анализа данных пациентов и генерации рекомендаций. Однако их эффективность ограничена сложностями интеграции с электронными медицинскими картами (ЭМК), которые остаются ключевым источником информации. В статье исследуются технические, организационные и юридические барьеры такой интеграции, включая несовместимость форматов данных, фрагментацию систем и вопросы конфиденциальности. На основе анализа современных исследований предложены решения: стандартизация интерфейсов, улучшение используемых алгоритмов и обучение персонала.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, искусственный интеллект, машинное обучение, интеграция информационных систем, стандартизация данных, НЛП.

Введение

Системы поддержки принятия врачебных решений (СППР) все чаще интегрируются в медицинские учреждения для улучшения результатов лечения пациентов, снижения медицинских ошибок и повышения эффективности клинической работы, предоставляя врачам рекомендации, основанные на доказательствах, в момент оказания помощи [1]. СППР представляют собой парадигмальный сдвиг в здравоохранении, увеличивая возможности врачей в процессе принятия сложных решений за счет использования целевых клинических знаний, информации о пациентах и других медицинских данных [2]. Традиционная СППР состоит из программного обеспечения, предназначенного для прямой помощи в принятии клинических решений, при котором характеристики конкретного пациента сопоставляются с компьютерной базой клинических знаний, а пациент-специфические оценки или рекомендации затем предоставляются врачу для принятия решения. СППР используются в первую очередь на месте оказания помощи, где врач комбинирует свои знания с информацией или предложениями, предоставленными СППР [2]. Однако все чаще разрабатываются СППР, способные использовать данные и наблюдения, недоступные или непонятные человеку [2]. СППР классифицируются и подразделяются на различные категории и типы, в том числе по времени вмешательства и тому, имеют ли они активную или пассивную форму доставки. Они часто классифицируются как основанные на знаниях или не основанные на знаниях. В системах, основанных на знаниях, создаются правила (условия IF-THEN), при которых система извлекает данные для оценки правила и выдает действие или результат [2]. Правила могут быть созданы на основе данных из литературы, практического опыта или свидетельств, направленных на пациента. СППР, не основанные на знаниях, также требуют источника данных, но их решения используют искусственный интеллект, машинное обучение или статистическое распознавание образов, а не запрограммированы на следование экспертным медицинским знаниям. СППР имеют обширные функции, включая диагностику [3], системы оповещения [4], управление заболеваниями, рецепты, контроль лекарств [5] и многое другое. Они могут проявляться в виде компьютеризированных оповещений и напоминаний, компьютеризированных руководств, наборов приказов, отчетов о данных пациента, шаблонов документации и инструментов для управления клиническим процессом. СППР могут использовать веб-приложения или интеграцию с электронными медицинскими записями (ЭМК) и системами компьютерного ввода приказов врача и могут использоваться на настольных компьютерах, планшетах, смартфонах и устройствах для биометрического мониторинга и носимых технологиях здоровья [6, 7].

Ограничения СППР и возможные способы их решения

Несмотря на многочисленные преимущества и функциональные возможности, внедрение и оптимизация СППР сталкиваются с рядом ограничений и вызовов [1]. Среди них проблемы конфиденциальности данных, сложности интеграции систем, вопросы надежности и необходимость принятия системы врачами и доверия пользователей [1]. Значительным ограничением является качество данных, поскольку СППР полагаются на данные из различных источников, включая медицинские реестры и электронные медицинские записи, которые могут иметь сомнительную точность и полноту. Например, исследования показывают, что точность и полнота данных в медицинских реестрах могут составлять всего 67 % и 30,7 % соответственно [8, 9]. Внедрение СППР также вызывает опасения по поводу конфиденциальности данных, требуя надежных мер безопасности и соблюдения правил конфиденциальности. Такие проблемы, как фрагментированные рабочие процессы, усталость от оповещений, возможность ошибок и недостаток компьютерной грамотности, также могут препятствовать эффективности и внедрению СППР [1]. Еще одной проблемой является системная интеграция, поскольку отсутствие интероперабельности с существующими системами здравоохранения, такими как EHR и системы ввода приказов врача (CPOE), может привести к фрагментированным рабочим процессам и снижению эффективности. СППР также могут зависеть от компьютерной грамотности, что может препятствовать взаимодействию с системой СППР. Это может варьироваться в зависимости от особенностей конструкции СППР, но некоторые системы оказались чрезмерно сложными и сильно зависящими от навыков пользователя [10]. СППР могут нарушить рабочий процесс врача, особенно в случае автономных систем. СППР также нарушают рабочий процесс, если они спроектированы без учета человеческой обработки информации и поведения [11]. Недоверие пользователей к СППР может возникнуть, если пользователи не согласны с рекомендацией, предоставленной СППР.

Одной из ключевых проблем является так называемый «черный ящик» алгоритмов глубокого обучения, когда механизмы принятия решений остаются непонятными для пользователей, что снижает доверие со стороны врачей и затрудняет внедрение таких систем в клиническую практику [12]. Для решения этой проблемы активно применяются методы объяснимого искусственного интеллекта (Explainable AI), позволяющие визуализировать процесс работы модели, выявлять значимые факторы, влияющие на результат, и обеспечивать прозрачность рекомендаций [13]. Другим важным направлением является разработка гибких архитектур, основанных на сервис-ориентированном подходе, что позволяет создавать модульные системы, легко интегрируемые в существующую информационную инфраструктуру медицинских учреждений и способные оперативно адаптироваться к изменениям в клинических данных [14].

Стандартизация медицинских данных необходима для обеспечения точности, надежности и эффективности СППР, поскольку несовместимые или неструктурированные форматы медицинских данных препятствуют их способности точно анализировать и интерпретировать информацию. Нельзя недооценивать важность использования информационных стандартов, таких как ICD, SNOMED и других. Необходимы общеотраслевые стандарты данных для обеспечения согласованности и точности, содействия беспрепятственному обмену данными между системами здравоохранения и оптимизации обработки и анализа данных. Придерживаясь стандартизированных терминологий и онтологий, СППР могут точно обрабатывать данные пациентов, генерировать надежные рекомендации и улучшать общее качество здравоохранения. Решение этих задач и принятие стандартизации данных позволит СППР играть центральную роль в оказании высококачественной медицинской помощи, ориентированной на пациента [15].

Система стандартизации медицинских данных

Система стандартизации медицинских данных — это современное программное обеспечение, разработанное для унификации и стандартизации медицинской информации. Она использует передовые технологии, включая алгоритмы машинного обучения и методы обработки естественного языка (НЛП), чтобы обеспечить точную и эффективную обработку данных. На рис. 1 представлен обобщенный алгоритм работы автоматизированной системы стандартизации медицинских данных. Рассмотрим основные этапы её работы.

1. **Загрузка и анализ отчета врача:** Работа системы начинается с загрузки отчета врача в формате Excel. Этот отчет может содержать информацию о симптомах, назначениях, применяемых лекарствах и других аспектах лечения. Система автоматически анализирует содержимое файла, разделяя данные на структурированные компоненты.
2. **Извлечение данных:** После анализа документа система выполняет извлечение ключевых данных, необходимых для стандартизации. Например, из разделов с описанием симптомов и назначений выделяются медицинские термины и конкретные предписания врача.
3. **Векторизация текста:** Извлеченные текстовые данные преобразуются в числовое представление с использованием метода CountVectorizer. Этот метод создает матрицу, где строки соответствуют медицинским записям, а столбцы — уникальным терминам. Значения в матрице показывают частоту упоминания каждого термина, что позволяет

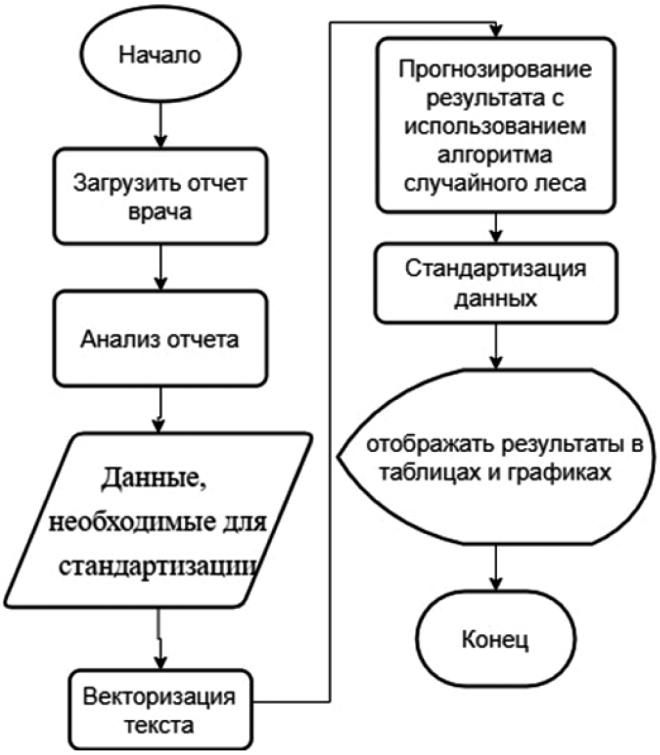


Рис. 1. Алгоритм Стандартизация данных

алгоритмам машинного обучения работать с текстовыми данными.

4. **Прогнозирование результатов:** На основе векторизованных данных система применяет контролируемые алгоритмы машинного обучения, такие как метод опорных векторов (SVM) или алгоритм случайного леса (Random Forest).
5. **Стандартизация данных:** После прогнозирования система автоматически преобразует медицинские термины в стандартизированные коды в соответствии с выбранным медицинским стандартом. Это помогает унифицировать данные, исключая неоднозначности и вариативность терминологии.
6. **Визуализация результатов:** Результаты работы системы представляются в удобной для пользователя форме: таблицы, графики и диаграммы, отражающие как исходные данные, так и их стандартизированные эквиваленты.

Преимущества системы включают в себя ускорение обработки данных за счет автоматической обработки больших объемов информации, что значительно сокращает время анализа отчетов вручную. Также система отличается высокой точностью и надежностью благодаря применению современных методов машинного обучения и NLP, что особенно важно при работе со сложными медицинскими терминами. Автоматизация процессов снижает влияние человеческого фактора, минимизируя вероятность ошибок, вызванных субъективными интерпретациями или неточностями ввода данных. Кроме того, система унифицирует данные, обеспечивая соответствие медицинских отчетов установленным стандартам, что упрощает их использование в различных информационных системах и базах данных.

Скорость стандартизации и распознавание слов за пределами словарного запаса являются ключевыми проблемами, решаемыми разработанной системой. Многие существующие методы обработки естественного языка, такие как word2vec или GloVe, требуют значительного времени для стандартизации больших объемов данных, поскольку основаны на глубоких нейронных сетях или сложных векторных вычислениях, что затрудняет быструю обработку данных в реальном времени. Предлагаемая система использует более легковесный

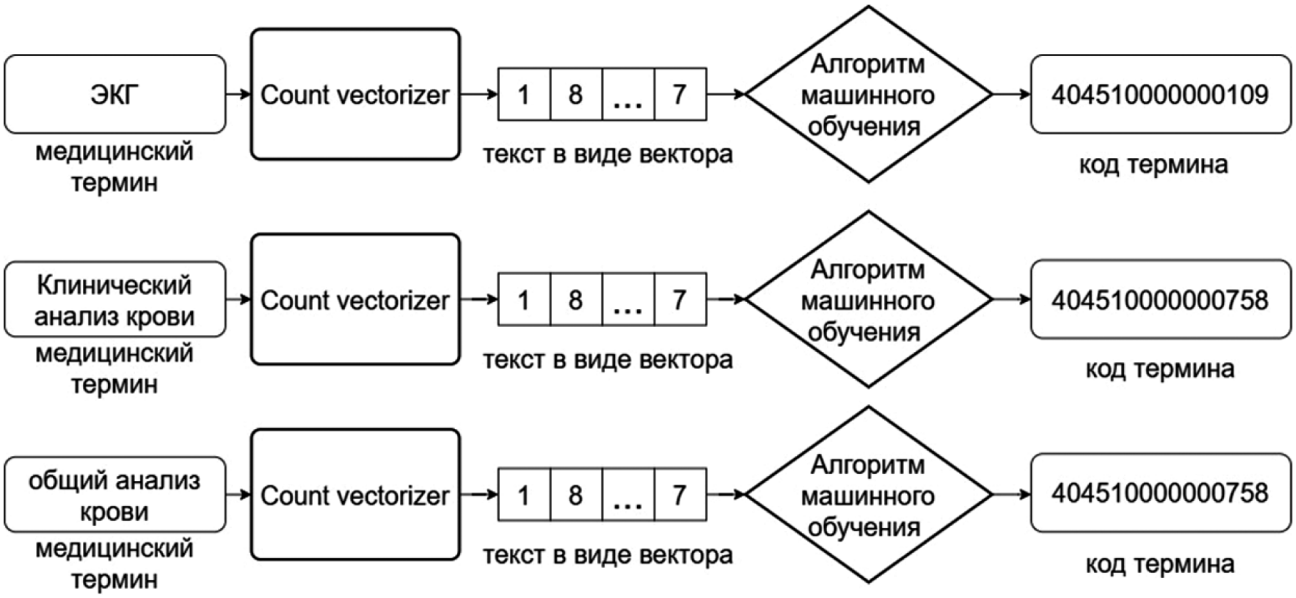


Рис. 2. Основной механизм предлагаемой модели стандартизации медицинских данных

подход, основанный на методе CountVectorizer, который позволяет быстро преобразовывать текстовые данные в матричное представление без необходимости предварительного обучения на объемных данных, что значительно ускоряет процесс стандартизации, особенно при обработке больших наборов данных, при этом сохраняется высокая точность и обеспечивается устойчивость к специфическим терминам. Проблема распознавания медицинских терминов, не встречающихся в повседневной речи, решается использованием расширенных словарей и механизма обработки неизвестных терминов, включая контекстный анализ и сопоставление синонимов, что обеспечивает корректное понимание даже сложных терминов (Рис. 2).

Основные компоненты системы включают векторизацию данных, где метод CountVectorizer преобразует текст в матричное представление, где строки соответствуют документам, а столбцы — уникальным терминам, обеспечивая структурированный анализ. Машинное обучение выполняется на размеченных данных, связывая медицинские термины с их стандартизированными эквивалентами, и алгоритм адаптируется для задач стандартизации. Также система поддерживает учет синонимичных выражений и вариаций. Например, термины «общий анализ крови» и «клинический анализ крови» воспринимаются как идентичные и преобразуются в единый стандартизированный вид. Это упрощает взаимодействие с системой пользователям, использующим разный лексикон.

В таблице 1 представлены результаты, полученные системой стандартизации данных. Входные данные для модели соответствуют медицинским термином в загруженном отчете. Представлены выходные данные, полученные по разработанной модели. Важно отметить, что выход системы работает на основе порога 0,2. Любое значение ниже этого порога приводит к тому, что выходные данные системы помечаются как «Не найдено».

Таблица 1.

Результаты, полученные системой стандартизации медицинских данных

Вход модели (медицинский термин в загруженном отчете)	Выходные данные по разработанной модели	
	Код термина	Расшифровка
Рентгенография околоносовых пазух	445677111121	Рентгенография околоносовых пазух
Общий анализ крови (общий анализ + СОЭ); микроскопическое исследование мазка крови при выявлении явлений	445677111124	Клинический анализ крови
ЭХО КГ	445677111140	ЭХО КГ
Суточный мониторинг артериального давления	Не найдено	Не найдено
Холтеровский мониторинг ЭКГ	445677111128	ЭКГ
ЭКГ	445677111128	ЭКГ
Общий анализ + СОЭ крови	445677111124	Клинический анализ крови
Креатинин	445677128112	Креатинин с расчетом СКФ
IgE	445610128128	Общий IgE

Заключение

Интеграция СППР с ЭМК требует решения технических (стандартизация форматов), организационных (обучение персонала) и юридических (регулирование конфиденциальности) задач. Успешные кейсы, такие как внедрение FHIR в ЕС, показывают, что междисциплинарное сотрудничество повышает эффективность СППР на 50%, но для глобального масштабирования необходима разработка адаптивных алгоритмов, работающих с неполными и нестандартизированными данными. Рассмотрена задача стандартизации медицинских данных, ключевая для внедрения технологий машинного обучения и ИИ в медицину. С ростом объема медицинской информации возникает необходимость в эффективных методах обработки и обмена. Главная проблема — отсутствие единых стандартов для медицинских терминов, что затрудняет взаимодействие систем. Предложен новый метод стандартизации, основанный на гибкой модели, способной интегрироваться в существующие системы и улучшить их совместимость. Разработана структура классификации медицинских терминов, учитывающая требования безопасности, что повысит качество диагностики, лечения и обмена данными между системами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Z. et al. Harnessing the power of clinical decision support systems: challenges and opportunities //Open Heart. — 2023. — Vol. 10. — № 2. — P. e002432.
2. Sutton R.T. et al. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success //NPJ digital medicine. — 2020. — Vol. 3. — № 1. — P. 17.
3. Yanagita Y. et al. Improving diagnostic accuracy using a clinical diagnostic support system for medical students during history-taking: a randomized clinical trial // BMC Medical Education. — 2023. — Vol. 23. — № 1. — P. 383.
4. McCoy A.B. et al. Clinical decision support alert appropriateness: a review and proposal for improvement //Ochsner journal. — 2014. — Vol. 14. — № 2. — P. 195–202.
5. Armando L.G. et al. Clinical decision support systems to improve drug prescription and therapy optimisation in clinical practice: a scoping review //BMJ Health & Care Informatics. — 2023. — Vol. 30. — № 1. — P. e100683.
6. Agarwal S. et al. Decision-support tools via mobile devices to improve quality of care in primary healthcare settings //Cochrane Database of Systematic Reviews. — 2021. — № 7.
7. Kart Ö. et al. A mobile and web-based clinical decision support and monitoring system for diabetes mellitus patients in primary care: a study protocol for a randomized controlled trial //BMC medical informatics and decision making. — 2017. — Vol. 17. — P. 1–10.
8. Hasan S., Padman R. Analyzing the effect of data quality on the accuracy of clinical decision support systems: a computer simulation approach //AMIA annual symposium proceedings. — 2006. — Vol. 2006. — P. 324.
9. Kramer O. et al. The impact of data quality defects on clinical decision-making in the intensive care unit //Computer Methods and Programs in Biomedicine. — 2021. — Vol. 209. — P. 106359.
10. Timiliotis J. et al. A novel diagnostic decision support system for medical professionals: prospective feasibility study //JMIR Formative Research. — 2022. — Vol. 6. — № 3. — P. e29943.
11. Tegenaw G.S. et al. Evaluating a clinical decision support point of care instrument in low resource setting //BMC Medical Informatics and Decision Making. — 2023. — Vol. 23. — № 1. — P. 51.
12. Rudin C. Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead //Nature machine intelligence. — 2019. — Vol. 1. — № 5. — P. 206–215.
13. Doshi-Velez F., Kim B. Towards a rigorous science of interpretable machine learning //arXiv preprint arXiv:1702.08608. — 2017.
14. Obermeyer Z., Emanuel E.J. Predicting the future—big data, machine learning, and clinical medicine //New England Journal of Medicine. — 2016. — Vol. 375. — № 13. — P. 1216–1219.
15. Jaspers M.W.M. et al. Effects of clinical decision-support systems on practitioner performance and patient outcomes: a synthesis of high-quality systematic review findings //Journal of the American Medical Informatics Association. — 2011. — Vol. 18. — № 3. — P. 327–334.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.32

ФОРМАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАЦИОННЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

FORMALIZATION OF INFORMATION SECURITY DOCUMENTATION MANAGEMENT IN AN INFORMATION ANALYTICAL SYSTEM

I. Chekanov
A. Kuznetsov

Summary. This article considers the management of documentation support in the field of information security from the standpoint of a systems approach taking into account the life cycle of an electronic document. A basic information model of the life cycle of an electronic document based on the Shuhard-Daming notation is presented. Decomposition of the basic model of the life cycle in the form of a cascade-waterfall iterative model is performed. The stages of the life cycle of an electronic document are considered and detailed. A verbal description of the processes of managing electronic documents in the field of information security based on the triad function — executor — document is presented. A formalized description of the structure and architecture of the electronic information and analytical system for managing documentation support in the field of information security is created. A set of production rules is presented, which is a fragment of the knowledge base used for intelligent information support of decision-making.

Keywords: formalization, documentation support, document life cycle, information security, information and analytical system.

Чеканов Иван Романович
аспирант, преподаватель, РГСУ — Российский государственный социальный университет
Кузнецов Андрей Сергеевич
к.т.н., доцент, РГСУ — Российский государственный социальный университет
askgoogle@internet.ru

Аннотация. В данной статье с позиций системного подхода рассмотрено управление документационным обеспечением в области информационной безопасности с учетом жизненного цикла электронного документа. Представлена базовая информационная модель жизненного цикла электронного документа на основе нотации Шухарда-Дейминга. Выполнена декомпозиция базовой модели жизненного цикла в виде каскадно-водопадной итеративной модели. Рассмотрены и детализированы стадии жизненного цикла электронного документа. Представлено вербальное описание процессов управления электронными документами в области информационной безопасности на основе триады функция — исполнитель — документ. Создано формализованное описание структуры и архитектуры электронной информационно-аналитической системы управления документационным обеспечением в области информационной безопасности. Представлен набор продукционных правил, являющийся фрагментом базы знаний, используемой для интеллектуальной информационной поддержки принятия решений.

Ключевые слова: формализация, документационное обеспечение, жизненный цикл документа, информационная безопасность, информационно-аналитическая система.

Введение

Нормативно-правовая база в области информационной безопасности, представленная в виде документационного обеспечения — достаточно динамично развивающаяся область исследования. Законодательная база постоянно обновляется и совершенствуется, актуализируются и обновляются электронные документы — нормативно-правовые акты. Поэтому важной и актуальной задачей является разработка специального информационного обеспечения процессов управления электронными документами в предметной области информационной безопасности с учетом всех стадий жизненного цикла.

Нормативно-правовые акты имеют несколько этапов жизненного цикла, который можно описать с помощью цикла Шухарта-Деминга в виде базовой информационной модели. Цикл Шухарта-Деминга (PDCA) — это метод управления качеством, который включает в себя четыре основных этапа: планирование (Plan), выполнение (Do), проверка (Check) и действие (Act). Применение данного подхода к жизненному циклу электронного документа — нормативно-правового акта [1] выглядит следующим образом (визуальная модель представлена на рисунке 1):

1. Планирование (Plan) — Разработка проекта документа.

На данном этапе проводится исследование потребностей государства для создания регламентированных и общепринятых правовых норм для установленной проблемной области. На основе действующих законов, относящихся к данной проблемной тематике, определяются цели, задачи и область действия закона. Подготов-

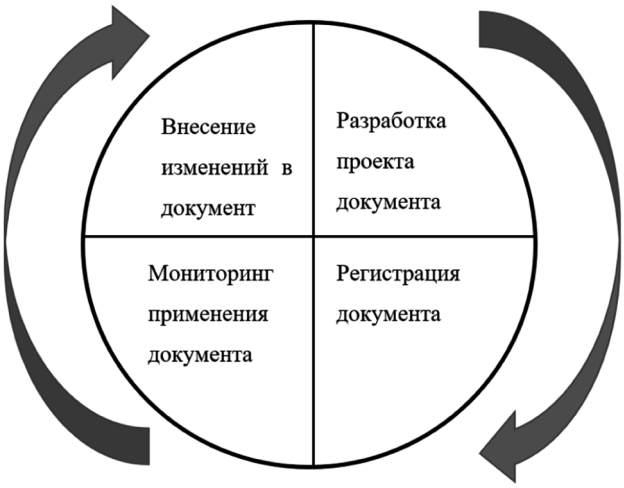


Рис. 1. Базовая информационная модель жизненного цикла нормативно-правового акта

ка проекта документа осуществляется с учетом мнений экспертов — юристов. Устанавливаются процесс и порядок согласования.

2. Выполнение (Do) — регистрация документа.

В процессе регистрации документа соблюдается соответствие установленным требованиям и проводится процессуальный и поэтапный процесс согласования в соответствующих государственных органах. Обеспечивается публикация документа в открытом доступе для информирования граждан и организаций.

3. Проверка (Check) — Мониторинг применения документа.

Проводится контроль применения документа в судебной практике, отслеживаются показания юристов, осуществляется сбор информации относительно полноты охвата рассматриваемого вопроса, оценивается эффективность документа и возможные перспективы.

4. Действие (Act) — Внесение изменений в документ.

При необходимости, в документ вносятся изменения собранных данных и отзывов юристов. Внесенными изменениями могут являться: утрата юридической силы, в случае неактуальности или глобального устаревания информации, обновление документа в новой редакции с внесением незначительных изменений. Проводится юридическая процедура внесения изменений. Целью данной работы является создание формализованного описания процессов управления документационным обеспечением в виде визуальных моделей управления жизненным циклом электронных документов, модели архитектуры информационно-аналитической системы управления электронными документами в области информационной безопасности, а также набора продукционных правил, реализуемых в электронной информационно-аналитической системе управления.

Основные результаты

Построение информационной модели жизненного цикла электронного документа

Информационная модель управления документационным обеспечением, представленная на рисунке 1, реализует лишь базовые состояния жизненного цикла [2], используемые в автоматизированных информационных системах (АИС) различных типов.

Данный построенный цикл PDCA можно повторять для каждого нового нормативно-правового акта [3], а также для периодической оценки существующих документов. Это позволит поддерживать актуальность и эффективность законодательства, реагируя на изменения в обществе и экономике.

Детализированный подход работы с документами [4] на основе применения экспертной информационно-

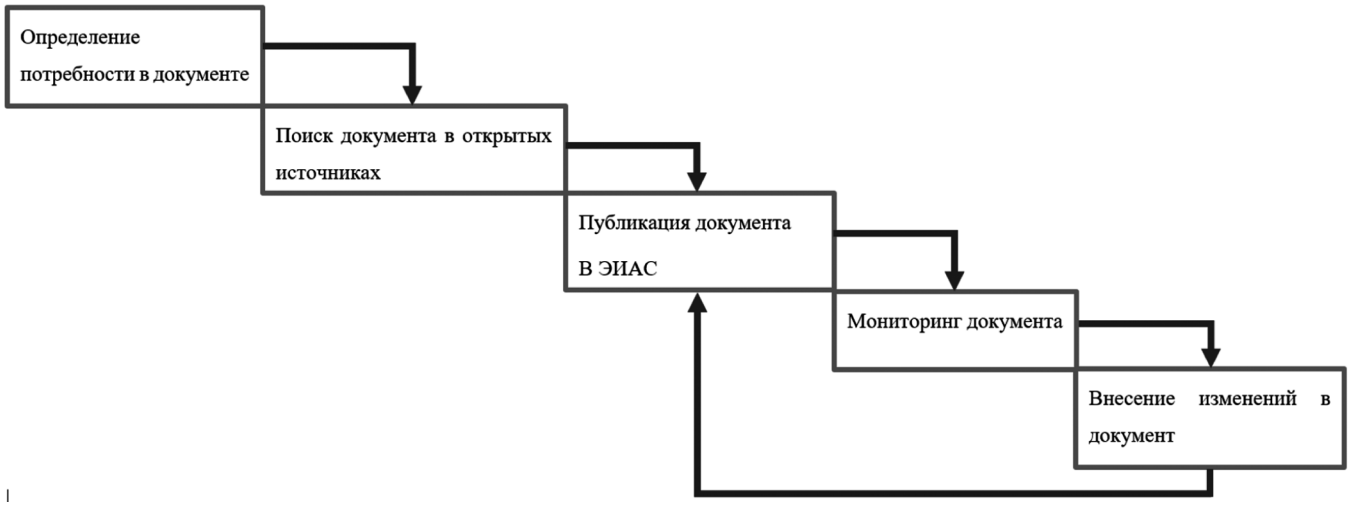


Рис. 2. Каскадно-водопадная модель работы с документами в ЭИАС

аналитической системы (ЭИАС) в виде каскадно-водопадной модели представлен на рисунке 2. Модель выполнена в виде последовательного набора операций, представляющих собой стадии обработки электронного документа в области информационной безопасности в электронной информационно-аналитической системе. Также выполнена декомпозиция основные процессов обработки, описанная далее в тексте.

Кроме того, каждый этап имеет ряд дополнительных компонентов:

1. Определение потребности в документе

- Анализ текущей ситуации: проведение экспертами в области ИБ исследования в части нормативно-правовой документации открытых источников и выявление потребностей ЭИАС в пополнении Базы данных (БД).
- Консультации с экспертами: Коллективное обсуждение со специалистами в области ИБ по выявленным потребностям и определение необходимых данных и требований к документу.
- Формирование задания: Составление четкого и структурированного задания на разработку документа, включая цели, задачи и ожидаемые результаты.

2. Поиск документа в открытых источниках

- Исследование стандартов и нормативов: Анализ действующих стандартов и нормативных документов, чтобы обеспечить соответствие документа установленной иерархии и выбранному аспектному направлению в области ИБ.
- Анализ существующих документов: изучение имеющихся документов в ЭИАС для определения возможных взаимосвязей.
- Сбор информации от экспертов: консультации с экспертами для получения дополнительной информации и рекомендаций по содержанию документа.

3. Публикация документа в ЭИАС

- Подготовка документа: задание необходимого формата файла, определение ключевых слов (семантических значений).
- Регистрация в системе: внесение документа в базу данных ЭИАС с указанием всех необходимых метаданных (семантических значений, аспектных направлений, даты утверждения документа.
- Обеспечение доступа: настройка прав доступа к документу для целевых пользователей.

4. Мониторинг документа

- Отслеживание использования: анализ статистики доступа к документу.
- Оценка актуальности: регулярная проверка содержания документа на предмет его актуальности и соответствия текущим требованиям.
- Сбор обратной связи: организация получения отзывов от пользователей о документе для выявления его практической ценности.
- Оценка эффективности: измерение результатов частоты поиска и применения документа в практической деятельности и его влияние на бизнес-процессы организации.

5. Внесение изменений в документ

- Внесение правок: корректировка содержания документа на основе утвержденных обновлений документа, а также внесение изменений в состав экспертных рекомендаций, семантических значений и взаимосвязей с другими документами на основе полученных рекомендаций и замечаний экспертов в области ИБ [5].
- Утверждение изменений: обновление документа в БД ЭИАС (повторная публикация документа).

Вербальная модель процессов управления документационным обеспечением

Данная таблица формализует процесс работы в системе [6], отражая области ответственности исполнителей и наборы возможных функций ЭИАС с учетом классов документационного обеспечения, используемого для каждой из них (таблица 1).

Описание функций:

- F1 — Поиск документов

Позволяет пользователям осуществлять поиск по классифицированным документам системы.

- F2 — Анализ документов

Обеспечивает анализ классифицированных документов, включая все действующие нормативные правовые акты (НПА) и законодательные документы [7].

- F3 — Классификация документов

Предназначена для классификации всех действующих НПА и законодательных документов, что упрощает их дальнейшее использование.

- F4 — Обновление и модификация системы

Включает в себя обновление и модификацию системы, на основе отчетов о работе системы и технических заданий [8].

Таблица 1.
Вербальная модель процессов управления документационным обеспечением, представленная в табличной форме

Функции	Документы	Исполнители
F1 — Поиск документов	D1 — Классифицированные документы БД ЭИАС	U1 — Пользователь
F2 — Анализ документов	D2 — Классифицированные документы БД ЭИАС, все действующие НПА и законодательные документы	U2 — Администратор
F3 — Классификация документов	D3 — Все действующие НПА и законодательные документы	U3 — Эксперт ИБ
F4 — Обновление и модификация системы	D4 — Отчеты о работе ЭИАС, техническое задание	U4 — Программист ЭИАС
F5 — Визуализация информации	D5 — Классифицированные документы БД ЭИАС	U5 — Пользователь
F6 — Интерпретация	D6 — Классифицированные документы системы, все действующие НПА и законодательные документы, база знаний	U6 — Эксперт ИБ, администратор

- F5 — Визуализация информации.

Данная функция позволяет представить документы рассматриваемой предметной области в структурированном, графическом виде [9].

- F6 — Интерпретация.

Задача интерпретации информации на основе анализа данных ЭИАС — целиком и полностью реализуется экспертом в области ИБ, входящим в состав административной группы управления. Это единственная функция, не автоматизированная в рамках ЭИАС.

Документы:

- D1, D5 — Классифицированные документы ЭИАС

Документы, которые были классифицированы в рамках системы для удобства поиска и анализа [10].

- D2 — Классифицированные документы ЭИАС, Все действующие НПА и законодательные документы [11].

Включает как классифицированные документы, так и полный перечень действующих НПА и законодательных актов.

- D3 — Все действующие НПА и законодательные документы

Полный набор всех актуальных нормативных правовых актов и законодательных документов.

- D4 — Отчеты о работе системы, техническое задание

Документы, содержащие отчеты о функционировании системы и технические задания для ее улучшения.

- D6 — Классифицированные документы ЭИАС, все действующие НПА и законодательные документы, база знаний.

Данный набор документов включает элементы базы данных и продукции базы знаний, подготовленные экспертами ИБ и администраторами.

Исполнители:

- U1, U5 — Пользователь

Лицо, использующее систему для поиска и работы с документами.

- U2 — Администратор

Ответственный за управление системой, включая анализ и обновление документов.

- U3 — Эксперт ИБ

Специалист в области информационной безопасности, занимающийся классификацией и анализом документов.

- U4 — Программист ЭИАС

Разработчик, ответственный за обновление и модификацию системы, а также за создание технической документации.

- U6 — Эксперт ИБ, администратор.

Благодаря совместной работы эксперта в области ИБ и администратора, функция интерпретации позволяет синтезировать новый подход в представлении и понимании заложенной в ЭИАС информации.

Построение архитектуры информационно-аналитической системы управления документационным обеспечением

Рассмотренные подходы к описанию жизненного цикла электронных документов, их детализация в виде семантических и визуальных моделей, позволяют разработать архитектуру электронной информационно-аналитической системы управления документационным обеспечением в области информационной безопасности. Она представлена на рисунке 3, состоит их трех подсистем и включает в себя набор блоков — модулей.

Визуальная модель представления архитектуры информационно-аналитической системы управления документационным обеспечением в области информационной безопасности позволяет формализовать состав и организацию взаимодействия модулей — подсистем.

1. Источники данных:

Массив исходных данных: Это основной входной информационный поток, содержащий метаданные, служебную информацию, внутренние организационные документы и внешние документы в области ИБ.

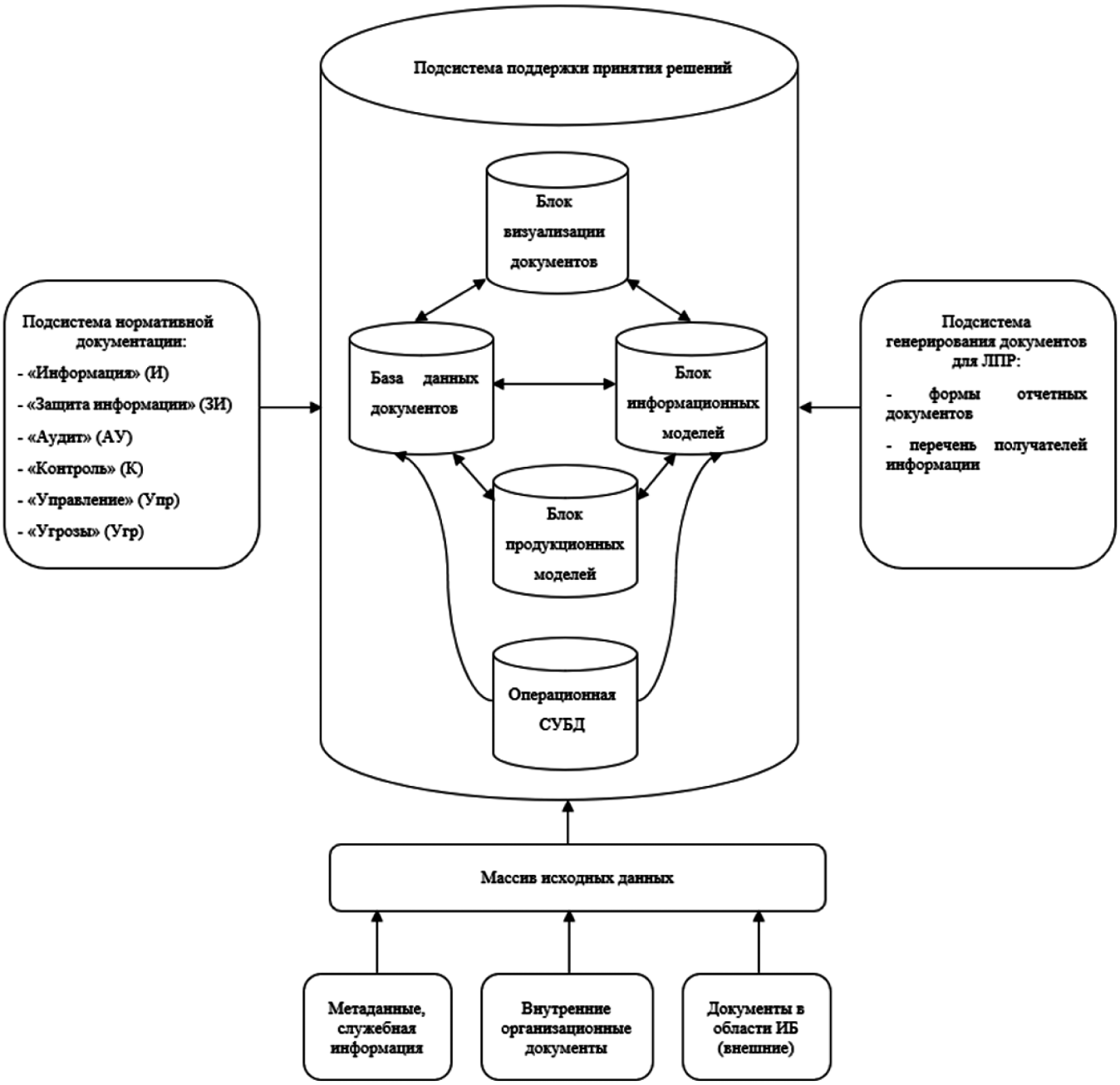


Рис. 3. Архитектура модульной информационно-аналитической системы управления документационным обеспечением

2. Центральный блок — Подсистема поддержки принятия решений (ППР):

Этот блок состоит из нескольких взаимосвязанных подблоков:

Виртуализация документов: этот блок отвечает за обработку и представление документов в унифицированном формате, независимо от их исходного вида (PDF, DOCX, TXT и т.д.). Он обеспечивает доступ к документам без необходимости использования специфического ПО для каждого типа файла и позволяет установить иерархическую наглядную модель представления взаимосвязи документов в области ИБ.

База данных документов: это хранилище структурированных документов, классифицируемых по аспектным направлениям.

Блок информационных моделей: здесь создаются и хранятся формализованные представления информации, входящие в базу данных ЭИАС. Это могут быть онтологии, графы знаний, или другие структуры данных, облегчающие анализ и выявление связей между данными.

Блок продукционных моделей: этот блок содержит правила и алгоритмы для обработки информации из информационных моделей. Он используется для вывода новых знаний, прогнозирования, классификации и принятия решений на основе имеющихся данных. Например, обнаружение угроз на основе анализа документов об инцидентах ИБ.

Операционная СУБД (Система Управления Базами Данных): обеспечивает хранение и управление данными всех подблоков ППР, обеспечивая целостность и доступность информации для пользователей ЭИАС.

3. Внешние подсистемы (входные данные для ПППР):

Подсистема генерирования документов для ЛПР (Лиц Принимающих Решения) поставляет в ПППР:

Формы отчетных документов: шаблоны для генерации отчетов на основе данных из ПППР.

Перечень получателей информации: информация о том, кому следует направлять сгенерированные отчеты.

Подсистема нормативной документации: предоставляет информацию по шести аспектным направлениям:

- информация;
- защита информации;
- аудит;
- контроль;
- управление;
- угрозы.

4. Выходные данные:

Подсистема ПППР выдает результаты анализа и обработки обращений пользователя в виде отчетов, прогнозов, рекомендаций и предупреждений для ЛПР. Подготовленные данные могут быть представлены в разных форматах (отдельные документы, графики, таблицы, текстовые отчеты) в зависимости от потребностей ЛПР и возможностей подсистемы генерирования документов.

Продукционная модель управления в информационно-аналитической системе

Для описания работы и построения базы знаний экспертной информационно-аналитической системы в области информационной безопасности, содержащей законодательные и нормативные документы, а также шаблоны внутренних документов, формы для автоматического заполнения и определения пользовательских запросов, на основе экспертных рекомендаций, необходимо построить продукционную модель [13].

Для этого используется продукционная система с правилами, описывающими логику подбора документов и формирования выходных данных [14]. База знаний представлена в виде набора компонентов (документы, аспектные направления, ключевые слова) и правил (продукций). Система работает в цикле: эксперт вводит информацию, система применяет правила, генерирует результаты, эксперт корректирует и уточняет.

В процессе анализа пользовательского запроса экспертной информационно-аналитической системы (ЭИАС) система индексирует вводимые пользователем слова и словосочетания, создавая их представление для дальнейшей обработки. Для повышения точности индексирования и поиска используется алгоритм расстояния Левенштейна, который позволяет оценивать степень различия между строками. Этот алгоритм вычисляет минимальное количество операций (вставок, удалений и замен символов), необходимых для преобразования одной строки в другую.

Затем ЭИАС сравнивает индексы с имеющимися в базе данных и базе знаний элементами, включая параметры документов и экспертные рекомендации. Это сравнение позволяет системе выявить соответствия между запросом пользователя и доступными ресурсами, что обеспечивает более точный подбор релевантных документов и рекомендаций.

При этом система учитывает не только точное совпадение ключевых слов, но и их синонимы, контекстуальные связи и семантические аспекты, что значительно расширяет возможности поиска. Алгоритм Левенштейна помогает эффективно находить документы, содержащие

опечатки или вариации в написании, тем самым улучшая качество поиска.

Результаты этого анализа позволяют формировать список документов и рекомендаций, наиболее соответствующих запросу пользователя, а также предоставлять дополнительные подсказки и уточнения, которые могут быть полезны для дальнейшего взаимодействия. Таким образом, ЭИАС не только облегчает доступ к информации, но и способствует более глубокому пониманию потребностей пользователя, обеспечивая высокую степень персонализации и адаптивности в процессе работы.

Созданное формализованное описание процессов обработки электронных документов в области ИБ в виде блок-схемы алгоритма работы ЭИАС и набора продукционных правил, входящих в базу знаний системы. Алгоритм классификации для нормативных документов в области информационной безопасности с возможностью генерации шаблонов в соответствии с определенным типом нормативного документа представлен на рисунке 4.

Рис. 4. Блок — схема алгоритма классификации нормативных документов области ИБ

Алгоритм работы продукционной модели проходит несколько стадий, далее в тексте статьи представлены все стадии его работы с поясняющими примерами:

1. На первом этапе происходит инициализация: загрузка базы знаний (БЗ) — фактов о документах (название, тип документа, дата утверждения, аспектное направление, ключевые слова, внутренняя ссылка на файл документа), настроенных аспектов (например, «Защита информации», «Информация ограниченного доступа», «Модель угроз»), анкетных форм (название, поля) для составления шаблонных документов, список внутренних документов организации, экспертные рекомендации с подготовленным набором документов и инструкций.
2. Ввод экспертных данных: эксперт предоставляет дополнительную информацию о приоритетности подходящих нормативно-правовых актов, визуализации на тематической витрине данных, необходимом комплекте документов и рекомендациях работы с ним в рамках заданной проблемной ситуации и пользовательского запроса, а также предложенными анкетными формами для автоматической подготовки внутренних документов.
3. Поиск документов: система использует правила для поиска подходящих документов в базе знаний. Правила могут иметь вид:

`ЕСЛИ (ключевое слово = «шифрование» И аспект = «Защита данных») ТО (добавить документ «Федеральный закон №152-ФЗ» в результат)`.

`ЕСЛИ (аспект = « Программная защита» И тип документа = «ГОСТ») ТО (добавить все документы типа ГОСТ по аспекту « Программная защита» в результат)`.

`ЕСЛИ (название документа содержит «GDPR») ТО (добавить документ «Регламент GDPR» в результат)`.

4. Создание формы автозаполняемого шаблона документа экспертом с помощью запроса имеет вид:

`ЕСЛИ (запрос содержит «Форма») ТО (добавить форму «Подготовка новой формы» в результат)`.

Эксперт проверяет результаты, корректирует правила, добавляет новые факты в БЗ (например, новые документы, аспекты, ключевые слова) или уточняет запросы.

5. Формирование шаблонов: после подбора документов, система, используя правила автозамены с учетом заполненной анкетной формы, генерирует шаблоны внутренних документов (например, «Политика безопасности информации», «План реагирования на инциденты») и определяет новые типы пользовательских запросов для поиска в си-

стеме с добавлением готового внутреннего документа. Пример правила:

`ЕСЛИ (в результате поиска есть документ «Федеральный закон №152-ФЗ») ТО (генерировать шаблон «Политика обработки персональных данных»)`

6. Выдача результатов: система представляет пользователю отобранные комплекты документы, сгенерированные шаблоны, формы и предложения по работе с типовыми ситуациями, т.е. экспертные рекомендации в зависимости от запросов. Пример правила:

`ЕСЛИ (в результате поиска есть экспертная рекомендация «Разработка политики информационной безопасности») ТО (добавить набор документов и правил « Разработка политики информационной безопасности»)`

7. Если сравнение индексов ниже указанного номинального значения, то будет выдано соответствующее уведомление:

`ЕСЛИ (Нет подходящих результатов) ТО (сообщить «Документ не найден»)`.

Заключение

Представленная статья содержит описание применения системного подхода к управлению документационным обеспечением в области информационной безопасности, акцентируя внимание на жизненном цикле электронного документа — нормативно-правового акта. Разработанная базовая информационная модель и ее декомпозиция в виде каскадно-водопадной итеративной модели позволяют глубже понять и структурировать процессы управления электронными документами. Вербальное описание процессов, основанное на триаде функция — исполнитель — документ, дополняет формализованное описание структуры и архитектуры электронной информационно-аналитической системы, что создает основу для эффективного управления документацией в контексте предметной области информационной безопасности.

Предложенный набор продукционных правил как фрагмент базы знаний служит важным инструментом для интеллектуальной поддержки принятия решений, что открывает новые горизонты для применения в информационных системах различного типа.

Таким образом, результаты исследования имеют значительный потенциал для практического внедрения и дальнейшего развития в области информационной безопасности, способствуя повышению эффективности управления документацией и улучшению защиты информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев, С.В. Жизненный цикл в стратегических и корпоративных документах развития железнодорожного транспорта / С.В. Николаев // Транспортное дело России. — 2024. — № 8. — С. 246–248. — EDN INXFFM.
2. Гусев, Д.А. Анализ жизненного цикла электронных документов / Д.А. Гусев // Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Уфа, 19 октября 2024 года. — Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2024. — С. 50–53. — EDN FAILKA.
3. Анализ использования моделей коммуникации в жизненном цикле разработки информационных систем / А.Н. Беликов, С.А. Кучеров, В.С. Лапшин [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2022. — № 5(229). — С. 128–141. — DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-128-141. — EDN RRMXNW.
4. Шишов, Н.В. Моделирование процессов функционирования системы электронного документооборота при воздействии ARP-spoofing атак / Н.В. Шишов, В.А. Ломазов // Инженерный вестник Дона. — 2022. — № 2(86). — С. 185–194. — EDN ROTFKV.
5. Дровникова, И.Г. Моделирование слабоуязвимого процесса разграничения доступа к конфиденциальным сведениям систем электронного документооборота / И.Г. Дровникова, В.П. Алферов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2018. — № 12. — С. 17–23. — EDN YPOQEX.
6. Вербальная модель управления слабо уязвимым процессом разграничения доступа пользователей к программным средствам системы электронного документооборота / В.П. Алферов, И.Г. Дровникова, Л.А. Обухова, Е.А. Рогозин // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2019. — Т. 46, № 2. — С. 37–49. — DOI 10.21822/2073-6185-2019-46-2-37-49. — EDN EMULKB.
7. Власенко, А.В. Анализ современных методов обработки информации в электронном виде / А.В. Власенко, Е.И. Каширина // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. — 2020. — № 3(266). — С. 46–51. — EDN MJDBJG.
8. Набатов, А.Н. К вопросу применения различных методологий проектирования информационных систем: онтологический подход к проектированию / А.Н. Набатов, И.Э. Веденяпин // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2022. — Т. 26, № 3(97). — С. 24–35. — DOI 10.54708/19926502_2022_2639724. — EDN LNPXSV.
9. Кисиогло, Т.В. Разработка и повышение эффективности экспертных систем в организации / Т.В. Кисиогло, О.С. Медведева // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2022. — № 11-1(93). — С. 185–190. — DOI 10.24412/2411-0450-2022-11-1-185-190. — EDN KJXWIL.
10. Чеканов, И.Р. Информационное и алгоритмическое обеспечение обработки и анализа нормативных документов в сфере информационной безопасности в автоматизированной информационной системе / И.Р. Чеканов, А.С. Кузнецов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2024. — Т. 26, № 6. — С. 146–157. — DOI 10.35330/1991-6639-2024-26-6-146-157. — EDN FXNFBO.

11. Чеканов, И.Р. Системный подход к управлению документационным обеспечением в области информационной безопасности промышленных предприятий / И.Р. Чеканов, А.С. Кузнецов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2025. — Т. 27, № 1. — С. 120–132. — DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-1-120-132. — EDN WPINFR.
12. Джафарова, Ш.М. Разработка модели информационной безопасности с применением продукционной модели / Ш.М. Джафарова // Информационные технологии. Проблемы и решения. — 2021. — № 4(17). — С. 118–123. — EDN UZWJBC.
13. Болотова, С.Ю. Реализация модели генерации подмножеств естественного языка на основе продукционной модели знаний / С.Ю. Болотова, К.В. Сиволапов // Информатика: проблемы, методы, технологии: Материалы XXI Международной научно-методической конференции, Воронеж, 11–12 февраля 2021 года. — Воронеж: Общество с ограниченной ответственностью «Вэлборн», 2021. — С. 53–62. — EDN VJBBID.
14. Катасева, Д.В. Нечетко-продукционная модель оценки состояния объектов в системах поддержки принятия решений / Д.В. Катасева // Вестник Технологического университета. — 2021. — Т. 24, № 12. — С. 105–108. — EDN MPOYIY.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.34

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОИСКА УЯЗВИМЫХ К МЕЖСАЙТОВОМУ СКРИПТИНГУ СУЩНОСТЕЙ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

BUILDING A SYSTEM FOR SEARCHING FOR WEB APPLICATION ENTITIES VULNERABLE TO CROSS-SITE SCRIPTING

G. Shipulin
A. Shabalin
S. Spevakova

Summary. The article is devoted to the issues related to the search for web application entities vulnerable to cross-site scripting. The paper considered the concept of cross-site scripting (XSS vulnerabilities), its main types (Reflected XSS, Stored XSS and DOM-based XSS), and described a general approach to finding this type of vulnerability in web applications. In addition, based on the analysis of existing automated search tools for web application entities vulnerable to cross-site scripting (XSS vulnerability scanners), their main limitations are identified (insufficient accuracy in identifying vulnerable entities and lack of support for processing all types of entities), the architecture of the developed system for searching for web application entities vulnerable to cross-site scripting and the relationship of its modules. The developed system covers the analysis of various types of web application entities, including user input elements, URL parameters, HTTP protocol headers, and dynamic DOM tree elements.

Keywords: cross-site scripting, web application, vulnerability scanning, security analysis, vulnerability scanners.

Шипулин Георгий Фаризович
кандидат юридических наук, доцент, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва
podumai_nad@mail.ru
Шабалин Александр Денисович
Московский Политехнический Университет
ne_ponyal@list.ru
Спевакова Светлана Викторовна
ассистент, Московский Политехнический Университет
sspev@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопросов, связанных с поиском сущностей веб-приложения, уязвимых к межсайтовому скриптингу. В работе были рассмотрены понятие межсайтового скриптинга (XSS-уязвимости), его основные виды (Reflected XSS, Stored XSS и DOM-based XSS), описан общий подход поиска данного вида уязвимостей в веб-приложениях. Кроме того, на основе анализа существующих автоматизированных средств поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений (сканеров XSS-уязвимостей), выявлены их основные ограничения (недостаточная точность определения уязвимых сущностей и отсутствие поддержки обработки всех типов сущностей), описана архитектура разработанной системы поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений и взаимосвязь ее модулей. Разработанная система охватывает анализ сущностей веб-приложений разного типа, включая элементы пользовательского ввода, параметры URL-адреса, заголовки HTTP-протокола и динамические элементы DOM-дерева.

Ключевые слова: межсайтовый скриптинг, веб-приложение, поиск уязвимостей, анализ защищенности, сканеры уязвимостей.

Межсайтовый скриптинг (XSS-уязвимость) — уязвимость веб-приложений, при которой возможно внедрение в веб-страницу вредоносного кода с последующим его выполнением как на стороне веб-приложения, так и на стороне клиента. [1]

Основной целью XSS-атак является выполнение произвольного кода на стороне клиента или веб-приложения, что может привести к краже аутентификационных данных пользователя, компрометации его сессий, перенаправлению на фишинговые сайты и пр.

В актуальной версии OWASP Top 10 (2021) межсайтовый скриптинг не был выделен в отдельную категорию, однако включен в категорию A3 Injection, куда также входят SQL-инъекции, инъекции команд и др. [2] Несмотря на изменения в обновленной классификации OWASP Top 10, межсайтовый скриптинг остается одной из наиболее распространенных и опасных уязвимостей веб-приложений.

В рамках рассмотрения уязвимостей веб-приложений принято считать, что полезная нагрузка — это скрипт (код), внедряемый в веб-страницу с целью его выполнения на стороне пользователя (клиентская сторона), а вектор атаки — это способ или метод, посредством которого выполняется доставка полезной нагрузки. [3]

Выделяют следующие три основных вида межсайтового скриптинга:

1. Reflected XSS — данный вид XSS-уязвимости состоит отсутствии проверки веб-сервером входящих параметров, переданных в пользовательском запросе, с последующим ответом веб-сервера. Если ответ при этом форматируется тегами (или

попадает в скрипт), то результат полезной нагрузки будет отображен с учетом форматирования. Главной особенностью реализации данной уязвимости заключается в том, что полезная нагрузка не хранится на веб-сервере, а «отражается» в браузере клиента при его запросе к веб-странице.
2. Stored XSS — данный вид XSS-уязвимости возникает при наличии возможности сохранения полезной нагрузки на стороне веб-сервера (без форматирования), который вернется пользователю при открытии соответствующей веб-страницы.
3. DOM-based XSS — данный вид XSS-уязвимости применим к модели DOM (структурированное представление HTML-документа в виде иерархического дерева, в котором каждый элемент представляется отдельным объектом) и основывается на возможности получения клиентом веб-приложения данных из «недоверенных» источников. [3]

Анализ реализованных инструментальных средств с открытым исходным кодом поиска сущностей в веб-приложении, подверженных XSS-уязвимостям, показал, что большинство из них ориентированы на выявление только одного вида — Reflected XSS. [4, 5] Стоит также отметить, что по данным исследований 2020 года, XSS-уязвимости встречаются в 30–40 % всех веб-приложений. [6]

Таким образом, представляется целесообразным разработка системы поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений, которая обеспечивает анализ защищенности веб-приложения ко всем видам XSS-уязвимостей, включая DOM-based XSS и Stored XSS. Также предъявляемыми требованиями к разрабатываемой системе являются масштабируемость, высокая скорость работы и минимизация ложных срабатываний.

Общий подход поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей независимо от вида состоит из следующих этапов:

1. Построение карты веб-приложения.

Перед проведением анализа конкретных сущностей, находящихся в коде веб-страниц, требуется определение его структуры самого веб-приложения для выявления всех доступных к обращению веб-страниц, что может быть реализовано как посредством прямого перебора URL-адресов (брутфорса), так и посредством применения технологии спайдеринга, заключающейся в обходе доступных веб-страниц на основе определения их взаимосвязей. [7]

2. Парсинг веб-страницы и построение дерева DOM.

На основе результатов работы первого этапа проводится анализ каждой веб-страницы, в рамках чего выполняется идентификация всех возможных точек входа, через которые возможна отправка на веб-сервер полезной нагрузки, а также восстановление DOM-дерева, что позволяет определять в нем уязвимые сущности при обработке динамических элементов.

3. Формирование и отправка запроса к веб-приложению.

После определения потенциально уязвимых сущностей выполняется подготовка соответствующих запросов к веб-странице, включая выбор тестовой полезной нагрузки и вектора атаки в зависимости от сущности, уязвимой к межсайтовому скриптингу, включая: формы пользовательского ввода; параметры URL-строки; заголовки HTTP-протокола; встроенные JavaScript-сценарии и обработчики событий DOM, а также от вида XSS-уязвимости.

4. Обработка ответов веб-приложения.

Данный этап состоит в обработке ответа веб-приложения на отправленный запрос с полезной нагрузкой в отношении тестируемой сущности (определение наличия/отсутствия XSS-уязвимости), а также в определении функционирующих средств защиты в веб-приложении.

На основе общего подхода поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений, а также требований к разрабатываемой системе поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений была предложена архитектура, состоящая из следующих модулей:

1. Модуль сканирования веб-страниц. Выполняет анализ структуры веб-приложения, выявляя все потенциально уязвимые элементы, такие как формы ввода данных, параметры URL-строки, заголовки HTTP и встроенные JavaScript-сценарии.
2. Модуль подготовки запросов с полезной нагрузкой. Данный модуль отвечает за выбор полезной нагрузки и подходящего вектора атаки в зависимости от типа потенциально уязвимой сущности и от вида XSS-уязвимости, включая Reflected XSS, Stored XSS и DOM-based XSS.
3. Модуль отправки запросов с полезной нагрузкой. Предназначен для формирования и отправки HTTP-запросов к веб-приложению, предварительно подготовленных модулем подготовки запросов с полезной нагрузкой.
4. Модуль обработки ответов веб-приложения. В рамках данного модуля проверяется, была ли «отражена» или сохранена полезная нагрузка в коде веб-страницы, а также определяется возможность выполнения полезной нагрузки в браузере пользователя.

5. Модуль журналирования и генерации отчетов. Результат выполнения работы каждого модуля фиксируется в журнале, на основе чего формируется отчет, содержащий информацию о найденных уязвимых сущностях, виде межсайтового скриптинга, используемой полезной нагрузке при обнаружении, а также векторе атаки.
6. Модуль управления, который представляет интерфейс взаимодействия пользователя с системой (ее модулями) посредством командной строки.

Модули системы (1–5) взаимодействуют по принципу конвейера, последовательно отрабатывая, при этом за конфигурацию и процесс работы модулей отвечает модуль управления (6).

При программной реализации описанной архитектуры системы использовался интерпретируемый язык программирования Python ввиду большого количества библиотек и фреймворков, обеспечивающих реализацию общего подхода поиска всех видов XSS-уязвимостей.

Для обеспечения сетевого взаимодействия и отправки HTTP-запросов использовалась библиотека Requests (функции requests.get(), requests.post(), requests.headers()). [8] Для парсинга HTML-кода веб-страниц и определения реализованных в веб-приложении защитных механизмов были применены функции библиотеки BeautifulSoup. [9] Эмуляция «браузерного» поведения реализована с помощью библиотеки Selenium, что обеспечивает проверку динамических изменений веб-страницы и потенциальных уязвимостей, возникающих при обработке данных в JavaScript. [10] Создание событий (результат работы каждого модуля), их ведение и сохранение результатов запуска системы было реализовано с помощью функций встроенного модуля JSON языка программирования Python (функции json.dump(), logger.info()).

Для оценки эффективности функционирования разработанной системы был проведен сравнительный анализ с двумя другими системами поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений с открытым исходным кодом (сканерами XSS-уязвимостей). В качестве тестовой среды использовалось веб-приложение Mutillidae, предназначенное для получения практических компетенций поиска и эксплуатации уязвимостей веб-приложений.

Количественные результаты поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей по каждому виду XSS-уязвимости представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнение систем поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений

Программное средство	Вид XSS-уязвимости	Количество обнаруженных уязвимых сущностей на веб-странице	Время отработки (сек.)
XSSer	Reflected XSS	2	28
DSXS	Reflected XSS, Stored XSS	4	22
Разработанное программное средство	Reflected XSS, Stored XSS, DOM-based XSS	6	27

Таким образом, были рассмотрены основные виды межсайтового скриптинга, описан общий подход поиска уязвимых к межсайтовому скриптингу сущностей веб-приложений. Описана архитектура разработанной системы поиска уязвимых сущностей, а также отражены результаты проведенного сравнительного анализа разработанной системы с существующими, которые подтверждают эффективность предложенного решения, позволяющего выявлять все основные виды XSS-уязвимостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cybersecurity Club, IIT Bombay: Cross Site Scripting (XSS) // Cybersecurity Club, IIT Bombay URL: https://csea-iitb.github.io/IITBreachers-wiki/2020/07/22/XSS.html (дата обращения: 01.03.2025).
2. Owasp: Top 10 Web Application Security Risks // Owasp.org URL: https://owasp.org/www-project-top-ten/# (дата обращения: 02.03.2025).
3. Habr: XSS атакует! Краткий обзор XSS уязвимостей // Habr URL: https://habr.com/ru/companies/alfa/articles/717896/ (дата обращения: 10.03.2025).
4. Kali tools: XSSer // Kali tools URL: https://kali.tools/?p=1758 (дата обращения: 12.03.2025).
5. GitHub: DSXS // GitHub URL: https://github.com/stamparm/DSXS (дата обращения: 13.03.2025).
6. Acunetix: 2020 web application vulnerability report // v8.2 Infographic Report URL:https://www.acunetix.com/resources/report/Acunetix_2020_Web_Application_Vulnerability_Report_Key_Takeaways.pdf (дата обращения: 15.03.2025).
7. Шипулин Г.Ф., Приймак А.Е. Использование техник спайдеринга и скрапинга при оценке состояния защищенности веб-приложений // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2024. — №11. — С. 185–187. DOI 10.37882/2223-2966.2024.11.45.
8. Requests: HTTP for Humans // Requests docs URL: https://requests.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 19.03.2025).
9. Beautiful Soup Documentation // Read the Docs URL: https://beautiful-soup.readthedocs.io/en/latest/# (дата обращения: 18.03.2025).
10. Selenium.dev: The Selenium Browser Automation Project // Selenium docs URL: https://www.selenium.dev/documentation/ (дата обращения: 20.03.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.06

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ

Горпинич Александр Борисович
доктор медицинских наук, профессор,
Государственный университет просвещения, г. Москва
doc.goralex@mail.ru

Аннотация. Цель данного исследования — разработка шкалы балльной оценки факторов риска и математической модели индивидуального выбора метода хирургического лечения язвенной болезни двенадцатиперстной кишки.
Материал и методы. Изучена прогностическая ценность индивидуальных клинических проявлений язвенной болезни двенадцатиперстной кишки и интраоперационных анатомических изменений у 99 больных дуоденальной язвой. Исследование проводили с помощью разработанной нами анкеты исходной клинической информации и данных интраоперационной анатомической ситуации у больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки. Для математической обработки клинических признаков последние были обозначены цифрами. Исходя из прогностической ценности каждого фактора, вторым этапом данного исследования явилось построение решающих правил для определения индивидуального выбора вида операции. Задача решалась отдельно для каждого вида операции: резекция желудка, стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею, селективная проксимальная ваготомия.
Результаты исследования и их обсуждение. На основе анализа информационной ценности клинических признаков, в группах больных, которым была выполнена, селективная проксимальная ваготомия, стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею и резекция желудка выявлены прогностически неблагоприятные (факторы риска неблагоприятного отдаленного результата оперативного вмешательства). Исходя из прогностической ценности каждого фактора, вторым этапом данного исследования явилось построение решающих правил для определения индивидуального выбора вида операции.
Заключение. Применяемые решающие правила, изложенные принципы математического обоснования возможных факторов риска неудовлетворительных результатов различных оперативных вмешательств при язвенной болезни двенадцатиперстной кишки, а также разработанные ранее дифференцировнные клинические показания, позволили нам избежать несостоятельности дуоденальной культи (в течение трех лет) и снизить послеоперационную летальность с 4,5 % до 1,5 %.

Ключевые слова: прогнозирование, математическое моделирование, шкала балльной оценки, факторы риска неудовлетворительных результатов, решающие правила, выбор метода хирургического лечения язвенной болезни двенадцатиперстной кишки, резекция желудка, стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею, селективная проксимальная ваготомия.

FORECASTING AND MATHEMATICAL MODELING IN SURGICAL TREATMENT OF DUODENAL ULCER

A. Gorpinich

Summary. The aim of this study is to develop a scale of risk factors scoring and mathematical model of individual choice of the method of surgical treatment of duodenal ulcer.
Materials and methods. The prognostic value of individual clinical manifestations of duodenal ulcer and intraoperative anatomical changes in 99 patients with duodenal ulcer was studied. The study was carried out with the help of the developed questionnaire of initial clinical information and data of intraoperative anatomical situation in patients with duodenal ulcer. For mathematical processing of clinical signs the latter were marked with numbers. Based on the prognostic value of each factor, the second stage of this study was the construction of decisive rules to determine the individual choice of the type of surgery. The problem was solved separately for each type of operation: gastric resection, stem vagotomy with gastroduodenoanastomosis according to Jaboulet, selective proximal vagotomy.
Results of the study and their discussion. On the basis of the analysis of information value of clinical signs, in the groups of patients who underwent selective proximal vagotomy, stem vagotomy with gastroduodenoanastomosis according to Jaboulet and gastric resection the prognostically unfavourable (risk factors of unfavourable distant result of surgical intervention) were revealed. Based on the prognostic value of each factor, the second stage of this study was the construction of decisive rules to determine the individual choice of the type of surgery.
Conclusion. The applied decisive rules, the stated principles of mathematical substantiation of possible risk factors of unsatisfactory results of various operative interventions in duodenal ulcer disease, as well as the previously developed differentiated clinical indications, allowed us to avoid duodenal stump failure (within three years) and to reduce the postoperative lethality from 4,5 % to 1,5 %.

Keywords: prognosis, mathematical modelling, scoring scale, risk factors of unsatisfactory results, decisive rules, choice of the method of surgical treatment of duodenal ulcer disease, gastric resection, stem vagotomy with gastroduodenoanastomosis according to Jaboulet, selective proximal vagotomy.

Введение

Язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки до настоящего времени остается одним из наиболее распространенных заболеваний органов желудочно-кишечного тракта. Фактором, оказывающим существенное влияние на результаты хирургического лечения этой патологии, является выбор метода оперативного вмешательства [2, 3, 4, 5, 7]. При этом, можно предположить, что степень достоверности принимаемого решения, при выборе индивидуального вида операции, будет зависеть от полноты учета действующих факторов.

Известно, что одним из наиболее перспективных направлений оптимизации анализа медицинских данных, является создание математических моделей прогнозирования [1,4, 6].

Цель данного исследования — разработка шкалы балльной оценки факторов риска и математической модели индивидуального выбора метода хирургического лечения язвенной болезни двенадцатиперстной кишки.

Материалы и методы

Изучена прогностическая ценность индивидуальных клинических проявлений язвенной болезни двенадцатиперстной кишки и интраоперационных анатомических изменений у 99 больных дуоденальной язвой. Исследование проводили с помощью разработанной нами анкеты исходной клинической информации и данных интраоперационной анатомической ситуации у больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки. Для математической обработки клинических признаков последние были обозначены цифрами. Большое значение придавали общеклиническим данным (пол, возраст, профессия, анамнез, отражающий течение заболевания, наличие осложнений, эффект проводимого ранее лечения), результатам объективного исследования, лабораторным данным. В основу анализа этих данных был положен принцип балльного прогнозирования.

Селективная проксимальная ваготомия (СПВ) с дренирующими и без дренирующих операций выполнена 21 больному, 29 пациентов перенесли стволовую ваготомию с гастродуоденоанастомозом по Жабулею и 49 больным произведена резекция желудка. Прогностическую значимость определяли путем расчета видоизмененного критерия Стьюдента (1):

$$t = \frac{P_1 - P_0}{\sqrt{m_0^2 + m_1^2}}.$$

Отдаленные результаты хирургического лечения дуоденальной язвы в сроки от 3 мес. до 14 лет изучали методом анкетирования, стационарного и амбулаторного обследования и оценивались по модифицированной шкале Visick. В каждой группе больные разделены на подгруппы. В первую вошли пациенты с отличным и хорошим результатом операции, во вторую — с удовлетворительным и плохим.

Исходя из прогностической ценности каждого фактора, вторым этапом данного исследования явилось построение решающих правил для определения индивидуального выбора вида операции. Задача решалась отдельно для каждого вида операции: резекция желудка, стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею, селективная проксимальная ваготомия.

Результаты исследования и их обсуждение

Накопленный нами опыт использования дифференцированных клинических показаний к выбору метода оперативного вмешательства при дуоденальной язве, с учетом индивидуальных проявлений патологии, показал необходимость большей объективизации этих показаний. Поэтому мы продолжили исследование в направлении разработки шкалы балльной оценки факторов риска и математической модели индивидуального выбора метода хирургического лечения язвенной болезни двенадцатиперстной кишки.

На основе анализа информационной ценности 29 клинических признаков, в группе больных, которым была выполнена СПВ, прогностически неблагоприятными (факторами риска неблагоприятного отдаленного результата СПВ) оказались локализация язвы (t = –4,66), тип секреции (t = 3,63), симптом «ниши (t = 2,83), степень стеноза (t = 2,65) и т.д. (табл. 1). При исследовании взаимосвязи между исходом и другими признаками выявлена достоверная (P ≥ 95 %) корреляционная связь исхода с недостаточностью кардии (r = 0,7559). Увеличение степени недостаточности кардии ухудшает результаты оперативного лечения.

Таблица 1.

Шкала балльной оценки прогностической значимости клинических признаков (селективная проксимальная ваготомия)

Признак	Баллы
Локализация язвы (эндоскопические данные данные)	–4,66
Тип желудочной секреции Тип желудочной секреции	3,63
Наличие симптома «ниши» (рентгенологические данные)	2,83
Степень стеноза (рентгенологические данные)	–2,65
Пенетрация в печеночно-двенадцатиперстную связку (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	–2,65

Признак	Баллы
Пенетрация в поджелудочную железу (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	–1,87
Питание	1,87
Пол	1,00
Сочетанные осложнения в анамнезе	–1,00
Иррадиация боли в спину	–1,00
Конституция	1,00
Перипроцесс в пилородуоденальной зоне (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	–0,73
Размеры желудка (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	0,49
Профессия	0,23
Кровотечение в анамнезе	–0,22
Возраст	–0,21

В группе больных, которые перенесли стволовую ваготомию с гастродуоденоанастомозом по Жабулею, из 27 анализируемых клинических признаков наиболее прогностически неблагоприятными оказались питание (t = 3,01), сочетанные осложнения в анамнезе (t = –2,49) , симптом «ниши» (t = 2,31) и др. (табл. 2).

Таблица 2.

Шкала балльной оценки прогностической значимости клинических признаков (стволовая ваготомия с гастродуоденостомией по Жабулею)

Признак	Баллы
Питание	3,0
Сочетанные осложнения в анамнезе	–2,49
Наличие симптома «ниши» (рентгенологические данные)	–2,31
Пенетрация в поджелудочную железу (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	2 ,03
Пол	1,82
Болевой синдром	1,82
Тонус желудка (рентгенологические данные)	1,68
Перфорация в анамнезе	–1,45
Возраст	1,41
Длительность язвенного анамнеза	–1,36
Размеры желудка (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	–1,28
Размеры язвы (эндоскопические данные)	1,00
Стадия развития стеноза (эндоскопические данные)	1,00
Стадия стеноза (рентгенологические данные)	0,97
Состояние двенадцатиперстной кишки (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	0,82
Тип желудочной секреции	–0,43
Пенетрация в печеночно-двенадцатиперстную связку (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	–0,16
Профессия	0,04

При исследовании взаимосвязи между исходом и другими признаками выявлена достоверная (P ≥ 95 %) корреляционная связь исхода с возрастом (г = –0,3879). Результаты хирургического лечения улучшаются с увеличением возраста больного.

В группе больных, которым была произведена резекция желудка, анализ проводился по 32 признакам. Наиболее прогностически неблагоприятными оказались снижение тонуса желудка (t = 5,57), курение (t = 3,87), наличие болевого синдрома (t = 2,08), перипроцесса в пилородуоденальной зоне (t=1,79) и т.д. (табл. 3). Выявлена достоверная (P≥ 95 %) корреляционная связь между исходом и полом (г = 0,3423). У женщин имеется большая вероятность неудовлетворительного исхода.

Исходя из прогностической ценности каждого фактора, вторым этапом данного исследования явилось построение решающих правил для определения индивидуального выбора вида операции. Задача решалась отдельно для каждого вида операции: резекция желудка, стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею, селективная проксимальная ваготомия. Расчеты проводились с использованием пакетов прикладных программ по обработке биомедицинской информации. Пошаговый дискриминантный анализ позволил строить диагностические правила не по всему множеству исследуемых признаков, а используя только наиболее «информативные» из них.

Дискриминантный анализ используется в клинических исследованиях с целью построения на основе данных «обучающей» выборки решающего правила для диагностики, то есть отнесения больного, характеризуемого набором признаков, к одному из заранее заданных классов. На практике часто требуется выделить из всего набора признаков некоторое подмножество признаков, по которому можно построить наилучшее разделение классов, то есть в процессе построения решающего правила происходит выявление «информативных» и «неинформативных» для диагностики признаков, а также сокращение числа признаков для построения решающего

правила без существенного снижения качества диагностики. Дискриминантный анализ позволяет оценить диагностическую информативность отдельных признаков.

Таблица 3.

Шкала балльной оценки прогностической значимости клинических признаков (резекция желудка)

Признак	Баллы
Тонус желудка (рентгенологические данные)	–5,57
Курение	3,87
Алкоголь	3,87
Болевой синдром	2,08
Перипроцесс в пилородуоденальной зоне (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	1,79
Размеры желудка (выявлены при ревизии органов брюшной полости)	–1,69
Состояние двенадцатиперстной кишки (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	1,51
Пол	–1,06
Дуоденогастральный рефлюкс (рентгенологические данные)	–1,00
Характер изменения стенки желудка (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	–1,00
Возраст	–0,99
Степень стеноза (рентгенологические данные)	–0,98
Конституция	–0,85
Тип секреции	0,76
Длительность язвенного анамнеза	0,68
Наличие симптома «ниши» (рентгенологические данные)	0.67
Осложнения в анамнезе	–0,48
Профессия	–0,47
Недостаточность кардии (эндоскопические данные)	0,43
Пенетрация язвы (выявлено при ревизии органов брюшной полости)	0,30
Гастрит (эндоскопические данные)	–0,29
Локализация язвы (эндоскопические данные)	0,27
Стадия развития стеноза (эндоскопические данные)	–0,20
Питание	–0,18
Сочетанные осложнения в анамнезе	0,17
Иррадиация болей в спину	0,16
Рефлюкс-эзофагит (эндоскопические данные)	0,07

Линейная дискриминантная функция имеет вид (2):

$$Д_1 = C_1 + L_1^{(i)} X_1^{(i)} + L_2^{(i)} X_2^{(i)} + \ldots L?^{(i)} X?^{(i)}$$

$$Д_2 = C_2 + L_1^{(2)} X_2^{(2)} + L_2^{(2)} X_2^{(2)} + \ldots L?^{(2)} X?^{(2)}$$

где C — константа; L_1 , L_2 , L? — коэффициенты; X_1, X_2, X? — значения признаков.

Классификация состоит в отнесении больного к той группе, для которой значение линейной дискриминантной функции максимально.

На печать выводятся:

1. Среднее значение M каждой группы отдельно и вместе по всем признакам.
2. Среднее квадратическое отклонение по каждому признаку (средний разброс значений каждого признака).
3. Средние (средн. квадр. отклонение = $\frac{M}{\sigma^2}$).
4. $F_{иск.}$ — статистика и степени свободы (количество больных) для каждого признака, на каждом шаге.
5. $F_{вкл.}$ — статистика для определения различия между парами групп.
6. Дисриминантные функции.
7. Матрицы классификации и процент верной классификации.
8. Апостериорные вероятности для каждой группы.

Для каждой операции построены два диагностических правила (для благоприятного и неблагоприятного отдаленного исхода) на основании признаков, измеренных до операции, и по два диагностических правила (для благоприятного и неблагоприятного исхода) с использованием признаков, измеренных до и во время операции. Благоприятный исход включал отличный и хороший результат, а неблагоприятный — удовлетворительный и неудовлетворительный по шкале Visick.

Для использования в решающих правилах качественных признаков, последние обозначены цифрами. Так, мужской пол — I, женский — 2; сочетанные осложнения в анамнезе — I, отсутствие их — 2; пенетрация язвы в поджелудочную железу — I, отсутствие этого признака — 2; пенетрация язвы в печеночно-двенадцатиперстную связку — I, если этот признак отсутствовал — 2.

1. Резекция желудка (признаки измерены до операции). Вычисляется значение F — критерия для включения признаков в диагностические правила. Выбирается признак с наибольшим значением $F_{вкл}$. Этот признак — пол. На основании этого признака строятся диагностические правила. Получены две дискриминантные функции: $Д_1$ — для благоприятного исхода, $Д_2$ — для неблагоприятного исхода.

$Д_1$ = –4,84 + 7,07 х (пол) — исход благоприятный

$Д_2$ = –6,38 + 8,27 х (пол) — исход неблагоприятный

При практическом применении этих правил выполняются следующие действия:

1) у конкретного больного измеряется показатель признака (пол);
2) его значение подставляется последовательно в 1-ое и 2-ое правила. При этом получим два числа — $Д_1$ и $Д_2$, которые соответствуют вероятности исхода благоприятного и неблагоприятного соответственно. Больной относится к той группе, для которой значение линейной дискриминантной функции максимально (если $Д_1$ больше $Д_2$, то диагностируется исход благоприятный и наоборот).

2. Резекция желудка (признаки измерены до и во время операции).

Выбирается признак с наибольшим значением F вкл. Этот признак — сочетанные осложнения в анамнезе. На основании этого признака строятся диагностические правила. Получены две дискриминантные функции:

$Д_1$ =11,03 + 11,27 х (сочетанные осложнения в анамнезе) — исход благоприятный;

$Д_2$ = –8,56 + 9,84 х (сочетанные осложнения в анамнезе) — исход неблагоприятный.

Если $Д_1$ больше $Д_2$, то диагностируется исход благоприятный и наоборот.

3. Стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею (признаки измерены до операции).

Выбирается признак с самым большим F вкл. — сочетанные осложнения в анамнезе.

Получены два диагностических правила, содержащие один признак (сочетанные осложнения в анамнезе):

$Д_1$ = –10,88 + 11,56 х (сочетанные осложнения в анамнезе) — исход благоприятный;

$Д_2$ = –13,82 + 13,13 х (сочетанные осложнения в анамнезе) — неблагоприятный исход.

4. Стволовая ваготомия с гастродуоденоанастомозом по Жабулею (признаки измерены до и во время операции).

Получены два диагностических правила, содержащие один признак — пенетрация язвы в поджелудочную железу:

$Д_1$ = –6,77 + 7, 29 х (пенетрация язвы в поджелудочную железу) — исход благоприятный;

$Д_2$ = –3,84 + 5, 25 х (пенетрация язвы в поджелудочную железу) — исход неблагоприятный.

Если $Д_1$ больше $Д_2$, то более вероятен благоприятный исход, если $Д_2$ больше $Д_1$, то более вероятен неблагоприятный исход.

5. Селективная проксимальная ваготомия (признаки измерены до операции).

Получены два диагностических правила, содержащих 1 признак — сочетанные осложнения в анамнезе:

$Д_1$ = 38,73 + 39,27 х (сочетанные осложнения в анамнезе) — исход благоприятный;

$Д_2$ = 41,2 + 40,53 х (сочетанные осложнения в анамнезе) — исход неблагоприятный.

6. Селективная проксимальная ваготомия (признаки измерены до и во время операции).

Выбирается признак — пенетрация в печеночно-двенадцатиперстную связку, с самым большим $F_{вкл}$. С помощью признака пенетрация в печеночно-двенацатиперстную связку получены два диагностических правила:

$Д_1$ = –10,87 + 11,5 х (пенетрация в печеночно-двенадцатиперстную связку) — исход благоприятный;

$Д_2$ = –13,69 + 13,0 х (пенетрация в печеночно-двенадцатиперстную связку) — исход неблагоприятный.

Если $Д_1$ больше $Д_2$, то диагностируется исход благоприятный и наоборот.

Заключение

Таким образом, исходя из прогностической ценности клинических признаков, нами построены решающие правила определения индивидуального выбора метода операции у больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки для следующих видов оперативных вмешательств: резекции желудка, стволовой ваготомии с гастродуоденостомией по Жабулею, селективной проксимальной ваготомии. Предложенная математическая модель служила ориентиром при выборе хирургической тактики и корригировалась разработанными дифференцированными показаниями. В случае прогнозирования благоприятного исхода одновременно для двух видов оперативных вмешательств предпочтение отдавалось органосохраняющим операциям, а из них — более функционально выгодной, селективной проксимальной ваготомии.

Применяемые решающие правила, изложенные принципы математического обоснования возможных факторов риска неудовлетворительных результатов различных оперативных вмешательств при язвенной болезни двенадцатиперстной кишки, а также разработанные ранее дифференцированные клинические показания, позволили нам избежать несостоятельности дуоденальной культи (в течение трех лет) и снизить послеоперационную летальность с 4,5 % до 1,5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Затолокина М.А., Польской В.С., Зуева С.В., Ласкова А.В., Мезенцева Ю.И., Шеховцова А.С., Асеева С.А., Боева А.О., Сирдюк И.В., Сергеева В.Н., Орлова И.А., Пинжуро О.С. Математическое моделирование и прогнозирование — как методы научного познания в медицине и биологии (обзор литературы) // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 12-4. С.539–543.
2. Кадыров Д.М., Кодиров Ф.Д., Сафаров Д.Б., Амонов У.М., Табаров З.В., Сайдалиев Ш.Ш. Селективная проксимальная ваготомия и дуоденопластика в хирургии рубцово-язвенных дуоденостенозов // Здравоохранение Таджикистана. 2019. №3. С.5–14.
3. Кодиров Ф.Д., Сайдалиев Ш.Ш., Кадыров Д.М., Табаров З.В. Хирургическая тактика при сочетании рубцово-язвенного дуоденостеноза с пенетрацией язвы // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. 2019. №4 (207). 2019. С. 1–11.
4. Косенко П.М., Вавринчук С.А., Попов А.И., Бояринцев Н.И., Сунозова Г.Д. Математическое моделирование в хирургии пилородуоденального стеноза // Дальневосточный медицинский журнал. 2020. №3. С. 105–110.
5. Соломонова Г.А. Применение селективной проксимальной ваготомии при язве двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением и пенетрацией // Медицинский журнал. 2013. №3 (45). С.21–26
6. Цуканов А.В., Иванов И.С., Горюшкин Е.И., Пономарева И.В. Методы прогнозирования и моделирования в хирургии // Современные проблемы науки и образования. 2023. №4. С. 1–10.
7. Черноусов А.Ф. и др. Хирургия язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки: руководство для врачей. — М.: Практическая Медицина, 2016. — 352 с.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.09

СОВРЕМЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ИНФИЦИРОВАННОГО ПАНКРЕОНЕКРОЗА: РОЛЬ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

MODERN ALGORITHMS FOR SURGICAL TREATMENT OF INFECTED PANCREATIC NECROSIS: THE ROLE OF MINIMALLY INVASIVE TECHNOLOGIES

L. Huseynov

Summary. The article presents the developed innovative algorithm for surgical treatment of infected pancreatic necrosis based on the priority use of minimally invasive technologies. The study demonstrated a significant reduction in mortality when using the proposed algorithm compared to traditional approaches. The scientific novelty of the work is the creation of a radiomics scale for predicting the effectiveness of minimally invasive interventions based on the analysis of CT images, which allows for accurate determination of patients for whom minimally invasive techniques will be the final method of treatment. The developed system of multimodal diagnostics in combination with the staged use of combined minimally invasive interventions, including the innovative use of local negative pressure in endoscopic transluminal operations, led to a reduction in the duration of hospitalization and a decrease in the incidence of systemic complications. It has been proven that a personalized approach to the choice of surgical tactics using the developed algorithm allows optimizing the treatment of patients with infected pancreatic necrosis and significantly improving disease outcomes.

Keywords: infected pancreatic necrosis, minimally invasive surgery, percutaneous drainage, endoscopic necrosequestrectomy, radiomic prognosis scale, local negative pressure, personalized approach, multimodal diagnostics, staged surgical treatment, systemic complications.

Гусейнов Латиф Махмуд оглы
Ассистент,
Азербайджанский Медицинский университет
letif.huseynov.2014@mail.ru

Аннотация. В статье представлен разработанный инновационный алгоритм хирургического лечения инфицированного панкреонекроза, основанный на приоритетном применении малоинвазивных технологий. Исследование продемонстрировало значимое снижение летальности при использовании предложенного алгоритма по сравнению с традиционными подходами. Научной новизной работы является создание радиомической шкалы прогнозирования эффективности малоинвазивных вмешательств на основе анализа КТ-изображений, позволяющей с точностью определять пациентов, для которых малоинвазивные методики будут окончательным методом лечения. Разработанная система мультимодальной диагностики в сочетании с этапным применением комбинированных малоинвазивных вмешательств, включающих инновационное использование локального отрицательного давления при эндоскопических транслюминальных операциях, привела к сокращению сроков госпитализации и снижению частоты системных осложнений. Доказано, что персонализированный подход к выбору хирургической тактики с использованием разработанного алгоритма позволяет оптимизировать лечение пациентов с инфицированным панкреонекрозом и существенно улучшить исходы заболевания.

Ключевые слова: инфицированный панкреонекроз, малоинвазивная хирургия, чрескожное дренирование, эндоскопическая некрсеквестрэктомия, радиомическая шкала прогнозирования, локальное отрицательное давление, персонализированный подход, мультимодальная диагностика, этапное хирургическое лечение, системные осложнения.

Панкреонекроз является одним из наиболее тяжелых осложнений острого панкреатита, который, по данным М.М. Адилова и соавторов, занимает ведущее место среди ургентной хирургической патологии. Согласно современным представлениям о патогенезе инфицированного панкреонекроза, важную роль в развитии заболевания играет бактериальная транслокация. Авторы в своих исследованиях подтвердили закономерности бактериальной транслокации при развитии распространенного перитонита, сопровождающего панкреонекроз. При тяжелом абдоминальном хирургическом вмешательстве происходит изменение иммунного ответа, что способствует развитию инфекционных осложнений [2].

Диагностика инфицированного панкреонекроза требует комплексного подхода. М.Д. Дибиров и соавторы подчеркивают важность своевременной диагностики для реализации принципов «обрыва» панкреонекроза. Авторы в своем исследовании предлагают алгоритм диагностики тяжелого острого панкреатита. Согласно этим рекомендациям, необходимо использовать комбинацию клинических, лабораторных и инструментальных методов исследования. Основу лабораторной диагностики составляет определение маркеров воспаления, включая С-реактивный белок, прокальцитонин, лейкоцитоз с нейтрофильным сдвигом. Важным является значимость определения иммунологических показателей для оценки тяжести процесса. Важным диагностическим

критерием инфицированного панкреонекроза является наличие газа в зоне некроза при КТ-исследовании или положительные результаты бактериологического исследования материала, полученного при тонкоигольной аспирации под УЗ-контролем [4].

Традиционная лапаротомия с некрсеквестрэктомией, несмотря на возможность радикального удаления очага, характеризуется чрезвычайно высокой частотой послеоперационных осложнений. Лапаротомия в условиях системной воспалительной реакции и полиорганной недостаточности, которые часто наблюдаются у пациентов с инфицированным панкреонекрозом, становится дополнительным фактором хирургической агрессии. К наиболее частым осложнениям открытых операций при инфицированном панкреонекрозе относятся кровотечения, кишечные свищи, прогрессирующий сепсис. Учитывая высокую частоту осложнений и летальности при применении открытых методов лечения инфицированного панкреонекроза, в последние годы произошел пересмотр хирургических подходов в пользу менее инвазивных методик. Е.А. Корымасов и соавторы указывают, что в качестве альтернативы лапаротомии появились и активно внедряются минимально инвазивные технологии, которые характеризуются значительно меньшей хирургической агрессией при сохранении эффективности в отношении контроля очага инфекции [5].

В последние десятилетия лечение инфицированного панкреонекроза претерпело значительные изменения, что связано с внедрением малоинвазивных технологий. Минимально инвазивные методики представляют собой современную альтернативу традиционным открытым вмешательствам, позволяя снизить хирургическую агрессию при сохранении эффективности санации инфекционного очага.

Чрескожное дренирование под контролем УЗИ или КТ (PCD), по мнению С.И. Ремизова, является ключевым компонентом малоинвазивной стратегии лечения инфицированного панкреонекроза. Данная методика служит не только первым шагом в лечении, но и в ряде случаев может быть окончательным методом. Zheng с соавторами отмечали, что у 33,1 % пациентов с инфицированным панкреонекрозом удалось достичь клинического выздоровления только при помощи чрескожного дренирования, без необходимости в последующих инвазивных вмешательствах. Лапароскопические вмешательства также демонстрируют хорошие результаты в лечении инфицированного панкреонекроза. Одноэтапная лапароскопически-ассистированная некрсектомия может быть сравнима по эффективности с поэтапным подходом у отдельных категорий пациентов [1,7].

Важным аспектом хирургического лечения панкреонекроза является определение оптимальных сроков вмешательства. Е.Ф. Ошуркова и коллеги отмечают, что более безопасно осуществлять некрэктомию не ранее, чем через 10 дней от начала заболевания, когда граница между мертвыми и живыми тканями становится четкой, а сосуды некротизированных тканей оказываются тромбированными, что позволяет выполнить вмешательство практически бескровно [6].

Несмотря на значительный прогресс в разработке и внедрении малоинвазивных технологий для лечения инфицированного панкреонекроза, в данной области остаются существенные пробелы в исследованиях, требующие пристального научного внимания. Как отмечают Э.А. Галлямов и соавторы, ни один из подходов не может быть оптимальным для всех пациентов, поэтому выбор метода лечения должен быть адаптирован к конкретному больному с учетом сроков, распространенности и анатомического расположения очагов некроза, а также степени владения хирургической бригадой тем или иным методом. Решение о необходимости дренирования жидкостных скоплений принимается на основе исключения септических очагов других локализаций и персистенции клиники синдрома системной воспалительной реакции на фоне консервативной терапии [3].

Материалы и методы

В данном исследовании применен комбинированный дизайн, включающий анализ медицинской документации и наблюдение за пациентами с инфицированным панкреонекрозом. В работу были включены 147 пациентов, госпитализированных в период с 2019 по 2023 год. Пациенты были распределены на две группы: основную, где применялся разработанный нами пошаговый алгоритм с приоритетом малоинвазивных методик, и контрольную с традиционным подходом к хирургическому лечению.

Диагностика инфицированного панкреонекроза осуществлялась с помощью мультимодального подхода, включающего КТ с болюсным контрастированием, МРТ с использованием диффузионно-взвешенных изображений и определения прокальцитонина в сыворотке крови методом иммунохроматографии. Новизной диагностического алгоритма стало применение разработанной нами шкалы прогнозирования эффективности малоинвазивных вмешательств на основе радиомических признаков, выделенных при анализе КТ-изображений.

Хирургическое лечение включало этапный подход с использованием чрескожных дренирований под УЗИ-контролем, видеоассистированных ретроперитонеоскопических некрсеквестрэктомий и эндоскопических транслюминальных вмешательств. Инновационным аспектом стало применение системы локального отрицательного давления при эндоскопических вмешательствах, что позволило достичь более эффективной эвакуации некротических масс.

Результаты и обсуждения

Анализ клинических исходов продемонстрировал существенные преимущества предложенного алгоритма с приоритетом малоинвазивных технологий. В основной группе летальность составила 12,2 % по сравнению с 23,1 % в контрольной группе (p=0,034). Среднее время госпитализации у пациентов основной группы сократилось на 8,3 суток (19,4±3,7 против 27,7±4,2 суток, p<0,001). Применение разработанной шкалы прогнозирования на основе радиомических признаков позволило с точностью 84,7 % определить пациентов, у которых малоинвазивные методики будут эффективны в качестве окончательного метода лечения. Чувствительность метода составила 82,3 %, специфичность — 86,9 %.

Системные осложнения в основной группе развились у 17 пациентов (20,7 %), тогда как в контрольной группе — у 26 пациентов (40,0 %), p=0,008. Частота повторных вмешательств снизилась в основной группе на 37,2 % по сравнению с контрольной (p<0,001). Внедрение системы локального отрицательного давления при эндоскопических вмешательствах способствовало повышению эффективности санации очагов некроза на 31,5 % (p=0,006).

Полученные результаты подтверждают преимущества дифференцированного подхода к выбору хирургической тактики при инфицированном панкреонекрозе с приоритетным использованием малоинвазивных технологий. Примечательно, что созданная нами радиомическая шкала позволяет персонализировать тактику хирургического лечения. Разработанная система этапного лечения с применением комбинации чрескожных и эндоскопических технологий позволила достичь значимого снижения летальности в сравнении с традиционными открытыми вмешательствами. Важным аспектом является снижение риска развития системных осложнений при использовании малоинвазивных технологий, что подтверждает теорию о меньшей хирургической агрессии и, соответственно, менее выраженном системном воспалительном ответе. Ограничением исследования является неоднородность групп по тяжести состояния пациентов, что потребовало дополнительного статистического анализа с учетом различных исходных показателей.

Выводы

Разработанный нами алгоритм хирургического лечения инфицированного панкреонекроза с приоритетным применением малоинвазивных технологий демонстрирует существенное клиническое преимущество перед традиционными подходами. Внедрение радиомической шкалы прогнозирования эффективности малоинвазивных вмешательств представляет собой принципиально новый подход к персонализированному выбору хирургической тактики.

Инновационное применение системы локального отрицательного давления при эндоскопических трансмуральных вмешательствах существенно повышает эффективность санации очагов некроза. Комбинированное использование чрескожных, ретроперитонеоскопических и эндоскопических технологий в рамках пошагового алгоритма значимо снижает летальность, частоту системных осложнений и продолжительность госпитализации.

Предложенный мультимодальный диагностический подход с использованием радиомических признаков, выделенных при анализе КТ-изображений, существенно расширяет возможности объективной оценки состояния панкреатической и парапанкреатической тканей, что позволяет более точно определять тактику и сроки хирургических вмешательств. Полученные результаты свидетельствуют о высокой клинической эффективности разработанного алгоритма и целесообразности его внедрения в широкую клиническую практику для улучшения исходов лечения пациентов с инфицированным панкреонекрозом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zheng Z., Lu J., Cao F. et al. «One-step» approach versus «Step-up» approach minimally invasive treatment for infected pancreatic necrosis: a study protocol for a single-center, prospective, randomized controlled trial // BMC Surgery. 2022. Vol. 22. № 1. P. 141–149.
2. Адилов М.М., Здзитовецкий Д.Э., Борисов Р.Н. Современные аспекты хирургического лечения панкреонекроза // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. С. 124–130.
3. Галлямов Э.А., Агапов М.А., Бусырев Ю.Б. и др. Сравнительная оценка минимально инвазивных методик лечения инфицированного панкреонекроза // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2021. № 5. С. 27–34.
4. Дибиров М.Д., Домарев Л.В., Шитиков Е.А. и др. Принципы «обрыва» панкреонекроза в скоропомощной больнице // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2017. № 1. С. 73–77.
5. Корымасов Е.А., Иванов С.А., Анорьев Н.И. и др. Новый алгоритм хирургического лечения инфицированного панкреонекроза // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. 2024. № 6. С. 85–93.
6. Ошуркова Е.Ф., Рудова Е.С., Суслов Н.С. Панкреонекроз и его хирургическое лечение // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 3. С. 112–116.
7. Ремизов С.И., Андреев А.В., Дурлештер В.М. и др. Модифицированный метод чрескожного дренирования острых некротических скоплений у пациентов с инфицированным панкреонекрозом // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2023. № 11. С. 47–55.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.13

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗРУШЕННОЙ КЛИНИЧЕСКОЙ КОРОНКИ БОКОВЫХ ЗУБОВ ПО АВТОРСКОЙ МЕТОДИКЕ (КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ)

RESTORATION OF THE DESTROYED CLINICAL CROWN OF THE LATERAL TEETH ACCORDING TO THE AUTHOR'S METHOD (CLINICAL CASE)

D. Dmitriev

Summary. To date, the incidence of patients with tooth crown fracture remains at a fairly high level. At the same time, it should be noted that the currently used methods of orthopedic treatment have a lot of disadvantages. This article describes a technique improved by the author for prosthetics of patients with tooth crown fracture. Orthopedic treatment of patients was carried out on the basis of the Novokuibyshevskaya Dental Clinic, Novokuibyshevsk. For clarity, the paper analyzes the original clinical case of the treatment of a patient with the destruction of the crown of a tooth, who underwent prosthetics using a device improved by the author. The long-term results are good. There were no complaints or complications during the manufacture of orthopedic structures and the follow-up of patients after prosthetics. The hermeticism is not broken. The mobility of manufactured orthopedic structures is not observed, there are no surface chips and cracks.

Keywords: destruction of the crown of the tooth, low clinical crown, endocrowns.

Дмитриев Дмитрий Игоревич
Соискатель, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет»
d.i.dmitriev@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день встречаемость пациентов с разрушением коронковой части зуба остается на довольно высоком уровне. При этом, следует отметить, что используемые в настоящее время способы ортопедического лечения имеют массу недостатков. В данной статье описана усовершенствованная автором методика протезирования пациентов с разрушением коронковой части зуба. Ортопедическое лечение пациентов проводилось на базе ГБУЗ СО «Новокуйбышевская стоматологическая поликлиника», г. Новокуйбышевск. Для наглядности в работе разобран оригинальный клинический случай лечения пациента с разрушением коронковой части зуба, которому было проведено протезирование с использованием усовершенствованного автором устройства. Отдаленные результаты хорошие. В ходе изготовления ортопедических конструкций и наблюдения за пациентами после протезирования жалоб и осложнений не возникало. Герметизм не нарушен. Подвижности изготовленных ортопедических конструкций не наблюдается, поверхностных сколов и трещин нет.

Ключевые слова: разрушение коронковой части зуба, низкая клиническая коронка, эндокоронки.

Введение

Одной из наиболее распространенных проблем современной ортопедической стоматологии является протезирование пациентов с полным разрушением клинической коронки зуба [1]. Согласно данным отечественной и зарубежной встречаемость данной патологии может достигать 14,1–17,3 % [2,3]. При этом, крайне сложными для протезирования являются пациенты с низкими клиническими коронками зубов, поскольку в этом случае остается крайне мало места для адекватного восстановления зубов [4].

В настоящее время для восстановления полного разрушения клинической коронки зуба в клинической стоматологии предложены разнообразные методы лечения [5, 6]. Однако, все предложенные на сегодняшний день способы лечения имеют массу недостатков [7]. Основными из которых являются нарушение герметизма конструкции, неудовлетворительная фиксация изготовленной конструкции, а также сколы и поломки изготовленной конструкции в ближайшие и отдаленные сроки.

Целью данного исследования стало описание усовершенствованной автором методики протезирования пациентов с разрушением коронковой части зуба на клиническом примере.

Материал и методы исследования

Ортопедическое лечение пациентов при помощи усовершенствованных автором конструкций проводилось на базе ГБУЗ СО «Новокуйбышевская стоматологическая поликлиника», г. Новокуйбышевск. В ходе исследования проведено протезирование 47 пациентов с тотальным дефектом коронковой части зуба.

Суть методики состоит в следующем.

Пациенту с дефектом коронки зуба предварительно проводят терапевтическую подготовку: депульпируют

зуб, проводят пломбирование корневых каналов и восстанавливают зуб композитным материалом до уровня стенок зуба.

После этого переходим к препарированию зуба под ортопедическую конструкцию. Препарирование включает в себя несколько этапов:

— препарирование окклюзионной поверхности до создания ровной горизонтальной поверхности;
— препарирование полости зуба (полость формируем глубиной не менее 4 мм в форме обратного усеченного конуса с закругленными краями и наклоном боковых граней 3–4°). Обязательным условием при изготовлении эндокоронки является сохранность боковых стенок зуба не менее 2 мм;
— препарирование борозды шириной 1 мм на язычной стенке зуба, что в последствии значительно облегчает процесс припасовки и фиксации эндокоронки;
— полировка культи зуба при помощи арканзаса и резиновых головок.

После препарирования получаем оттиски с верхней и нижней челюстей при помощи силиконового материала.

Устройство для восстановления разрушенной коронки боковых зубов (Патент РФ № 213518) изготавливают из диоксида циркония методом фрезерования. После синтеризации фрезерованной конструкции проводим ее припасовку изготовленной конструкции на модели, проверяем герметичность конструкции, путь введения, окклюзионные и апроксимальные контакты. После чего примеряем изготовленную конструкцию в полости рта. После примерки в полости рта эндокорнку передаем в зуботехническую лабораторию, где проводят ее индивидуализацию и покрывают поверхность глазурью.

Готовая конструкцию фиксируется в полости рта по стандартному адгезивному протоколу.

Для наглядности и демонстрации применения предложенной конструкции для восстановления разрушенной клинической коронки зуба все этапы изготовления предложенного автором устройства разберем на клиническом примере.

Пациент Ч., 34 года (рис. 1) обратился на базу ГБУЗ СО «Новокуйбышевская стоматологическая поликлиника» с жалобами на разрушение зуба 2.7, неудовлетворительное пережевывание пиши на левой стороне.

В ходе объективного обследования пациенту поставлен диагноз: дефект твердых тканей зуба 3.6, ИРОПЗ по В.Ю. Миликевич — 80 %; дефект твердых тканей зуба 4.6., ИРОПЗ по В.Ю. Миликевич — 70 %.

Рис. 1. Пациент Ч., 34 года, фото полости рта до протезирования

План лечения: изготовление устройств для восстановления разрушенной коронки боковых зубов на зуб 3.6. и 4.6.

В ходе первого приема пациенту проведено удаление старых пломб с последующим восстановлением зубов с использованием композитного материала. Зубы 3.6., 4.6. отпрепарированы под эндокоронку авторской конструкции согласно описанному ранее протоколу (рис. 2).

Рис. 2. Пациент Ч., 34 года, фото полости рта после препарирования зубов 3.6 и 4.6

После препарирования проводим сканирование верхнего и нижнего зубного ряда при помощи внутриротового сканера 3Shape (рис. 3).

На основании компьютерной модели, полученной в результате распознавания оптического оттиска поло-

Рис. 3. Цифровая модель нижней челюсти

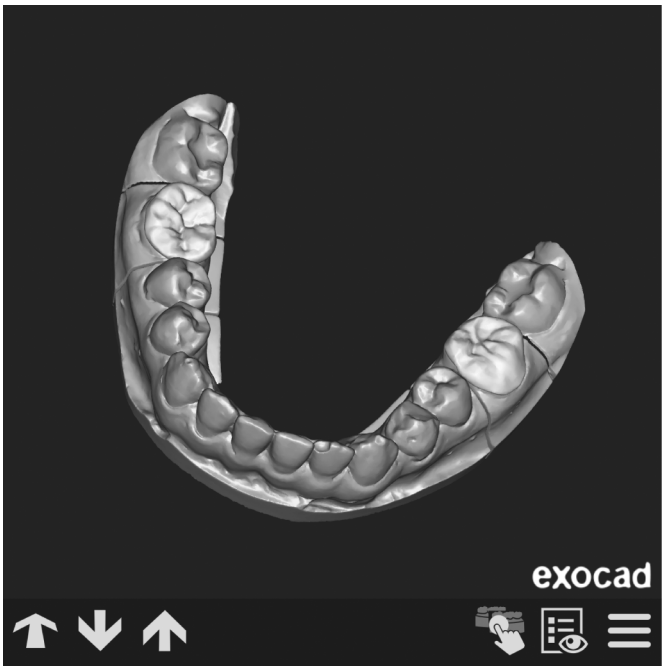
Проводим припасовку готовой конструкции на модели и в полости рта. После припасовки ортопедическую конструкцию окрашивают и индивидуализируют, покрывают слоем глазури.

Фиксацию готовой конструкции проводят по стандартному адгезивному протоколу на композитный цемент двойного отверждения (рис. 6). В данном клиническом случае фиксацию осуществляли на композитный цемент Relyx U200 (3M ESPE), адгезив Optibond FL (Kerr).

Срок наблюдения за пациентом 2 года. За время наблюдения пациент жалоб не предъявляет. Герметизм не нарушен. Нарушения фиксации не наблюдается, поверхностных сколов и трещин нет.

Заключение

Основываясь на результатах лечения, можно сделать вывод, что устройство для восстановления разрушенной коронки боковых зубов позволяет успешно восстановить клинические коронки разрушенных зубов в относительно короткие сроки. При этом срок службы и надежность конструкции не уступает классической конструкции, литой культевой штифтовой вкладки в комбинации с искусственной коронкой.



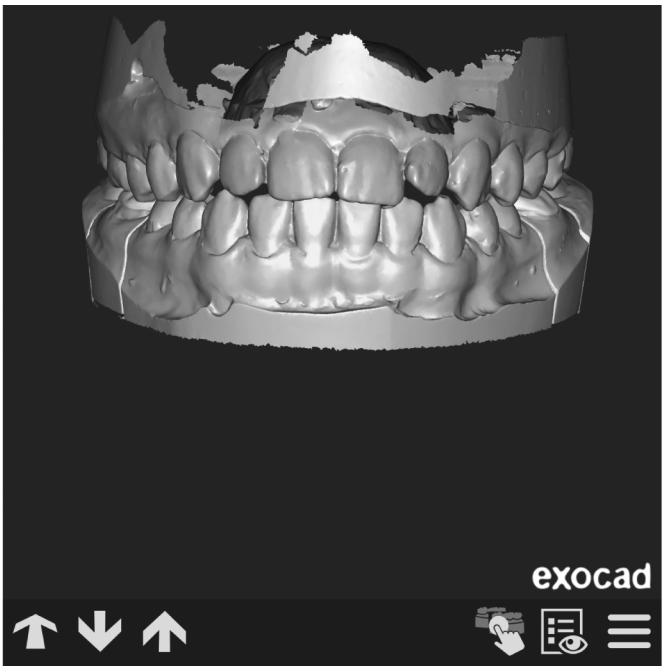


Рис. 4. Вид будущей ортопедической конструкции после окончательного моделирования

сти рта пациента проводим планирование и моделирование будущей конструкции с учетом апроксимальных и окклюзионных контактов (рис 4).

Закончив моделирование фрезеруем устройство для восстановления разрушенной коронки во фрезерном станке и проводим окончательную синтеризацию конструкции (рис. 5)

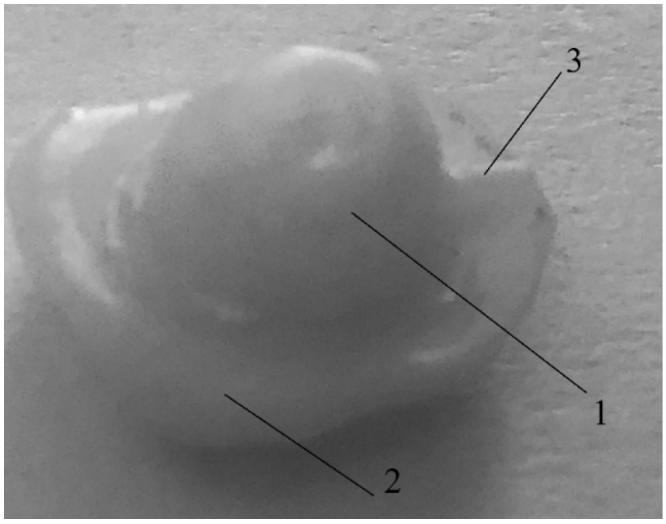


Рис. 5. Устройство для восстановления разрушенной коронки боковых зубов: 1 — фиксирующая часть, 2 — восстанавливающая часть, 3 — направляющий выступ (фото)

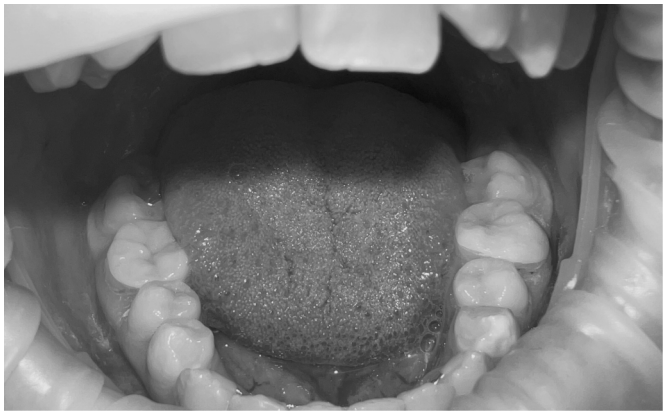


Рис. 6. Пациент Ч., 34 года, фото полости рта после проведенного ортопедического лечения

ЛИТЕРАТУРА

1. Кретов И.В. Использование восстанавливающих вкладок в клинике ортопедической / И.В. Кретов, С.М. Донченко, Н.А. Вершинин [и др.] // Авиценна. — 2021. — №. 81. — С. 11–13.
2. Нестеров А.М. Анализ ортопедического лечения пациентов культевыми штифтовыми вкладками с искусственными коронками по данным архивных материалов крупной стоматологической поликлиники / А.М. Нестеров, М.И. Садыков, М.Р. Сагиров // The Scientific Heritage. — 2021. — 76-1. — С. 17–20.
3. Садыков М.И., Эртесян А.Р. Современные аспекты протезирования больных с низкими и разрушенными клиническими коронками зубов (обзор литературы) / М.И. Садыков, А.Р. Эртесян // Аспирантский вестник Поволжья. — 2015. — 1-2. — С. 174–181.
4. Низкие клинические коронки зубов и их встречаемость у пациентов с различными видами прикусов \ М.С, Сердюков, Н.Н. Аболмасов, И.Г. Массарский [и др.] // Вестник Витебского государственного медицинского университета. — 2018. — Т. 17. — №. 1. — С. 100–106.
5. Николаев А.И. Постэндодонтическая реставрация зубов: биомеханические, технологические и клинические аспекты / А.И. Николаев, Д.А. Глебова, Н.С. Орехова // Институт стоматологии. — 2018. — №. 80. — С. 56–58.
6. Новак Н.В. Применение штифтов различного типа при реставрации коронки зуба (Обзор) / Н.В. Новак // Стоматологический журнал. — 2018. — Т. 19. — №. 4. — С. 288–293.
7. Способы ортопедического лечения пациентов с разрушенными клиническими коронками опорных зубов. Обзор литературы / С.И. Гажва, А.И. Тетерин, Ж.С. Просвиркина [и др.] // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». — 2021. — Т. 23. — №. 10. — С. 56–63.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.16

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГАЩЕННОЙ ТРОМБОЦИТАМИ ПЛАЗМЫ В ЛЕЧЕНИИ ЛОЖНЫХ СУСТАВОВ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

EFFICACY OF PLATELET-RICH PLASMA APPLICATION IN THE TREATMENT OF TIBIAL NONUNION

G. Kesyan
O. Kesyan
T. Latyrova
R. Urazgildeev
G. Karapetyan
I. Arsenyev
E. Vanyan
F. Pashkov

Summary. Tibial nonunion is a severe orthopedic condition characterized by impaired fracture healing and a significant decline in patients' quality of life. This study evaluates the effectiveness of platelet-rich plasma (PRP) application in treating post-traumatic tibial nonunion. A total of 52 patients were included in the study, divided into two groups: the PRP-treated group and the control group. Assessment was based on radiographic findings, clinical indicators, and functional outcomes. The analysis demonstrated that PRP significantly accelerates bone healing, reduces consolidation time, and promotes functional recovery. However, no statistically significant differences in long-term functional outcomes were observed between the groups. The study confirms the feasibility of using PRP as an adjunctive method in the complex treatment of nonunions, enhancing bone regeneration processes.

Keywords: nonunion, tibial fracture, platelet-rich plasma, PRP, bone regeneration, orthopedic surgery, osteosynthesis methods.

Кесян Гурген Абавенович
доктор медицинских наук, Врач травматолог-ортопед, зав. 8-м травматолого-ортопедическим отделением, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
Кесян Овсеп Гургенович
кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, старший научный сотрудник, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
offsep@yandex.ru
Латырова Тамара Тагировна
Врач-стажер травматолог-ортопед, ординатор, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
latyrova.tamara@yandex.ru
Уразгильдеев Рашид Загидуллович
доктор медицинских наук, Врач травматолог-ортопед, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
Карапетян Григорий Сергеевич
кандидат медицинских наук, Врач травматолог-ортопед, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
Арсеньев Игорь Геннадьевич
кандидат медицинских наук, Врач травматолог-ортопед, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
Ванян Эдуард Сергеевич
Аспирант, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»
Пашков Феодор Сергеевич
Аспирант, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова»

Аннотация. Ложные суставы большеберцовой кости представляют собой серьезную ортопедическую проблему, характеризующуюся нарушением консолидации перелома и значительным снижением качества жизни пациентов. В данной работе проведен анализ эффективности применения обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP) при лечении посттравматических ложных суставов. В исследовании приняли участие 52 пациента, разделенных на две группы: основную (с PRP) и контрольную. Оценка проводилась на основе рентгенологических данных, клинических показателей и функциональных результатов. Анализ продемонстрировал, что применение PRP значительно ускоряет процесс сращения костных отломков, снижает сроки консолидации и способствует восстановлению функции конечности. Однако статистически значимой разницы в долгосрочных функциональных результатах между группами выявлено не было. Исследование подтверждает целесообразность использования PRP в комплексной терапии ложных суставов как метода, улучшающего процессы регенерации костной ткани.

Ключевые слова: ложный сустав, большеберцовая кость, обогащенная тромбоцитами плазма, PRP, регенерация кости, ортопедическая хирургия, методы остеосинтеза.

Введение

По данным исследований, ложные суставы и дефекты длинных костей нижних конечностей представляют собой группу осложнений различных повреждений опорно-двигательного аппарата, и в структуре общей инвалидности при травмах на долю пациентов данной нозологической формы приходится 7,8–33,1 % случаев [1]. По оценкам, доля нарушенного сращения большеберцовой кости составляет 2,5–11 % от всех переломов большеберцовой кости, что является самым высоким показателем среди всех длинных трубчатых костей [2].

Ложный сустав представляет собой полиморфное патологическое состояние, характеризующееся замедлением процессов консолидации перелома при наличии условий, способствующих формированию патологической подвижности в пределах поврежденного сегмента конечности. Данное состояние сопровождается нарушением кровообращения в области костных отломков и стойкими гемодинамическими изменениями в пораженном сегменте. При этом свободные концы костных фрагментов выполняют функцию псевдосуставных поверхностей, а роль суставной капсулы берет на себя образующаяся соединительнотканная структура, нередко содержащая синовиальную жидкость [3].

В обогащенной тромбоцитами плазме (PRP) концентрация клеточных элементов в несколько раз превышает физиологический уровень [4]. Биологическая активность PRP основана на постепенном и сбалансированном высвобождении пула белков и факторов роста таких, как тромбоцитарный фактор роста (PDGF), трансформирующий фактор роста бета (TGF-β), инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-1), фактор роста фибробластов (FGF-b), фактор роста эндотелия сосудов (VEGF) и эпидермальный фактор роста (EGF), которые, в свою очередь, играют важную роль в заживлении и регенерации костной ткани [4–6].

В данном исследовании целью был сравнительный анализ результатов лечения ложного сустава большеберцовой кости, с использованием современных стратегий стимуляции консолидации таких как PRP (plated rich plasma — обогащенная тромбоцитами плазма) с исследованием эффективности данной технологии. Для целей данного исследования мы определили «ложный сустав», как отсутствие формирования консолидации на линии перелома в течение как минимум 9 месяцев и отсутствие признаков заживления перелома в течение 3 месяцев.

Пациенты и методы

В качестве критериев включения явились наличие посттравматического асептического ложного сустава в течение как минимум 9 месяцев и отсутствие рентгенологических признаков срастания переломов в течение последних 3 месяцев. Критериями исключения стали — ложный сустав вследствие патологического перелома, наличие системной инфекции, наличие аутоиммунных и неопластических заболеваний. Были ретроспективно проанализированы пациенты с ложным суставом большеберцовой кости, прошедшие лечение с 2011 по 2020 годы. В соответствии с критериями включения и исключения в исследовании были задействованы 52 пациента. Пациенты были разделены на две группы, в одной из которых интраоперационно применена имплантация PRP.

В группе с имплантацией PRP было 27 пациентов, а в контрольной группе — 25 пациентов. Обе группы сравнивались по демографическим характеристикам, времени срастания переломов и функциональным показателям. Были получены предоперационные стандартные рентгенограммы в переднезадней и боковой проекциях и проведена компьютерная томография в тех случаях, когда были выявлены сомнения в заживлении кортикального слоя.

При формировании хирургического доступа было отмечено, что дифференцировка тканей снижена, анатомические структуры смещены, деформированы, рубцово изменены. Для лучшей визуализации зоны ложного сустава, а также репозиции костных отломков с целью устранения осевой и ротационной деформации, большеберцовая кость в зоне ложного сустава скелетировалась циркулярно. Во всех случаях производилось вскрытие костномозговых каналов с удалением рубцовых тканей и костных фрагментов. Склерозированные концы костных отломков этапно резецировались на протяжении 0,3–2 см до жизнеспособного участка ткани. Жизнеспособность оценивалась по наличию капельного просачивания из поверхности сечения кости после резекции, являющегося признаком сохранившейся васкуляризации. Резекция предпочтительно производилась костными кусачками, а не электропилой, для снижения теплового воздействия на кость. После восстановления оси голени производился металлоостеосинтез. Во всех случаях произведен остеосинтез пластиной с угловой стабильностью. Данный метод фиксации выбран, как единственный позволяющий добиться абсолютной стабильности. При наличии костных дефектов в зоне контакта костных отломков, производилась костная аутопластика трансплантатом из гребня подвздошной кости с одновременной имплантацией PRP-геля. Также, во всех случаях первым этапом выполнялась остеотомия м/б кости на границе в/3 и с/3. Это давало возможность выполнить репозицию, устранить деформацию и добиться необходимой компрессии после резекции зоны ложного сустава. Остеотомия производилась с учетом анатомо-топографических особенностей малоберцового нерва.

Пациенты в обеих группах находились под наблюдением до тех пор, пока не произошла консолидация перелома. Наблюдение проводилось каждые 3 месяца после операции. В последующие периоды были проведены рентгенологические исследования. Было принято во внимание появление рентгенологических признаков срастания переломов.

Шкала LEFS (Lower Extremity Functional Scale — функциональная шкала для нижних конечностей) была использована для оценки функциональных возможностей пациентов на заключительном этапе наблюдения. В интра- и послеоперационном периодах развитие осложнений не отмечалось. Применение PRP не привело к увеличению времени операции и осложнениям ни у одного из пациентов. Полная консолидация переломов была достигнута у всех пациентов.

Данные, полученные в результате исследования, были статистически обработаны с помощью стандартных программ. В качестве описательных статистических методов при оценке данных использовались число, процент, среднее значение и стандартное отклонение.

Данные анализировали в SPSS v.26. Количественные переменные представлены как среднее ± стандартное отклонение (SD), категориальные — как n (%). Для сравнения групп использовали t-критерий Стьюдента (нормальное распределение) и U-критерий Манна-Уитни (ненормальное распределение). Категориальные переменные сравнивали с помощью χ^2 или точного критерия Фишера. Многофакторный регрессионный анализ провели для оценки влияния PRP, возраста и типа псевдоартроза на время консолидации. Уровень значимости: $p < 0,05$.

Параметр	Группа PRP (n=27)	Контрольная группа (n=25)	Статистическая значимость (p-value)
Пол			
Мужчины (%)	14 (51,8 %)	15 (60,0 %)	0,632
Женщины (%)	13 (48,2 %)	10 (40,0 %)	
Возраст			
	50,5 (25–77) лет	48,9 (25–75) лет	0,894
Тип псевдоартроза			
Атрофический псевдоартроз (%)	18 (64,3 %)	18 (68,0 %)	0,598
Гипертрофический псевдоартроз (%)	9 (35,7 %)	7 (32,0 %)	
Механизм травмы			
Дорожно-транспортное происшествие (%)	17 (57,2 %)	13 (43,0 %)	0,776
Падение (%)	15 (42,8 %)	12 (57, 0 %)	
Тип перелома			
Открытый перелом (%)	2 (7,1 %)	1 (10,0 %)	0,619
Закрытый перелом (%)	25 (92,9 %)	24 (90,0 %)	

Из 52 пациентов, включенных в исследование, 26 (45,8 %) были мужчинами и 26 (54,2 %) — женщинами. Из 27 пациентов в группе PRP 14 (51,8 %) были мужчинами и 13 (48,2 %) — женщинами, в то время как 15 (60,0 %) из 25 пациентов в контрольной группе были мужчинами и 10 (40 %) — женщинами. Статистически значимой разницы между двумя группами по признаку пола не было (p:0.632). Средний возраст пациентов в группе PRP составил 50,5 лет (диапазон: 25–77 лет), по данным средний возраст пациентов в контрольной группе составил 48,9 (диапазон: 25–75) (p: 0,894). В группе PRP у 18 (64,3 %) пациентов из псевдоартрозов были атрофический псевдоартроз и у 9 (35,7 %) был гипертрофический псевдоартроз. В контрольной группе у 18 (68,0 %) пациентов был атрофический псевдоартроз, а у 8 (32,0 %) пациентов — гипертрофический псевдоартроз. Статистически значимых различий между двумя группами по типам псевдоартроза выявлено не было (p: 0,598). Механизм травмы был обусловлен дорожно-транспортным происшествием у 15 (57,2 %) пациентов в группе PRP и у 13 (43,0 %) пациентов в группе PRP. Пациенты в контрольной группе: 1 пациент (7,1 %) в группе PRP и 1 пациент (10,0 %) в контрольной группе получили перелом в результате дорожно-транспортного происшествия, не связанного с транспортным средством. Падение стало причиной травма у 5 (35,7 %) пациентов в группе PRP и у 4 (40,0 %) пациентов в контрольной группе. В то время как у 2 (7,1 %) пациентов в группе PRP был открытый перелом, у 25 (92,9 %) пациентов был закрытый перелом, у 1 (10,0 %) пациента в контрольной группе был открытый перелом, и у 24 (90,0 %) пациентов был закрытый перелом. Не было выявлено различий между двумя группами по типу перелома (p: 0,619) и типу травмы (p: 0,776)

Подготовка и применение PRP

Накануне операции или непосредственно перед операцией в лаборатории переливания крови у пациента производился аутозабор крови в количестве 450 мл.

В аппарате «Hettich» ROTOSILENTA производилось двукратное центрифугирование аутокрови.

Первым этапом аутокровь центрифугировалась в течение 5 минут со скоростью 2300 оборотов, в результате чего происходило разделение эритроцитарной массы от плазмы.

Вторым этапом плазма крови центрифугировалась на 4000 оборотов на 5 минут, убиралась надосадочная жидкость, после чего в стерильном пакете оставалась плазма богатая тромбоцитами в количестве 20 мл

В результате двукратного центрифугирования количество тромбоцитов возрастало более чем в три раза. Так, исходная концентрация тромбоцитов в крови пациентов в среднем составила 232 тыс./мкл и находилась в пределах от 182 тыс./мкл до 441 тыс./мкл, в то время, как в PRP среднее количество тромбоцитов составило 1251 тыс./мкл и находилось в пределах 970–1574 тыс./мкл.

Приготовленная PRP в количестве 20 мл в стерильном пакете доставлялась в операционную непосредственно перед операцией, вскрывалась и размещалась в двух чашках Петри.

В одну чашку добавлялась 0,42 мл хлористого кальция. Через 25–40 минут, от полученной смеси отделялась жидкая фракция, содержащая тромбин и собиралась в шприц. Эта фракция в количестве 2,5 мл добавлялась в другую чашку Петри, где находилась плазма богатая тромбоцитами в количестве 10 мл. В результате получался PRP-гель, который с соблюдением всех правил асептики инкорпорировался в зону ложного сустава.

Результаты

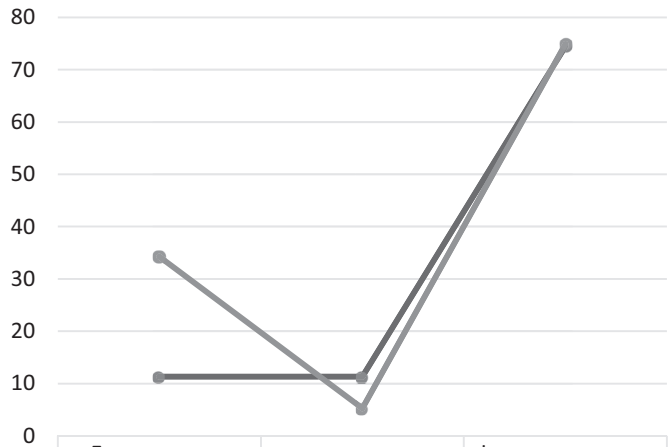
Пятьдесят два пациента, перенесших оперативное вмешательство, вследствие, образования ложного сустава, были разделены на две группы: группу с имплантацией PRP в зону ложного сустава (n: 27) и контрольную группу без использования PRP (n: 25). Сравнение групп осуществлялось по времени консолидации переломов, демографическим характеристикам, а также по клиническим и функциональным результатам.

Стоит отметить, что консолидация перелома достигнута у всех пациентов через 3–8 месяцев. Сроки сращения ложного сустава в основной группе составили значительно меньше времени по сравнению с контрольной группой. Время срастания переломов составило 5,3 ± 1,1 месяца в группе с имплантацией PRP и 11,3 ± 2,4 месяца в контрольной группе.

При последнем наблюдении после сращения переломов не было обнаружено статистически значимой разницы между двумя группами с точки зрения функциональных результатов (LEFS). Через 12 месяцев средний балл LEFS: Группа с имплантацией PRP: 68,2 ± 6,5; контрольная группа: 65,4 ± 7,1; различие незначимо (p = 0,153).

В зависимости от этого результата можно сделать вывод, что PRP — это безопасная биологическая технология, которая демонстрирует высокую эффективность при лечении несращений, но не оказывает существенного влияния на функциональные результаты.

Это может быть объяснено несколькими факторами. Восстановление функциональных показателей требует длительной реабилитации, которая не всегда связана



	Длительность (месяц)	Сращение(месяц)	Функциональные показатели
Группа PRP	11,3	11,3	74,5
Контрольная группа	34,3	5,3	74,9

Рис. 1. Время возникновения ложного сустава, период консолидации и функциональные показатели в группе

с ускорением консолидации. Начальное состояние пациентов (возраст, сопутствующие заболевания) также играет большую роль в восстановлении двигательной активности.

Обсуждение

Результаты, полученные в данном исследовании, согласуются с выводами исследований из Университета естественных наук в Польше. Сначала был проведен эксперимент с использованием аутологичной PRP при лечении искусственных дефектов бедренных костей кроликов. Анализируя полученные данные, авторы отмечали признаки увеличения объема костной ткани в области дефекта в экспериментальной группе, что подтверждает остеоиндуктивное влияние PRP благодаря высокому содержанию факторов роста, таких как VEGF, PDGF и IGF-1, стимуляции ангиогенеза, усиление остеогенеза и улучшение микроциркуляции в зоне перелома [7].

По данным исследования Sanchez et al. (2020) PRP также значительно сокращает время консолидации, так как ускоряет регенерацию и усиливает ангиогенез [8]. Ghafarpasand et al. (2016) сравнили пациентов с ложным суставом, с имплантацией PRP во время операции, с контрольной группой. Было выявлено, что в группе PRP наблюдалась высокая частота сращивания переломов, короткое время консолидации переломов и уменьшение послеоперационных болей по сравнению с контрольной группой [9–10]. В отличие от исследования Ghafarpasand et al. (2016) в нашем исследовании обе группы сравнивались с точки зрения функциональных результатов. Мы не обнаружили каких-либо существенных различий между двумя группами с точки зрения функциональных результатов.

Также в литературе имеются противоречивые результаты ортопедических исследований, вероятно, связанные, вероятно с отсутствием стандартов процессов центрифугирования крови. В обзорных исследованиях показано, что различные методы получения PRP могут приводить к различным клиническим эффектам для пациентов. Из результатов этих исследований очевидна необходимость будущих сравнительных исследований, которые позволили бы оценить многочисленные методы получения PRP, различные варианты использования сопутствующих факторов свертывания крови и методику избирательного получения специфических факторов роста.

Ограничениями нашего исследования являются ретроспективный характер и количество пациентов. В дополнение к группе с имплантацией PRP, могли быть сформированы дополнительные группы сравнения. Примером может служить, использование костных морфогенетических белков и инъекции центрифугата костного мозга. Кроме того, объем исследования возможно расширить и включить оценку экономической эффективности применения PRP.

Вывод

Хирургическое лечение ложного сустава в комбинации с PRP — это эффективный и безопасный метод, позволяющий ускорить консолидацию переломов. Имплантация PRP в область ложного сустава обеспечивает активацию каскада хемотаксических реакций, в результате чего, индуцируется остеогенез. Кроме того, на исход лечения при ложном суставе могут влиять навыки хирурга, сроки проведения операции, выбор пациента и методы фиксации. Необходимо проведение рандомизированных проспективных клинических исследований с использованием адекватных методологических подходов к качеству и высокой статистической достоверности исследования эффективности применения PRP в качестве сопутствующего средства для регенерации костной ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохорова Е.С., Уразгильдеев Р.З., Еремушкин М.А., Колышенков В.А. Современные подходы к лечению пациентов с ложными суставами и дефектами длинных костей нижних конечностей: аналитический обзор // Вестник восстановительной медицины. 2020. №2 (96).
2. Балабанова Р.М., Дубинина Т.В., Демина А.Б., Кричевская О.А. Заболеваемость болезнями костно-мышечной системы в Российской Федерации за 2015-2016 гг. Научно-практическая ревматология. 2018: 56(1): 15–21. DOI: 10.14412/1995-4484-2018-15-21
3. Ортопедия: национальное руководство / под ред. С.П. Миронова, Г.П. Котельникова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. — 944 с. — ISBN 978-5-9704-2448-3.
4. Pulcini S., Merolle L., Marraccini C., Quartieri E., Mori D., Schiroli D., Berni P., Iotti B., Di Bartolomeo E., Baricchi R., Sala R., Pertinhez T.A. Apheresis Platelet Rich-Plasma for Regenerative Medicine: An In Vitro Study on Osteogenic Potential // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, № 16. P. 8764. DOI: 10.3390/ijms22168764. PMCID: PMC8395746. PMID: 34445472.
5. Ehlen Q.T., Costello J.P. II, Mirsky N.A., Slavin B.V., Parra M., Ptashnik A., Nayak V.V., Coelho P.G., Witek L. Treatment of Bone Defects and Nonunion via Novel Delivery Mechanisms, Growth Factors, and Stem Cells: A Review // ACS Biomater. Sci. Eng. 2024. Vol. 10, № 12. P. 7314–7336. DOI: 10.1021/acsbiomaterials.4c01279. PMCID: PMC11632667. PMID: 39527574.
6. Stanca E., Calabriso N., Giannotti L., Nitti P., Damiano F., Di Chiara Stanca B., Carluccio M.A., De Benedetto G.E., Demitri C., Palermo A., Ferrante F., Siculella L., Rochira A. Analysis of CGF Biomolecules, Structure and Cell Population: Characterization of the Stemness Features of CGF Cells and Osteogenic Potential // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, № 16. P. 8867. DOI: 10.3390/ijms22168867. PMCID: PMC8396261. PMID: 34445573.

7. Бурыкин К.И., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В., Светлов Д.В., Говоров М.В., Чемянов И.Г., Просвирин А.А. Возможности и перспективы использования обогащенной тромбоцитами плазмы в лечении переломов и дефектов костей // Политравма. 2020. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-i-perspektivy-ispolzovaniya-obogaschennoy-trombotsitami-plazmy-v-lechenii-perelomov-i-defektov-kostey (дата обращения: 02.03.2025).
8. Ghaffarpasand F., Shahrezaei M., Dehghankhalili M. Effects of Platelet Rich Plasma on Healing Rate of Long Bone Non-union Fractures: A Randomized Double-Blind Placebo Controlled Clinical Trial // Bull Emerg Trauma. 2016. Vol. 4, № 3. P. 134–140. PMCID: PMC4989039. PMID: 27540547
9. Sanchez M, Jorquera C, de la Fuente M, et al. Platelet-rich plasma injections delay the need for operative intervention in young patients with osteochondral lesions of the talus. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2020;28(9):2811–20. doi:10.1007/s00167-020-05866-0.
10. Sanchez M, Anitua E, Delgado D, et al. Platelet-rich plasma, a source of autologous growth factors and biomimetic scaffold for peripheral nerve regeneration. Expert Opin Biol Ther. 2017;17(2):197–212. doi:10.1080/14712598.2017.1259409.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.17

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА ЦИТОКИНОВОЙ БУРИ, КАК УСЛОВИЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЕЕ ОСЛОЖНЕНИЙ НА ФОНЕ СОПУТСТВУЮЩИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ПАЦИЕНТОВ С COVID-19

EARLY DIAGNOSIS OF CYTOKINE STORM, AS A CONDITION FOR PREVENTING ITS COMPLICATIONS AGAINST THE BACKGROUND OF CONCOMITANT DISEASES IN PATIENTS WITH COVID-19

Z. Kisieva
B. Khabieva

Summary. The article presents an analysis of studies in patients with COVID-19 who developed a cytokine storm of varying severity. Possible routes of infection by this virus and their impact on the components of immunity, bothinnate and adaptive, are presented. As a result of processing data sources, it was noted that the presence of concomitant chronic pathologies with regard to the organs of the respiratory, cardiovascular and endocrine systems, as well as metabolic whitening in infected people, significantly increased the frequency and severity of the development of a cytokine storm, due to the already existing inflammatory chronic reaction in them.
The severity of the developed cytokine storm contributed to the development of life-threatening conditions, which often caused death. There were also long-term consequences. Thus, for the prevention and early diagnosis of the development of hyperinflammation, diagnostic methods are provided that are sufficiently highly sensitive, thereby reducing the frequency of cytokine storms and their complications.

Keywords: cytokines, antigens, hyperinflammation, thrombus formation, concomitant diseases, distress syndrome.

Кисиева Залина Ахсарбековна
Доцент, Северо-Осетинская государственная медицинская академия
zalinakisiewa@mail.ru
Хабиева Белла Арсеновна
Старший преподаватель, Северо-Осетинская государственная медицинская академия
habievabella@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ исследований у пациентов с COVID-19 с развившейся цитокиновой бурей в разной степени выраженности. Представлены возможные пути заражения данным вирусом и их влияние на звенья иммунитета, как врожденного, так и и адаптивного. В результате обработки источников данных, было отмечено, что, наличие сопутствующих хронических патологий, касаемо органов дыхательной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, а также, метаболических заболеваний у инфицированных, значительно увеличивал частоту и выраженность развития цитокиновой бури, ввиду уже имеющейся воспалительной хронической реакции у них.
Выраженность развившейся цитокиновой бури способствовала развитию жизнеугрожающих состояний, которые зачастую вызывали летальный исход. Имели место и долгосрочные последствия.
Таким образом, для предупреждения, а также, ранней диагностики развития гиперинфламации приведены методы диагностики, которые являлись достаточно высокочувствительными, тем самым позволяли снизить частоту цитокиновых бурь и их осложнений.

Ключевые слова: цитокины, антигены, гиперинфламация, тромбообразование, сопутствующие заболевания, дистресс-синдром.

Несмотря на снижение уровня заболеваемости, COVID-19 все еще продолжает оставаться актуальной проблемой для здравоохранения.

Хотя пандемия COVID-19 вступила в более управляемую фазу благодаря вакцинации и мерам предосторожности, вирус продолжает циркулировать и вызывать заболевания, особенно среди невакцинированных или частично вакцинированных групп населения. В некоторых регионах случаются вспышки инфекции, что указывает на необходимость постоянного мониторинга и реагирования. Особенностью вируса SARS-CoV-2, вызывающего COVID-19, является мутационная способность, обусловливающая появление новых вариантов, обладающих в свою очередь разной степенью вирулентности [2].

Попадание в организм человека вируса SARS-CoV-2 возможно следующими путями:

— воздушно-капельный путь, посредством мелких капель, которые выделяются изо рта или носа инфицированного человека при кашле, чихании, разговоре или дыхании. Эти капли могут попасть в дыхательные пути другого человека, находящегося вблизи;
— аэрозольный путь, с помощью мелких частиц (аэрозолей), содержащие вирус, способных оставаться в воздухе в течение длительного времени и распространяться на большие расстояния, особенно, в плохо вентилируемых помещениях. Вдыхание этих аэрозолей может привести также к заражению;

— контактный путь, обусловлен прикосновением к поверхности предметов необходимого пользования содержащих капли, выделяемых инфицированным человеком, с последующим касанием своего лица (глаз, носа или рта);
— фекально-оральный путь, менее распространен, но все же имеются данные, что вирус может присутствовать в фекалиях инфицированных людей. Заражение может произойти при несоблюдении гигиенических норм, например, при недостаточном мытье рук, после посещения туалета.

Внедрение в организм данного вируса, как и любого другого вызывает активизацию иммунной системы, подразумевающей сложный многоступенчатый процесс, включающий как врождённый, так и адаптивный иммунитет. Рассматривая каждый из 2-х видов иммунитетов, нужно отметить, что, врожденный иммунитет включает:
— распознавание вируса с помощью эпителиальных клеток, макрофагов, и дендритных клеток, которые могут распознавать вирусные компоненты через специальные рецепторы, называемые паттерн-распознающими рецепторами (PRR), такие как Toll-like рецепторы (TLR);
— выделение цитокинов и хемокинов, которые усиливают воспалительный ответ и привлекают другие иммунные клетки к месту инфекции;
— выработку интерферонов, как ответную реакцию инфицированных данным вирусом клеток хозяина;
— активацию системы комплемента, представленную группой белков, оказывающих антивирусное действие и усиливающих тем самым защиту соседних клеток от инфицирования.

Что касается адаптивного звена иммунитета, то он отвечает за следующие функции:
— презентацию антигена (вируса SARS-CoV-2) Т-клеткам (Т-лимфоцитам), вследствие миграции в лимфатические узлы дендритных клеток осуществляющих поглощение вируса;
— активацию Т-клеток, подразумевающих 2 вида:
— первый, CD8+ Т-клетки (цитотоксические Т-лимфоциты) активируются и начинают уничтожать инфицированные клетки;
— второй, CD4+ Т-клетки (помощники Т-лимфоциты) обеспечивают помощь другим клеткам иммунной системы, включая активацию В-клеток и усиление функции цитотоксических Т-лимфоцитов.

Кроме того, обеспечивает активацию В-клеток, и формирование иммунной памяти Т и В-лимфоцитами, способных сохраняться в организме длительный период, обеспечивая более быстрый и эффективный ответ при повторном инфицировании [17].

Целью нашего исследования явилось изучение данных исследований частоты развития «Гиперинфламмации» или «Цитокиновой бури» у пациентов с COVID-19, имеющих сопутствующие заболевания.

Прослеживается закономерность, обусловленная непременным присутствием признаков «цитокиновой бури» у 10–15 % пациентов с тяжелыми формами COVID-19, которые характеризуются высоким уровнем цитокинов, на фоне воспаления и потенциального осложнения органов. Но при этом стоит отметить, что частота развития «цитокиновой бури» у пациентов с COVID-19 может также варьироваться в зависимости от различных факторов, включая индивидуальные характеристики пациента и другие здоровые состояния.

В большинстве случаев у пациентов с COVID-19 «цитокиновая буря» не развивается или проходит легко. Однако у некоторых пациентов, особенно у тех, у кого тяжелые или критические формы болезни, может возникнуть чрезмерная и неадекватная реакция иммунной системы.

Нами, была прослежена связь, развития более выраженной цитокиновой бури при COVID-19 у пациентов имеющих ряд сопутствующих хронических заболеваний. К таким заболеваниям относятся:
1. **Сердечно-сосудистые заболевания**, в рамках гипертонии, ишемической болезни сердца и сердечной недостаточности, которые уже имели в основе повышенный уровень воспалительных маркеров, таких как С-реактивный белок (CRP), интерлейкины (например, IL-6) и факторы некроза опухолей [23], а также дисфункцию эндотелия, под воздействием данного вируса, еще более усугубляли воспалительные процессы.
2. **Диабет 2 типа**, приводит к дисрегуляции иммунной системы, вследствие развивающегося хронического воспаления, что влекло также повышение продукции провоспалительных цитокинов, а также дисфункции макрофагов [26].
3. **Хронические заболевания легких**, в лице хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) и бронхиальной астмы, характеризующиеся развитием разновыраженной гипоксии, зачастую вследствие нарушения мукоцилиарного клиренса, также способствуют усилению воспалительной реакции, лежащей в патогенетической основе «цитокинового шторма» [8].
4. **Ожирение**: нарушает функции врожденного и адаптивного иммунитета, вызывая дисфункции макрофагов, нейтрофилов и Т-клеток, что приводит к снижению эффективности борьбы с инфекцией и увеличению вероятности развития чрезмерного воспалительного ответа [6, 9, 18].
5. **Иммунодефицитные состояния**: Пациенты с ВИЧ [12], аутоиммунными заболеваниями или

получающие иммуносупрессивную терапию могут иметь более выраженный иммунный ответ.

6. **Заболевания печени и почек**: Хронические заболевания этих органов могут влиять на метаболизм и детоксикацию, что также может усугублять течение инфекции.

Как показывают данные исследований, эти состояния могут способствовать более выраженному воспалению и, как следствие, увеличивать риск развития цитокиновой бури с последующим развитием ее осложнений.

Что касается частоты развития осложнений цитокиновой бури, то она варьируется в зависимости от популяции и тяжести заболевания. По данным различных исследований, у пациентов с тяжелой формой COVID-19 цитокиновая буря может развиваться у 10-30% случаев. Однако точные цифры могут различаться в зависимости от методологии исследования и других факторов.

Среди осложнений цитокиновой бури, наблюдалось развитие жизнеугрожающих состояний, таких как:

1. **Респираторный дистресс-синдром** (ОРДС), как результат воспалительного повреждения легких с последующим развитием острой дыхательной недостаточности [3], требовавший непременно интенсивной терапии.
2. **Системная воспалительная реакция**, способствовала повреждению органов, таким как сердце, почки и печень, влекущих за собой развитие шока и органной недостаточности [23].
3. **Сердечно-сосудистые осложнения**, в контексте, развития миокардита и аритмий [4, 11].
4. **Тромбообразование**, вследствие увеличения воспалительных маркеров, значительно повышался риск тромбозов и эмболий, влекших за собой опасность развития венозной тромбоэмболии и инсульта [5, 7, 14, 25].
5. **Сепсис**: Воспалительная реакция может привести к сепсису [3], что является жизнеугрожающим состоянием, требующим немедленного медицинского вмешательства.
6. **Долгосрочные последствия**, такие как хроническая усталость, проблемы с дыханием, сердечно-сосудистой системой и другие неврологические симптомы, которые будут еще не одно десятилетие регистрироваться у пациентов, перенесших данное вирусное заболевание [11,16].

С целью снижения риска развития осложнений и их последствий, использовались методы ранней диагностики клинических симптомов и лабораторных данных, направленные на выявление признаков возможной гиперактивности иммунной системы, до появления тяжелых симптомов или осложнений.

Наиболее часто, из методов ранней диагностики цитокиновой бури использовались:

1. Изучение клинических симптомов: Внимательный анализ клинических проявлений, таких как повышенная температура тела, сердечная частота, изменения кровяного давления, может дать представление о возможной системной воспалительной реакции [19].
2. Лабораторные тесты: Измерение уровней цитокинов в крови может быть полезным [1]. Это может включать ELISA (ферментативно-связанный иммуносорбентный анализ), PCR (полимеразная цепная реакция) или другие методы анализа, которые позволяют определить уровни конкретных цитокинов, таких как IL-6, TNF-α, или IFN-γ.
3. Инструментальные исследования: Некоторые инструментальные методы, такие как образовательные исследования (например, МРТ, КТ) [20], могут помочь выявить признаки воспаления в органах или тканях, связанные с цитокиновой бурей.

Ранняя диагностика цитокиновой бури, имеет важное значение, для своевременного вмешательства и предотвращения возможных осложнений. В случае подозрения на цитокиновую бурю или гиперинфламмацию, важно консультироваться с медицинским специалистом для проведения соответствующих тестов и оценки состояния пациента [1].

Таким образом, в ходе изучения данных исследований, нами, было установлено, что частота развития цитокиновой бури и риск ее осложнений, была резко повышена у пациентов, имеющих в анамнезе ряд сопутствующих заболеваний, которые уже в своей основе имели воспалительную реакцию.

Общим выводом является то, что более раннее выявление и адекватное лечение позволяли значительно улучшить исходы у пациентов с цитокиновой бурей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Р.Ю. Лабораторные проявления коронавирусной инфекции COVID-19 [Текст] / Р. Ю. Абдуллаев, О. Г. Комиссарова // Врач. — 2020. — № 5. — С. 3–5.
2. Баздырев Е.Д. Корнавирусная инфекция — актуальная проблема XXI века/ Е.Д. Баздырев // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний — 2020. — № 9 (2). — с. 6–16. — DOI: 10.17802/2306-1278-2020— 9-2-6-16.
3. Военнов О.В., Загреков В.И., Ежевская А.А., Прусакова Ж.Б., Гундерчук О.Н., Скородумов В.А. Динамика клинико-лабораторных показателей при острой дыхательной недостаточности у пациентов с COVID-19. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2021;18(3):15–22. https://doi.org/10.21292/2078-5658-2021-18-3-15-22
4. Воробьева О.В. Изменения в органах при инфицировании COVID-19 с развитием септикопиемии. Профилактическая медицина. 2021;
5. 24(10):89–93. https://doi.org/10.17116/profmed20212410189
6. Cugno M, Meroni PL, Gualtierotti R, et al. Complement activation in patients with COVID-19: A novel therapeutic target. J Allergy Clin Immunol. 2020;146(1):215–217. doi: https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.05.006
7. Демидова Т.Ю. Ожирение и COVID-19: фатальная связь [Текст] / Т.Ю. Демидова, Е.В. Волкова, Е.Ю. Грицкевич // Инфекционные болезни (Приложение). — 2020. — № 3. — С. 25–31
8. Eriksson O, Hultström M, Persson B, et al. Mannose-Binding Lectin is Associated with Thrombosis and Coagulopathy in Critically Ill COVID-19 Patients. Thromb Haemost. Published online September 1, 2020. doi: https://doi.org/10.1055/s-0040-1715835
9. Зарянова Е.А., Осипова Г.Л., Осипова В.В. Респираторные вирусные инфекции, SARS-CoV-2 и хроническая обструктивная болезнь легких. Пульмонология. 2022; 32 (4): 616–625. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-4-616-625
10. Избыточная масса тела, метаболический синдром и течение COVID-19 [Текст] // Consilium medicum . — 2020. — № 10. — С. 9–11
11. Inciardi RM, Lupi L, Zaccone G, et al. Cardiac Involvement in a Patient With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). JAMA Cardiol. 2020;5(7):819–824. doi: https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1096
12. Козлов И.А. Сердечно-сосудистые осложнения COVID-19 [Текст] / И. А. Козлов, И. Н. Тюрин // Вестник анестезиологии и реаниматологии. — 2020. — № 4. — С. 14–22.
13. Капустин Д.В., Краснова Е.И., Хохлова Н.И., Кузнецова В.Г., Тырышкин А.И., Позднякова Л.Л. Современные аспекты COVID-19 у ВИЧ-инфицированных (обзор литературы). Journal of Siberian Medical Sciences. 2022;(4):145–160. https://doi.org/10.31549/2542-1174-2022-6-4-145-160
14. Liu K, Fang YY, Deng Y, Liu W, Wang MF, Ma JP, et al. Clinical characteristics of novel coronavirus cases in tertiary hospitals in Hubei Province. Chin Med J. 2020;133(9):1025–1031. PMID: 32044814 https://doi.org/10.1097/ CM9.0000000000000744
15. Лаврентьева А. Тромбоэмболические осложнения при заболевании COVID-19, коротко об изменениях в рекомендациях [Текст] / А. Лаврентьева, С. Тсотсолис // Вестник анестезиологии и реаниматологии. — 2021. — №1. — С. 37–46
16. Недогода С.В. Сердечно-сосудистая патология и COVID-19: кратко о главном [Текст] / С.В. Недогода // Consilium medicum (Кардиология). — 2020. — № 5. — С. 19–21
17. Oliviero A, de Castro F, Coperchini F, et al. COVID-19 pulmonary and olfactory dysfunctions: is the chemokine CXCL10 the common denominator? Neuroscientist. 2020;27(3):214–21. DOI:10.1177/1073858420939033
18. Румянцев А.Г. Гуморальный и клеточный ответ на SARS-CoV-2 у больных COVID-19 [Текст] / А.Г. Румянцев // Педиатрия. — 2021. — №2. — С. 17–21
19. Романцова Т.И., Сыч Ю.П. Иммунометаболизм и метавоспаление при ожирении. Ожирение и метаболизм. 2019;16(4):3–17. https://doi.org/10.14341/omet12218
20. Симутис И.С., Ратников В.А., Щеглов А.Н., Николаева О.В., Бояринов Г.А., Сапегин А.А., Гайковая Л.Б., Евтеева Д.А., Замятина К.Н. Системный воспалительный ответ и опосредованная COVID-19 эндотелиальная дисфункция — общие пути решения. Терапевтический архив. 2023;95(6):487–493. DOI: 10.26442/00403660.2023.6.202232
21. Сперанская А.А., Осипов Н.П., Лыскова Ю.А., Амосова О.В. КТ-диагностика последствий COVID-19 поражения легких. Лучевая диагностика и терапия. 2021;12(4):58–64. https://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-58-64
22. Сургалиев А.Б. Поражения сердца у больных COVID-19 [Текст] / А.Б. Сургалиев // Кардиология. — 2021. — № 4. — С. 15–23
23. Сережина Е.К., Обрезан А.Г. Патофизиологические основы и диагностика поражений сердечно-сосудистой системы при коронавирусной инфекции. Кардиология. 2022;62(3):82–88. https://doi.org/10.18087/cardio.2022.3.n1468
24. Sun X, Wang T, Cai D, et al. Cytokine storm intervention in the early stages of COVID-19 pneumonia. Cytokine Growth Factor Rev. 2020;53:38–42. doi: https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2020.04.002
25. Чазова И.Е. COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания [Текст] / И.Е. Чазова, О.Ю. Миронова // Терапевтический архив. — 2020. — № 9. — С. 4–7
26. Zhou F, Yu T, Du R, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. Lancet. 2020;395(10229):1054–1062. doi: https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3
27. Шестакова М.В., Мокрышева Н.Г., Дедов И.И. Сахарный диабет в условиях вирусной пандемии COVID-19: особенности течения и лечения. Сахарный диабет. 2020;23(2):132–139.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.18

АНАЛИЗ КЛИНИЧЕСКИХ КЕЙСОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

ANALYSIS OF CLINICAL CASES OF CARDIOVASCULAR DISEASES

S. Kurovsky
D. Mishin
V. Lazareva

Summary. This article reveals the results of the analysis of clinical cases of cardiovascular diseases. The issues reflected in the article are particularly relevant in the context of the need to form a clinical and medical approach to the detection and treatment of cardiovascular diseases and related internal diseases of people. The purpose of the scientific study is to analyze clinical cases of cardiovascular diseases diagnosed in citizens. To achieve this goal, the article provides characteristics of patients suffering from cardiac ischemia, indicates the influence of the neurofactor in the development of cardiac ischemia in people, and analyzes the functional diagnostics of Fabry disease in patients with a cardiological profile.

Keywords: cardiovascular diseases, internal diseases, functional diagnostics, clinical cases, cardiology patients, influence of neurofactor, cardiac ischemia, clinical and medical approach.

Куровский Станислав Валерьевич
руководитель научно-исследовательского подразделения ООО «Высшая Школа Образования»
8917564@gmail.com
Мишин Денис Александрович
руководитель редакционно-издательского отдела ООО «Высшая Школа Образования»
9651530@gmail.com
Лазарева Вера Викторовна
кандидат медицинских наук, ФГБОУ «Российский государственный социальный университет»
Eleny@mail.ru

Аннотация. В данной статье раскрываются результаты анализа клинических кейсов заболеваний сердечно-сосудистой системы. Отражаемые в статье вопросы приобретают особую актуальность в условиях необходимости формирования клинико-медицинского подхода к обнаружению и лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы и взаимосвязанных с ними внутренних болезней людей. Цель научного исследования состоит в анализе клинических кейсов заболеваний сердечно-сосудистой системы, диагностированных у граждан. Для достижения поставленной цели в статье приведены характеристики пациентов, страдающих ишемией сердца, обозначено влияние нейрофактора в развитии ишемии сердца у людей, а также проанализирована функциональная диагностика болезни Фабри у пациентов кардиологического профиля.

Ключевые слова: заболевания сердечно-сосудистой системы, внутренние болезни, функциональная диагностика, клинические кейсы, пациенты кардиологического профиля, влияние нейрофактора, ишемия сердца, клинико-медицинский подход.

Введение

В соответствии со стандартом ВОЗ ишемия сердца представляет собой повреждение миокарда, которое определяется дисбалансом между потребностями в кислороде и коронарным кровотоком. Причинами дисбаланса, как правило, являются органические поражения и функциональные изменения коронарных артерий [11]. В указанной дефиниции отсутствует взаимовлияние ишемии сердца и иных внутренних болезней и психофизиологических расстройств пациентов, кроме того, существование атеросклероза не приравнивается к заболеванию ишемии сердца.

Вместе с тем, обращаясь к российским клиническим рекомендациям [3], авторы отмечают, что под ишемией сердца понимаются нарушения в работе миокарда, которые обусловлены повреждением коронарных артерий, появляются на фоне необратимых и преходящих изменений в организме человека.

В соответствии с зарубежными клиническими рекомендациями во взаимосвязи с ишемией сердца применялись разные понятия, например, хронические синдромы коронарных артерий, изменения коронарных артерий [9]. Позднее был утвержден новый согласительный клинико-медицинский стандарт, исходя из которого появляется термин «ишемия, связанная с необструктивным поражением коронарных артерий» [10].

Следовательно, в современных условиях недостаточно проработаны вопросы, связанные с определением компонентов клинико-медицинского подхода и критериев функциональной диагностики ишемии сердца и связанных с данным заболеванием внутренних болезней пациентов. Кроме того, отмечается размытость концепции диагностирования ишемии сердца, что подразумевает её более свободное трактование в случае смерти пациента, у которого была при жизни установлена либо не была установлена ишемия сердца.

Резюмируя вышеизложенное, актуальность данного научного исследования определяется необходимостью формирования характеристик пациентов, страдающих ишемией сердца, для более глубокого понимания на уровне российского населения причин смерти людей, увеличения результативности реализуемых медицинских программ, а также организации функциональной диагностики, планирования, лечения пациентов, страдающих ишемией сердца, в целях минимизации параметра смертности в стране.

Основополагающей причиной внутренних болезней граждан выступает ишемия сердца во взаимосвязи с депрессивными расстройствами [7]. Данная взаимосвязь обусловлена тем, что, как ишемия сердца, так и депрессивное расстройство, обладают достаточно высокой степенью коморбидности — около 20 % [4]. У пациентов, страдающих ишемией сердца, распространенность депрессивных расстройств составляет 49 % [12]. Вместе с тем в настоящее время исследователями до конца не проработаны патологические пути, которые обусловливают взаимосвязь между ишемией сердца и депрессивными расстройствами таких пациентов. Выявление этих патологических путей нужно для того, чтобы сформировать эффективный клинико-медицинский подход к осуществлению терапевтических процедур. Их цель — увеличить уровень качества социальной жизни граждан, а также улучшить исход течения ишемии сердца [13].

Хотя в течение последнего десятилетия были внедрены новые терапевтические процедуры и стратегии лечения пациентов кардиологического профиля, ишемия сердца на данный момент выступает наиболее распространённой среди сердечно-сосудистых заболеваний в международном сообществе [8]. В этот же отрезок времени возросло количество научных исследований биологических маркеров воспаления у пациентов, страдающих ишемией сердца [5]. В качестве таких выделены С-реактивный белок, фибриноген, интерлейкины, молекулы клеточной адгезии, иризин [6]. Одновременно с этим особое внимание исследователей было сконцентрировано на влиянии нейрофактора на ишемию сердца как маркера внутреннего воспаления в организме человека [1]. При этом нейрофактор также рассматривался как маркер депрессивного расстройства. Соответственно, имеется необходимость обозначения влияния нейрофактора на развитие ишемии сердца у граждан, страдающих депрессивными расстройствами.

Болезнь Фабри является наследственной, как правило, проявляется у женщин, имеющих Х-доминантный тип наследования болезней лизосомной группы. При наличии болезни Фабри ишемия сердца выступает одной из причин клинической смерти у людей [2]. Болезнь Фабри в медико-клинической практике встречается достаточно редко, следовательно, врачи обладают низкой осведомленностью о рассматриваемой болезни. Это способствует поздней функциональной диагностике болезни Фабри и отсутствию своевременной лечебной терапии. Поэтому нужно проанализировать функциональную диагностику болезни Фабри у пациентов кардиологического профиля.

Цель работы — анализ клинических кейсов заболеваний сердечно-сосудистой системы, диагностированных у граждан.

Для достижения поставленной цели в статье необходимо решить следующие задачи:

1. Представить характеристики пациентов, страдающих ишемией сердца.
2. Обозначить влияние нейрофактора в развитии ишемии сердца у людей.
3. Проанализировать функциональную диагностику болезни Фабри у пациентов кардиологического профиля.

Новизна данного научного исследования состоит в выделении компонентов клинико-медицинского подхода к обнаружению и лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы и взаимосвязанных с ними внутренних болезней людей на основе результатов анализа клинических кейсов заболеваний сердечно-сосудистой системы, диагностированных у граждан.

Материалы и методы

Автором статьи для определения характеристик пациентов, страдающих ишемией сердца, а также влияния нейрофактора в развитии ишемии сердца у людей использовались методы индукции, дедукции, сопоставления, систематизации, системный подход, Шкала депрессии Бака, клинический анализ крови (расширенный), математические методы обработки информации, анализ документов — заключений о смерти пациентов.

Для проведения анализа функциональной диагностики болезни Фабри у пациентов кардиологического профиля был осуществлен анализ теоретических и эмпирических источников академической литературы, ретроспективный анализ, анализ документов, отражающих клиническую картину болезни Фабри, её проявления у пациентов, которые страдают также внутренними заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Характеристики пациентов, страдающих ишемией сердца

В соответствии с исследованием заключений о клинической смерти пациентов (общий объём — 23 тыс. заключений) было обнаружено, что наиболее высокий удельный вес клинических смертей пациентов был кон-

статирован во внестационарных условиях — 69,7 %. В рамках данного исследования не исключается момент того, причиной внезапной клинической смерти граждан в общественных местах, автомобилях выступает остановка сердца, аритмия. Тем не менее, это крайне сложно опровергнуть либо подтвердить, несмотря на осуществление патологоанатомического исследования. Данный вывод подтверждается информацией о том, что приблизительно 90 % граждан, не достигших 50 лет, умирают во внестационарных условиях. Другими словами, имеется крайне низкая степень вероятности обнаружения болезни ишемии сердца без госпитализации пациентов. Обозначенный параметр сокращается у граждан, достигших 50–85 лет, однако для более старших возрастных групп удельный вес повышается. Как правило, в заключениях указывает диагноз острой формы ишемии сердца, например, сердечная недостаточность.

У 40 % мужчин и 50 % женщин отражены хронические формы ишемии сердца, в частности, кардиосклероз, атеросклероз. При этом количество подобных случаев сопоставимо количество случаев, в которых были зафиксированы аневризма сердца, кардиомиопатия. Около 90 % рассмотренных клинических случаев — диагностирование сердечной недостаточности, фибрилляции желудочков.

Анализ медицинских документов, осуществленных авторами, позволил установить отсутствие конкретных критериев диагностирования различных форм ишемии сердца в случае смерти пациента:

— внезапная, при этом у пациента в ходе жизни не была обнаружена ишемия сердца (подобный диагноз отсутствовал);
— острая форма ишемии сердца при использовании эндоваскулярных методов, осуществлении хирургических вмешательств либо при отсутствии каких-либо вмешательств;
— хроническая сердечная недостаточность (может быть прогрессирующей);
— хронические формы ишемии сердца при использовании инвазивных методов медицинского лечения пациентов.

Вместе с тем ишемия сердца, её проявления, могут быть взаимосвязаны с иными внутренними болезнями и патологиями, например, на фоне алкоголизма у молодежи либо амилоидоза сердца (который своевременно не был диагностирован у граждан старше 65 лет).

Поэтому в рамках данного научного исследования первый компонент клинико-медицинского подхода к обнаружению и лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы и взаимосвязанных с ними внутренних болезней людей — включение функциональной гипердиагностики ишемии сердца в протокол обследования граждан. Такая функциональная диагностика подразумевает обнаружение различных форм ишемии сердца на ранних стадиях, причин, обусловивших заболевание сердечно-сосудистой системы, что приведет к своевременному назначению лечебных мероприятий и сокращению параметра смертности пациентов кардиологического профиля.

Влияние нейрофактора в развитии ишемии сердца

Один из основных моментов обозначения влияния нейрофактора на развитие ишемии сердца — как ишемия сердца, так и депрессивные расстройства обусловлены двухсторонней кормобидностью. В патогенез депрессивных расстройств и ишемии сердца вовлечен нейрофактор, он же воздействует на кормобидность течения данных внутренних болезней человека.

Эмпирическая база исследования: 49 пациентов кардиологического профиля ГБУЗ «ГКБ им. Д.Д. Плетнёва ДЗМ», у которых диагностирована ишемия сердца в различных формах.

При исследовании роли нейрофактора в развитии ишемии сердца во взаимосвязи с депрессивными расстройствами были обнаружены следующие результаты:

— по сыворотке крови была определена взаимосвязь между нейрофактором (белком, его молекулярная масса — 14 кДа, он относится к группе нейротрофинов) и ишемией сердца ($p = 0.02$), одновременно с этим отсутствовала значимая взаимосвязь между нейрофактором и депрессивным расстройством;
— у статистической выборки концентрация нейрофактора была минимальной (при том, что уровень депрессии пациентов превышал 7 баллов по Шкале депрессии Бака);
— после того, как из клинического анализа крови (расширенного) были исключены все искажающие результат факторы, полученное значение стало статистически незначимым ($p = 0.15$).

На нейрофактор пациентов воздействуют разные факторы, которые целесообразно учитывать при обследовании пациентов кардиологического профиля. В связи с существованием огромного количества патологических нарушений, обусловленных влиянием нейрофактора, а именно нейродегенеративные внутренние болезни, сердечно-сосудистые заболевания, безусловно, необходимо с высокой точностью учитывать сопутствующие внутренние болезни.

Соответственно, второй компонент клинико-медицинского подхода к обнаружению и лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы и взаимосвязанных с ними внутренних болезней людей — изучение ком-

плекса перспективных систем, способных раскрыть влияние нейрофактора на развитие ишемии сердца:

— генетический компонент изучения влияния нейрофактора на развитие ишемии сердца во взаимосвязи с проявлениями депрессивных расстройств. Ген нейрофактора вовлечен в развитие ишемии сердца, увеличивает склонность пациента к тромбозу, который, в свою очередь, взаимосвязан с инфарктом. Носитель гена нейрофактора, взаимосвязанного с увеличенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, отражает существование нарушения сократимости кардиомиоцитов;
— гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система (ГГНС). Депрессивные расстройства у пациентов взаимосвязаны с гиперактивной ГГНС, а также патологиями регуляции нервно-мышечных процессов в условиях хронической формы депрессивного расстройства. У пациентов кардиологического профиля, которые не имели депрессивного расстройства, наблюдалось уменьшение адропина, иризина, препитина и гена нейрофактора. Аналогичный результат был выявлен у пациентов кардиологического профиля, которые имели депрессивное расстройство, за исключением препитина. Вместе с тем ген нейрофактора и иризин вовлечены в процесс дисбаланса энергетического гомеостаза, который появляется при наличии у пациента депрессивного расстройства;
— значительная активация тромбоцитов в организме человека. В условиях хронической формы депрессивного расстройства рецепторы тромбоцитов у таких пациентов активируются, что способствует развитию ишемии сердца. Возникает повышенный риск тромбофлебита, тромбозов разной этиологии, являющихся ключевыми причинами клинической смерти пациентов кардиологического профиля. В данном случае белок рилин, имеющийся в тромбоцитах крови, участвует в позиционировании стволовых клеток мозга. При значительной активации тромбоцитов в организме человека с депрессивным расстройством способствует истощению ресурсов головного мозга, резервуаров нейрофактора, что негативным образом воздействует на стабильность тромбов и эндотелиальную функцию.

Анализ функциональной диагностики болезни Фабри у пациентов кардиологического профиля

Клинический кейс. Пациент — Виктор, 52 года. Жалобы пациента: учащенное сердцебиение, быстрая утомляемость, одышка при умеренной двигательной активности. В 2014 году был установлен диагноз гипертрофии миокарда левого желудочка. В 2017 году — аритмия сердца. В 2018 году — посредством экстренной госпитализации был восстановлен синусовый ритм пациента, однако установлен диагноз слабости синусовых узлов второго типа. В качестве причины гипертрофии миокарда левого желудочка была принята дилатация левого предсердия. Повышенная нагрузка на миокард отсутствовала. Не обнаружены нарушения работы крупных сосудов в организме пациента.

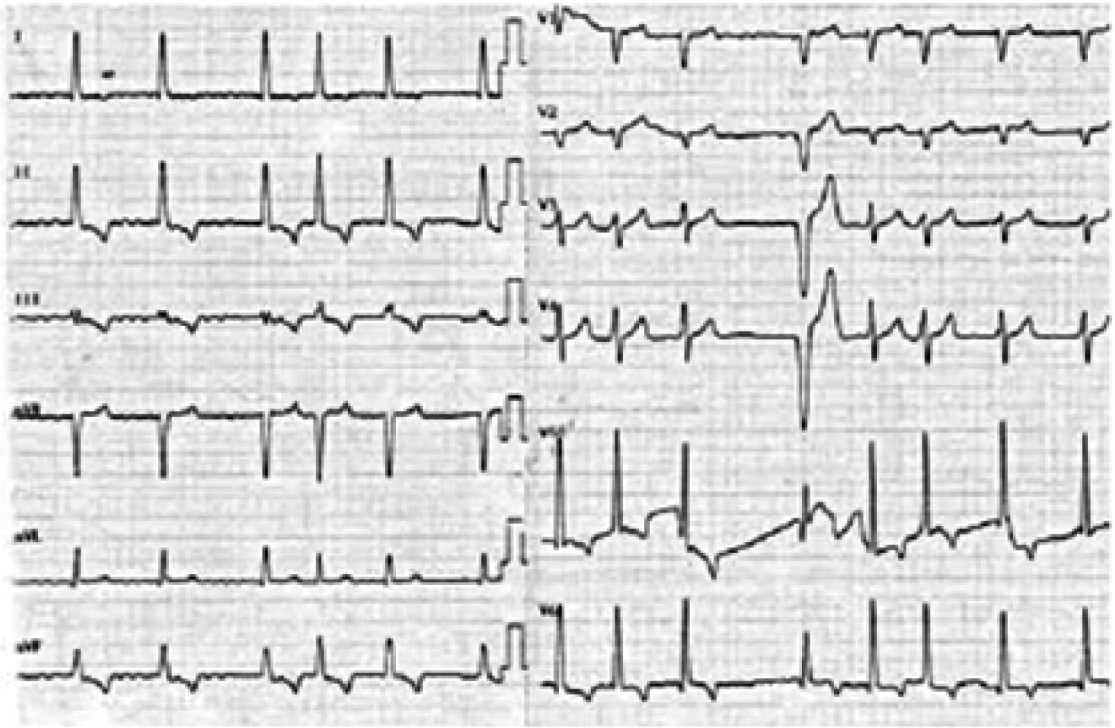


Рис. 1. Результат ЭКГ пациента

Семейный статус: пациент женат, двое детей (матери у детей разные). Имеет вредные привычки: на протяжении нескольких десятилетий выкуривает в сутки более 10 сигарет. Масса тела — 76 килограммов, рост — 191 сантиметр. Хрипы в дыхании отсутствуют. ЧСС — 92 удара в минуту. Отеки тела отсутствуют. В 49 лет пациента была диагностирована болезнь Фабри по анализу крови (расширенному).

При поступлении пациента в кардиологическое отделение была проведена ЭКГ, её результат на рисунке 1.

Диагноз дилатации сердечных предсердий был установлен при помощи ЭхоКГ, результат кардиограммы в трёх проекциях приведен на рисунке 2.

Данный клинический кейс показывает необходимость третьего компонента клинико-медицинского подхода к обнаружению и лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы и взаимосвязанных с ними внутренних болезней людей — включение семейного скрининга людей, входящих в группу риска по сердечно-сосудистым заболеваниям с наличием болезни Фабри. Зачастую при подтверждении диагноза сердечно-сосудистых заболеваний у одного человека семейный скрининг способствует определению ещё 4 пациентов кардиологического профиля, имеющих болезнь Фабри.

Выводы

В рамках данного исследования были представлены характеристики пациентов, страдающих ишемией сердца.

Обозначено влияние нейрофактора в развитии ишемии сердца у людей.

Проанализирована функциональная диагностика болезни Фабри у пациентов кардиологического профиля.

Проведенное научное исследование способствовало выделению компонентов клинико-медицинского подхода к обнаружению и лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы и взаимосвязанных с ними внутренних болезней людей: 1) включение функциональной гипердиагностики ишемии сердца в протокол обследования граждан; 2) изучение комплекса перспективных систем, способных раскрыть влияние нейрофактора на развитие ишемии сердца: генетический компонент, ГГНС, значительная активация тромбоцитов в организме человека; 3) включение семейного скрининга людей, входящих в группу риска по сердечно-сосудистым заболеваниям с наличием болезни Фабри.

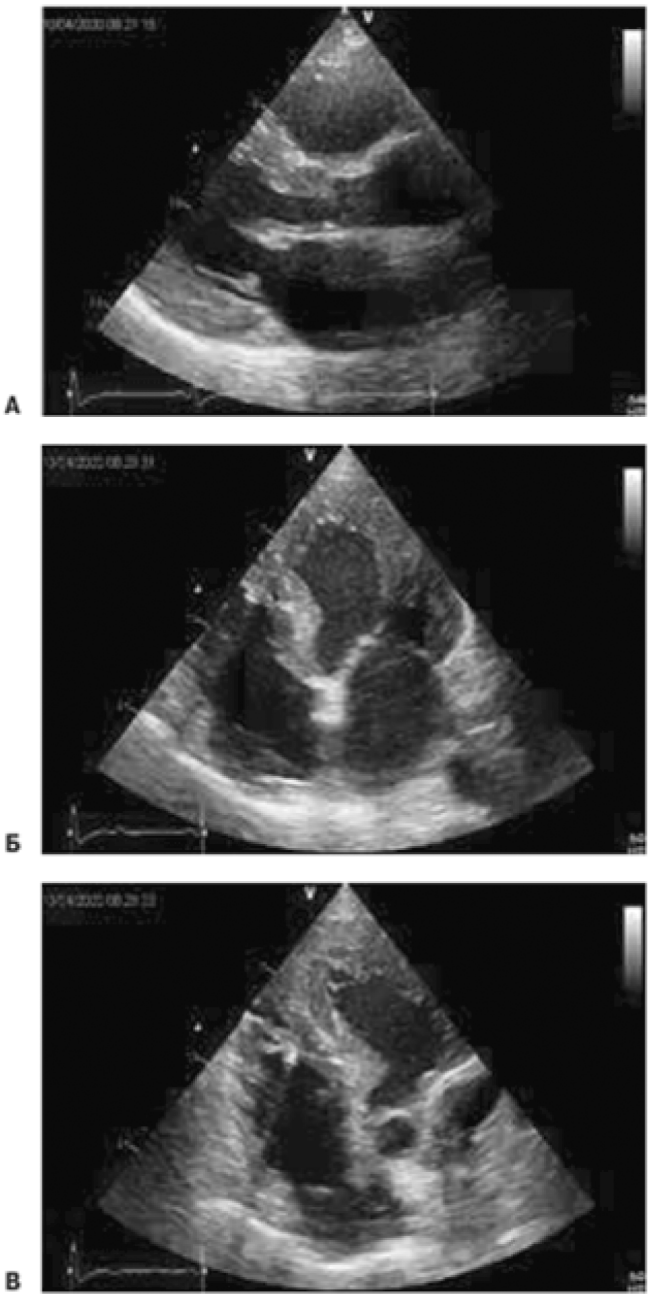


Рис. 2. Результат ЭхоКГ пациента: А — левый желудочек; Б — общее изображение сердца; В — правый желудочек

ЛИТЕРАТУРА

1. Атамась О.В., Антонюк М.В., Новгородцева Т.П., Гвозденко Т.А., Кытикова О.Ю. BDNF/TrkB-сигналинг при стабильной ишемической болезни сердца // Российский кардиологический журнал. — 2023. — Т. 28. — №. 12. — С. 9–16.
2. Каровайкина Е.А., Моисеев А.С., Буланов Н.М., Носова Н.Р., Кучиева А.М., Новиков П.И., Моисеев С.В. Скрининг, диагностика и лечение болезни Фабри // Клиническая фармакология и терапия. — 2019. — Т. 28. — №. 3. — С. 68–74.
3. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. — 2020. — Т. 25(11). — С. 4076. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-4076.
4. Baltramonaityte V. et al. A multivariate genome-wide association study of psycho-cardiometabolic multimorbidity // PLoS genetics. — 2023. — Т. 19. — №. 6. — С. e1010508.
5. Chaturvedi S., De Marchis G.M. Inflammatory biomarkers and stroke subtype: an important new frontier // Neurology. — 2024. — Т. 102. — №. 2. — С. e208098.
6. Christou G.A. et al. Unraveling the role of resistin, retinol-binding protein 4 and adiponectin produced by epicardial adipose tissue in cardiac structure and function: evidence of a paracrine effect // Hormones. — 2023. — Т. 22. — №. 2. — С. 321–330.
7. Collaborators G.B.D. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. — 2018. — Т. 392. — P. 1789–1858.
8. Ferrari R. et al. The new ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: the good and the not so good // Current Problems in Cardiology. — 2021. — Т. 46. — №. 3. — С. 100554.
9. Knuuti J., Wijns W., Saraste A., Capodanno D., Barbato E., Funck-Brentano C., ... Bax J.J. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC) // European heart journal. — 2020. — Т. 41. — №. 3. — С. 407–477.
10. Kunadian V. et al. An EAPCI Expert Consensus Document on Ischaemia with Non-Obstructive Coronary Arteries in Collaboration with European Society of Cardiology Working Group on Coronary Pathophysiology & Microcirculation Endorsed by Coronary Vasomotor Disorders International Study Group: Ischaemia with non-obstructive coronary arteries // EuroIntervention. — 2021. — Т. 16. — №. 13. — С. 1049.
11. Nomenclature and criteria for diagnosis of ischemic heart disease // Report of the Joint International Society and Federation of Cardiology/World Health Organization task force on standardization of clinical nomenclature. Circulation. — 1979. — Vol. 59(3). — P. 607–609. DOI: 10.1161/01.cir.59.3.607.
12. Wu Y. et al. New insights into the comorbidity of coronary heart disease and depression // Current problems in cardiology. — 2021. — Т. 46. — №. 3. — С. 100413.
13. Xu L. et al. Depression and coronary heart disease: mechanisms, interventions, and treatments // Frontiers in Psychiatry. — 2024. — Т. 15. — С. 1328048.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.20

РЕЗУЛЬТАТ АУГМЕНТАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОСТНОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

THE RESULT OF BONE AUGMENTATION USING VARIOUS BONE PLASTIC MATERIALS

R. Nafikov
I. Rogunov
A. Zinnatov
A. Yamzukov

Summary. In the modern world, dental implant replacement of dental row defects is the leading method of rehabilitation. However, depending on various circumstances, the amount of bone tissue is not always enough. In such situations, dental surgeons resort to bone augmentation surgery. This article presents a clinical case of a patient in 1983 who complained about the exposure of dental implants in areas 11 and 21.

Keywords: dental implants, bone grafting, osteoplastic material, membrane.

Нафиков Рашит Ришатович
Ассистент, ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет»
Rashit.nafikov.92@mail.ru
Рогунов Илья Владимирович
Ассистент, ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет»
iluahiq@gmail.com
Зиннатов Азат Айратович
Ординатор, ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет»
azatzinnatov@mail.ru
Ямзуков Антон Олегович
ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет»
gswvscavs7@gmail.com

Аннотация. В современном мире замещение дефектов зубных рядов с помощью дентальных имплантатов является ведущим методом реабилитации. Однако в зависимости от различных обстоятельств объема костной ткани не всегда хватает. В таких ситуациях хирурги стоматологи прибегают к операциям по наращиванию костной ткани. В данной статье представлен клинический случай пациента 1983 года, который обратился с жалобой на оголение дентальных имплантатов в области 11 и 21.

Ключевые слова: дентальные имплантаты, костная пластика, остеопластический материал, мембрана.

Введение

Замещение дефектов зубных рядов различными ортопедическими конструкциями с опорой на дентальные имплантаты в настоящее время является ведущим методом реабилитации пациентов с полным или частичным отсутствием зубов. [1,2,8,15,18,26]

Из-за анатомических особенностей и технических сложностей вертикальная имплантация у пациентов с частичным отсутствием зубов представляет значительную трудность. Количество костной ткани, доступное для имплантации, ограничено из-за полости носа, верхнечелюстной пазухи и нижнего альвеолярного нерва. Дефицит и/или атрофия альвеолярного гребня формируются после сложного удаления зубов и/или их длительного отсутствия, они связаны с индивидуальными особенностями анатомического строения челюстей, которые могут влиять на степень выраженности и скорость атрофии. [3,10,13,16,24,27]

Несмотря на то, что аутогенная кость в виде блоков или частиц долгое время считалась золотым стандартом и лучшим материалом для аугментации из-за ее однородности и регенеративных свойств, для извлечения кости часто требуется дополнительное место для хирургического вмешательства, что приводит к увеличению инвазивности, периода заживления и времени пребывания в кресле. Кроме того, количество кости, которую можно собрать, ограничено.

Чтобы обойти эти ограничения, были разработаны заменители кости (аллотрансплантат и ксенотрансплантат). Они также позволяют выбирать блоки с заданной структурой в виде кортико-губчатого состава. [4,9,14,17,22]

Данные об использовании ксеногенных блочных трансплантатов в различных методах увеличения костного отростка показали значительную регенерацию кости с плотными, хорошо васкуляризированными тканями, высокий контакт кости с имплантатом и замену

частиц трансплантата новой костью за короткий промежуток времени. [5,12,19, 21,25]

Биорезорбируемые и нерезорбируемые мембраны успешно используются для регенерации костной ткани в реконструктивной хирургии. Биорезорбируемые мембраны, в целом, показывают лучшие клинические характеристики, чем нерезорбируемые, поэтому, чаще всего, отдается предпочтение именно им.

Биосовместимость, биодеградируемость и низкая иммуногенность мембран из коллагена делает их перспективными для применения как в фармацевтических и биотехнологических областях, так и при направленной костной регенерации в стоматологии и, в частности, в имплантологии. Исследование свойств и особенностей применения биорезорбируемых мембран в стоматологии остается актуальным и на сегодняшний день.

Мембраны должны обладать следующими свойствами: биосовместимость и биобезопасность; взаимодействие между мембраной и собственными тканями не должно приводить к появлению побочных эффектов, стимуляции иммунной системы и сенсибилизации, которые могут препятствовать процессам репаративного остеогенеза; устойчивым периодом биодеградации; материал мембраны должен удерживать пространство для миграции клеток из окружающей костной ткани в течение необходимого периода регенерации [6,7,11, 20,23].

Клинический случай

Больной С., 1983 года рождения, обратилась с жалобой на рецессию десны и оголение имплантата в области 11 и 21.

Объективно: кожные покровы физиологической окраски, лицо симметричное, открывание рта свободное, плавное, регионарные лимфатические узлы не пальпируются.

Слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета патологические изменения отсутствуют, язык физиологической окраски, чистый, сосочки не изменены.

Отсутствует зубы 18, 28.

Зубная формула:

0	П	П	П	П		П	И	И	П				П	П	0
8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
П	П	К		К									К		П

В 2011 году пациент обращался в клинику с жалобой на отсутствие зубов 11 и 21 с целью протезирования на дентальных имплантатах. Со слов пациента зубы 11 и 21 были удалены в 2005 году в результате травмы, на протяжении 6 лет пациент носил частичный съемный пластиночный протез для замещения дефекта.

Пациент принес на прием КТ снимок 2011 года. По результатам данного КТ снимка была проведена операция в 2011 году по установке дентальных имплантатов в области отсутствующих зубов 11 и 21 (Рисунок 1).

Со слов пациента в ходе операции были установлены два дентальных имплантата на место отсутствующих зубов, проведено наращивание костной ткани. Спустя 7 месяцев после операции были установлены метоллокерамические коронки с опорой на дентальные имплантаты.

В 2024 году пациент обратился с жалобы на рецессию десны в области имплантатов 11 и 21 (Рисунок 2, 3).

Объективно у пациента наблюдается рецессия десны выше 1/3 части внутрикостного элемента, визуализируется резьба имплантата, на КТ снимке атрофия костной ткани вертикально выше 2/3, в области имплантата зуба 11 отсутствует вестибулярная пластинка костной ткани, на зубах налет и зубной камень.

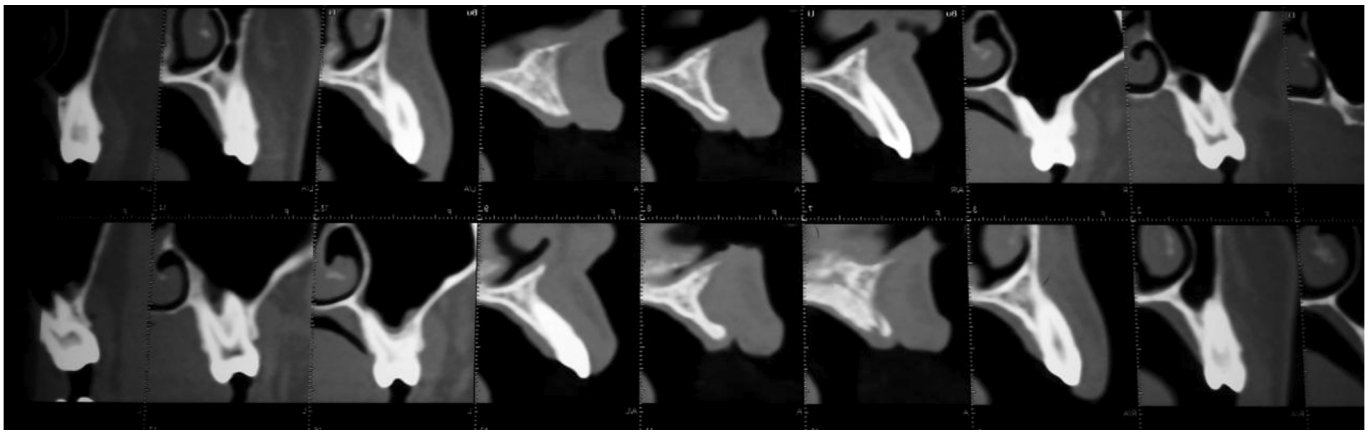


Рис. 1. Фото КТ снимка костной ткани в 2011 году

Рис. 2. Внутриротовой снимок коронок с опорой на дентальные имплантаты

Рис. 3. Внутриротовой снимок рецессии десны в области дентальных имплантатов 11 и 21 без коронок

Рис. 4. Внутриротовой снимок через 10 дней после операции костной пластики

Проведена профессиональная гигиена полости рта, удаление над- и поддесневых зубных отложений. Проведено удаление имплантатов 11 и 21. Дефект на месте удаленных имплантатов заполнен остеопластическим материалом, смешанным с кровью пациента и физиологическим раствором. Материал остеопласт крошка 0,5 см^2, закрыт мембраной остеопласт 1,5Х1,5. Рана ушита простыми узловыми швами и обивными швами, материал монофил 6,0.

Рис. 5. Иммидиат протез на период формирования костной ткани

Рис. 6. Внутриротовая фотография с тентовыми винтами и остеопластическим материалом

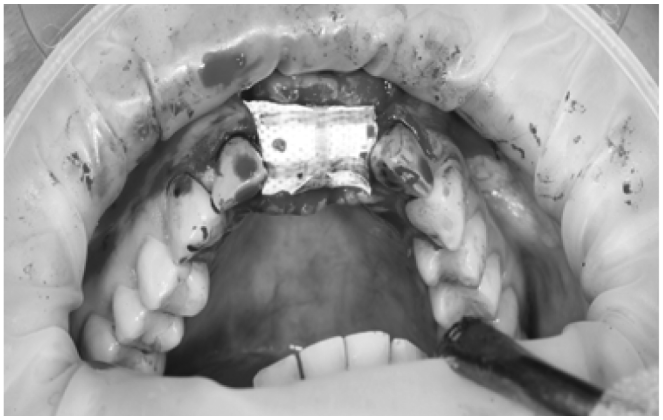


Рис. 7. Внутриротовая фотография спозиционированной по дефекту нерезорбируемой мембраны с титановым армированием

Через 10 дней после операции рана бледно-розового цвета, края раны стабильны. (Рисунок 4).

Проведено снятие швов. Пациенту даны рекомендации: повторный осмотр через 3 месяца.

Рис. 8. Внутриротовая фотография после наложения швов

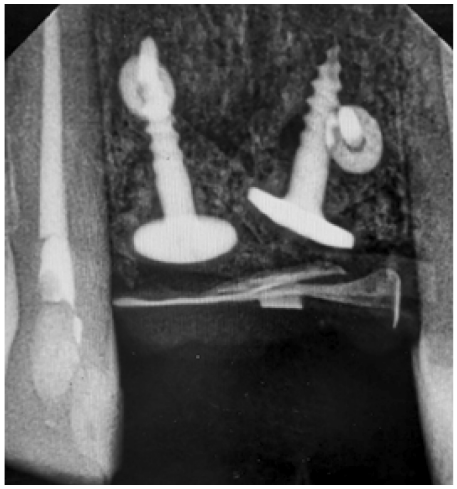


Рис. 9. Прицельный RVG снимок через 14 дней после операции

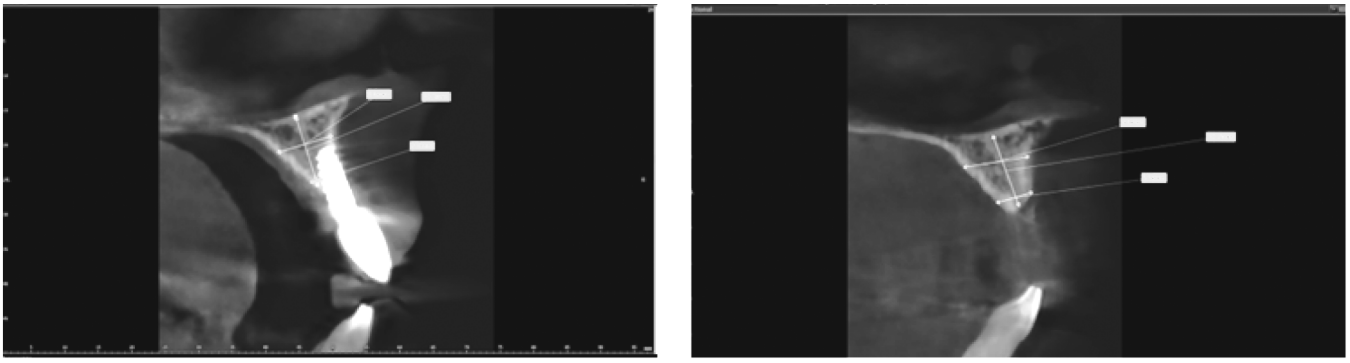


Рис. 10. Сравнение ширины костной ткани по КТ снимкам до удаления имплантатов и через 6 месяцев после операции костной пластики в области зуба 11

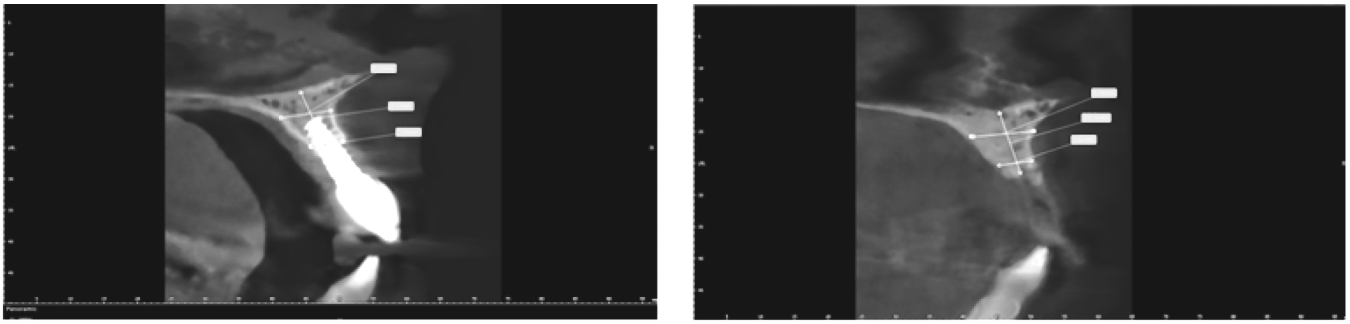


Рис. 11. Сравнение ширины костной ткани по КТ снимкам до удаления имплантатов и через 6 месяцев после операции костной пластики в области зуба 21

Пациенту был изготовлен иммидиат протеза в области отсутствующих зубов 11 и 21 на время наращивания костной ткани. (Рисунок 5).

Для дальнейшего этапа лечения с опорой на дентальных имплантатах нам необходимо провести наращивание костной ткани в вертикальной плоскости.

Была проведена вторая операция направленной костной регенерации с использованием тентовых винтов и нерезорбируемой мембраны из PTFE с титановым армированием для жесткой фиксации ксено-порошка. (Рисунок 6,7,8,9)

Результаты

По результатам КТ снимка через 6 месяцев после первой операции НКР мы видим увеличение костной ткани в области зуба 11: ширина альвеолярного гребня была — 2,0 мм, стала — 5,5 мм, основание альвеолярного отростка было — 10,3 мм, стало — 9,6 мм. (Рисунки 10).

В области зуба 21 видим увеличение костной ткани: ширина альвеолярного гребня была — 4,8 мм, стала — 5,4 мм, основание альвеолярного отростка было — 9,7 мм, стало — 9,3 мм. (Рисунки 11).

Заключение

Убыль костной ткани на месте отсутствующих зубов встречается у всех пациентов, однако степень атрофии костной ткани зависит от многих факторов, таких как травматичность удаления, время прошедшее после удаления зуба и многое другое. В настоящее время недостаток костной ткани в области отсутствующих зубов не является ограничением для установки дентальных имплантатов, так как имеется возможность нарастить необходимую высоту костной ткани с помощью НКР с применением современных остеопластических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.С. Ваулина, Я.И. Скакунов, Н.А. Редько, А.Ю. Дробышев. Предоперационная подготовка пациентов при планировании дентальной имплантации с использованием хирургического шаблона. Российская стоматология. 2021;14(3): 25–64; DOI: 10.17116/rosstomat20211403125
2. Патент № 2135118 C1 Российская Федерация, МПК A61C 8/00. Зубной имплантат и способ его установки: № 96107985/14: заявл. 18.04.1996: опубл. 27.08.1999 / М. З. Миргазизов, Р. Г. Хафизов, Р. М. Миргазизов; заявитель Казанский государственный медицинский университет. — EDN VPYHQY.
3. Роккьетта И., Фонтана Ф., Симион М. Клинические результаты вертикального увеличения костной ткани для установки зубных имплантатов: систематический обзор. J Clin Periodontol. 2008;35 (ДОПОЛНЕНИЕ 8): 203–15.
4. Abdelrahman Khalaf Eldabe, Ahmed Youssef Gamal, Ahmed El-Sayed Hamed Amr, Ehab Said Abdel Hamid, Ashraf Mohamed Abdelrahman Abu-Seida. Collagen membrane and L-PRF with Xenogeneic bone block for vertical ridge augmentation: An Experimental study in a canine model. Ain Shams Dental Journal 22. 2021; DOI:10.21608/asdj.2021.82124.1057
5. Simion M, Trisi P, Piattelli A. Vertical Ridge augmentation using a membrane technique associated with osseointegrated implants. Int J Periodontics Restorative Dent. 1994 Dec;14(6):496–511.
6. И.С. Амхадов Ф.Ф. Лосев М.А. Амхадова А.Д. Смирнов А.А. Атаманчук. Применение биорезорбируемых полилактидных мембран при операции синуслифтинг. Дентальная имплантология и хирургия; 2020; issn: 2312-4296
7. Патент на полезную модель № 117087 U1 Российская Федерация, МПК A61C 8/00. Плетеная никелидтитановая мембрана с памятью формы для направленной тканевой регенерации: № 2012100399/14: заявл. 10.01.2012: опубл. 20.06.2012 / Р.Г. Хафизов, М.З. Миргазизов, В.Э. Гюнтер [и др.]. — EDN FHSJKZ.
8. Патент № 2135117 C1 Российская Федерация, МПК A61C 8/00. Внутрикостный зубной имплантат и способ его установки: № 96107993/14: заявл. 22.04.1996: опубл. 27.08.1999 / М.З. Миргазизов, Р.Г. Хафизов, Р.М. Миргазизов; заявитель Казанский государственный медицинский университет. — EDN YDALFT.
9. Патент № 2469676 C1 Российская Федерация, МПК A61C 8/00, A61C 19/06, A61K 35/32. Способ адресной доставки остеопластических материалов, содержащих факторы роста и регенерации костной ткани, в область дефекта альвеолярной кости: № 2011121880/14: заявл. 31.05.2011: опубл. 20.12.2012 / М.З. Миргазизов, А.М. Миргазизов, Р.М. Миргазизов [и др.] ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России), Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации (ФГБУ «НИИЭМ им. Н.Ф. Гамалеи»). — EDN ZGOKRF.
10. Interfaces in osseointegrated dental implants and a new inverted approach to their microscopic and histological study / M.Z. Mirgazizov, R.G. Khafizov, A.M. Mirgazizov [et al.] // Poseido. — 2013. — Vol. 1, No. 3. — P. 141–147. — EDN XDOSZL.
11. Использование мембранной техники для направленной регенерации костной ткани при хирургических стоматологических вмешательствах / С.Ю. Иванов, Ю.В. Гажва, А.А. Мураев, А.П. Бонарцев // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 3. — С. 74. — EDN PAADSD.
12. Исследование устойчивости дентальных имплантатов / Д.С. Черемухина, А.С. Утюж, А.В. Юмашев, В.О. Самусенков // Актуальные вопросы современной медицины: взгляд молодого специалиста: Материалы II Всероссийской научной конференциистудентов и молодых специалистов, Рязань, 15–16 сентября 2016 года / ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова. — Рязань: Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, 2016. — С. 144–146. — EDN WKRYLF.
13. Шукпаров А.Б., Шомуродов К.Э., Мирхусанова Р.С. Принципы направленной костной регенерации: критические предоперационные факторы и критерии успеха. Интегративная стоматология и челюстно-лицевая хирургия. Том 1 | Выпуск 1 | 2022
14. Шукпаров А., Шомуродов К., & Мирхусанова Р. (2023). Морфологическая оценка остеорегенрации после НКР с применением различным костнопластических материалов. Стоматология, 1(2-3), 31–34.
15. Мун Т., Хабилов Н., & Усманов Ф. (2022). Применение дентальных имплантатов различной конструкции для восстановления дефектов зубных рядов. Медицина и инновации, 1(4), 436–442.
16. Назаров, З., Батиров, Б., Софиева, Н., & Бафоев, Б. (2022). Основные принципы вертикальной аугментации с дентальной имплантацией. Журнал стоматологии и краниофациальных исследований, 1(1), 19–24. https://doi.org/10.26739.2181-0966-2020-1-4
17. Калакуцкий, Н.В. Подготовка нижней и верхней челюсти к имплантации при выраженной атрофии костной ткани / Н.В. Калакуцкий, Ю.В. Иванов, И.В. Журавлев // Клиническая стоматология. — 2022. — Т. 25, № 3. — С. 25–31. — DOI 10.37988/1811-153X_2022_3_25. — EDN EEHHTO.
18. Рубникович, С.П. Комплексная хирургическая и ортопедическая реабилитация пациентов с дефектами зубных рядов / С.П. Рубникович, И.С. Хомич // Стоматологическая весна в Белгороде — 2022: Сборник трудов Международной научно-практической конференции в рамках международного стоматологического фестиваля «Площадка безопасности стоматологического пациента», посвященного 100-летию Московского государственного медико-сто-

матологического университета им. А.И. Евдокимова, Белгород, 09 июня 2022 года. — Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2022. — С. 224–227. — EDN JJWYIF.
19. А.А. Похабов, М.В. Ломакин, И.И. Солощанский, А.К. Ботоева, М.Р. Тотрова, Н.М. Набиева. Сравнительный анализ результатов реконструкции альвеолярного костного объема челюстей методом направленной костной регенерации. https://doi.org/10.33925/1683-3759-2024-996.
20. А.М. Налчаджян, С.Ю. Иванов, С.Г. Ивашкевич, М.Е. Мокренко, А.А. Долгалев, Д.З. Чониашвили. Сравнительный анализ результатов применения индивидуальных титановых каркасов и резорбируемых коллагеновых мембран при реконструкции альвеолярной кости. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-1-56-62
21. Donos N, Akcali A, Padhye N, Sculean A, Calciolari E. Bone regeneration in implant dentistry: Which are the factors affecting the clinical outcome? Periodontol 2000. 2023; 93: 26–55. doi:10.1111/prd.12518
22. Buser D, Urban I, Monje A, Kunrath MF, Dahlin C. Guided bone regeneration in implant dentistry: Basic principle, progress over 35 years, and recent research activities. Periodontol 2000. 2023; 93: 9–25. doi:10.1111/prd.12539
23. 23)Mizraji G, Davidzohn A, Gursoy M, Gursoy UK, Shapira L, Wilensky A. Membrane barriers for guided bone regeneration: An overview of available biomaterials. Periodontol 2000. 2023; 93: 56–76. doi:10.1111/prd.12502
24. Urban IA, Montero E, Amerio E, Palombo D, Monje A. Techniques on vertical ridge augmentation: Indications and effectiveness. Periodontol 2000. 2023; 93: 153–182. doi: 10.1111/prd.12471
25. Chan, M. (2023). Bone-Grafting Techniques and Biomaterials for Alveolar Ridge Augmentation. In Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology for the Clinician (eds H. Dym, L.R. Halpern and O.E. Ogle). https://doi.org/10.1002/9781119362579.ch6
26. Патент № 2464646 C2 Российская Федерация, МПК G09B 23/28. Метод глубокого травления: № 2009114361/14: заявл. 15.04.2009: опубл. 20.10.2012 / М.З. Миргазизов, Р.М. Миргазизов, Ф.А. Хафизова [и др.]. — EDN KLRHQL.
27. Оценка качества изготовления соединительных узлов супраструктурных элементов при изготовлении зубных протезов на внутрикостных имплантатах / Р.Г. Хафизов, М.З. Миргазизов, Ф.А. Хафизова [и др.] // Российский вестник дентальной имплантологии. — 2014. — № 1(29). — С. 48–52. — EDN WHLQPD.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.21

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОТОМА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕФЕКТОВ КОСТЕЙ ЛИЦЕВОГО ЧЕРЕПА

THE USE OF A PIEZOTOME IN THE RECONSTRUCTION OF DEFECTS IN THE BONES OF THE FACIAL SKULL

Yu. Nikanorov

Summary. In the works devoted to the treatment and rehabilitation of patients with injuries, post-traumatic defects of the bones of the facial skull over the past decades, the improvement of known and the emergence of new methods has been noted. One of them is the use of individual implants.

During surgery, it is necessary to accurately match the implant with the receiving bed or bone fragment; there is a need to form retention points, or change the contours of the bone for a better fit of the implant.

The traditional tools used in surgery: chisels, drills, cutters — cause additional injury, can cause overheating of bone structures, or the possibility of uncontrolled damage in sensitive areas.

A piezoelectric scalpel is devoid of these disadvantages. Most scientific papers describe its use in dentistry, and there are clinical observations in neurosurgical and ENT clinics. In the modern scientific literature devoted to the problems of reconstructive maxillofacial surgery, information is fragmentary or indirect.

The methods of widespread use of the piezotome in bone maxillofacial surgery, including in performing reconstructive interventions, are proposed.

Keywords: piezosurgery, maxillofacial area, individual implants, reconstructive operations.

Никаноров Юрий Алексеевич
кандидат медицинских наук, ГБУ ДНР Центральная городская клиническая больница №1 г.Донецка, заведующий отделением челюстно-лицевой хирургии
nikanorov@bk.ru

Аннотация. В работах, посвященных лечению и реабилитации пациентов с травмами и посттравматическими дефектами костей лицевого черепа за последние десятилетия, отмечается совершенствование известных и появление новых методов. Одним из них является применение индивидуальных имплантатов.

В процессе оперативного вмешательства необходимо точное сопоставление имплантата с воспринимающим ложем, либо костным фрагментом; возникает необходимость формирования ретенционных пунктов, либо изменение контуров кости для лучшего прилегания имплантата.

Традиционный инструментарий, используемый в хирургии: долота, боры, фрезы — наносят дополнительную травму, могут вызывать перегрев костных структур, либо возможность нанесения неконтролируемых повреждений в деликатных зонах.

Пьезотом (пьезоэлектрический скальпель) лишён данных недостатков. Большинство научных работ описывают его применение в стоматологии, имеются клинические наблюдения в нейрохирургических и ЛОР клинках. В современной научной литературе посвященной проблемам реконструктивной челюстно-лицевой хирургии сведения носят отрывочный или косвенный характер.

Предложены методики широкого использования пьезотома в костной челюстно-лицевой хирургии, в том числе при выполнении реконструктивных вмешательств.

Ключевые слова: пьезохирургия, челюстно-лицевая область, индивидуальные имплантаты, реконструктивные операции.

Актуальность

Дефекты костей лицевого черепа являются серьезной медицинской и социально-экономической проблемой. В последние десятилетия ведется научный поиск, посвященный применению 3D-печати и индивидуальных имплантатов [1,2,3].

Проводимые оперативные вмешательства в хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии постоянно усовершенствуются. Это связано не только с развитием научной мысли, но и с появлением нового медицинского инструментария. Одним из таких аппаратов стал аппарат пьезотом (Piezotome), принцип которого основан на генерации пьезоэлектрических волн, позволяющих выполнять щадящие остеотомии для выполнения тонких прецизионных разрезов [4].

При удалении дистопированных моляров отмечается уменьшение интраоперационной травмы, болевого синдрома [5] и сокращение времени, необходимого для заживления [6]. По данным Ильина С.В. и соавт. [7] применение пьезотома для расщепления альвеолярного отростка челюстей уменьшает редукцию, за счет более щадящего воздействия и снижает риски развития осложнений.

В тоже время, при заборе костных блоков из ретромолярной области не обнаружено достоверных различий в скорости выполнения операции, либо сниженном болевом синдроме при выполнении традиционной методикой или с использованием пьезотома [8].

Rolek A. [9] считает, что пьезохирургия в стоматологии «показала», что она снижает количество послеопе-

рационных осложнений при проведении сложных процедур, таких как поднятие дна верхнечелюстной пазухи и расщепление кости, обеспечивая повышенную точность, безопасность и клинические результаты, что в конечном итоге повышает качество медицинской помощи и удовлетворенность пациентов.

Пьезохирургия, в сравнении с традиционной остеотомией в ринопластике [10,11] также приводит к снижению болевого синдрома и уменьшению отеков и экхимозов. Выполняя гениопластику, авторы [12,13] отмечают, что отличительными особенностями ультразвуковой пьезоэлектрической остеотомии являются избирательное рассечение костных тканей с меньшим риском повреждения сосудов и нервов, интраоперационная точность, отсутствие кровотечения. Такие же данные приводятся при проведении ортогнатических операций [14].

Выполняя трепанацию черепа [15], пьезохирургическое рассечение каменистой части височной кости при удалении менингиом или экстрааксиальных метастазов [16], остеотомии по поводу гемифациальной микросомии [17], гипертелоризма [18] — отмечается, что преимуществами пьезохирургии являются тонкая и точная остеотомия и защита мягких тканей, что делает её сравнительно безопасным и эффективным инструментом.

Выполняя хирургическую коррекцию деформаций орбиты у пациентов с односторонним коронарным краниосиностозом с использованием пьезохирургической техники [19] отмечено улучшение ее кривизны.

Во время SARPE (хирургически ассистированное быстрое расширение неба) пьезохирургия является эффективным методом минимизации отека лица, в отличие от использование обычных боров и микропил [20].

Согласно проведенному мета-анализу научных статей за 2017–2022 годы, посвященных проблеме пьезохирургии — «пьезохирургия имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными инструментами» [21].

Материалы и методы

Под нашим наблюдением находились 20 пациентов, 18 мужчин, 2 женщины, в возрасте от 18 до 45 лет, которым выполнялись операции на костях лицевого черепа по поводу дефектов и деформаций лицевого черепа или предшествовавших им травм, посттравматических процессов.

В исследуемой группе для выполнения остеотомий, резекций, созданий костных ретенционных пунктов применялся пьезотом, в группе сравнения использовался традиционный инструментарий и оборудование (долота, костные кусачки, пилы Джигли, реципрокные пилы, фрезы)

Всем пациентам выполнялись стандартные клинические и лабораторные обследования, рентгенологический контроль до и после оперативного вмешательства.

Для оценки болевого синдрома послеоперационного периода предложена шкала «ДУСП», где Д — дискомфорт в зоне операции; У — умеренный болевой синдром, провоцируемый разговором, приемом пищи и самостоятельно проходящий; С — сильный болевой синдром, постоянная боль купируемая аналгетиками; П — пароксизмальная боль, либо постоянная боль не снимаемая ненаркотическими аналгетиками, а лишь уменьшающаяся до «терпимой».

Обсуждение

Достоверных клинических или рентгенологических отличий в группах не отмечено, как и сроков заживления ран. В группе исследования отмечено раннее купирование отеков (на 1,2±0,1 суток), а также удаление дренажей (на 1,6±0,2 суток). Болевой синдром в группе исследования был не только ниже, но и купировался с лучшей динамикой (табл.1).

Таблица 1.

Болевой синдром в послеоперационном периоде по шкале «ДУСП», *число пациентов

	Д	У	С	П
1-е сутки группа контроля	0*	2*	7*	1*
1-е сутки группа исследования	6*	4*	0*	0*
7-е сутки группа контроля	3*	6*	1*	0*
7-е сутки группа исследования	2*	0*	0*	0*

Таким образом, если сроки заживления ран в группах существенно не отличались, то выраженность послеоперационного болевого синдрома и динамика его купирования при использовании пьезотома не вызывают сомнения.

Также, следует отметить, что с помощью пьезотома имеется возможность выполнения «фигурных» остеотомий в деликатных зонах (например, стенки орбиты, где существует опасность ранения глазного яблока) а также создание ретенционных пунктов — что невозможно традиционным инструментарием, либо связано с большими трудозатратами.

В качестве примеров клинических наблюдений приводим ряд этапов операций при вмешательствах на верхней и нижней челюсти с применением пьезотома.

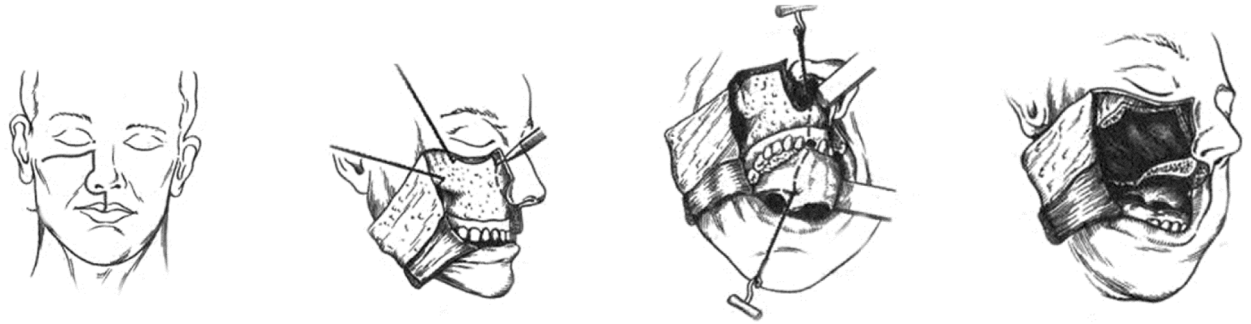


Рис. 1. Последовательность этапов резекции верхней челюсти доступом по Кохеру-Веберу

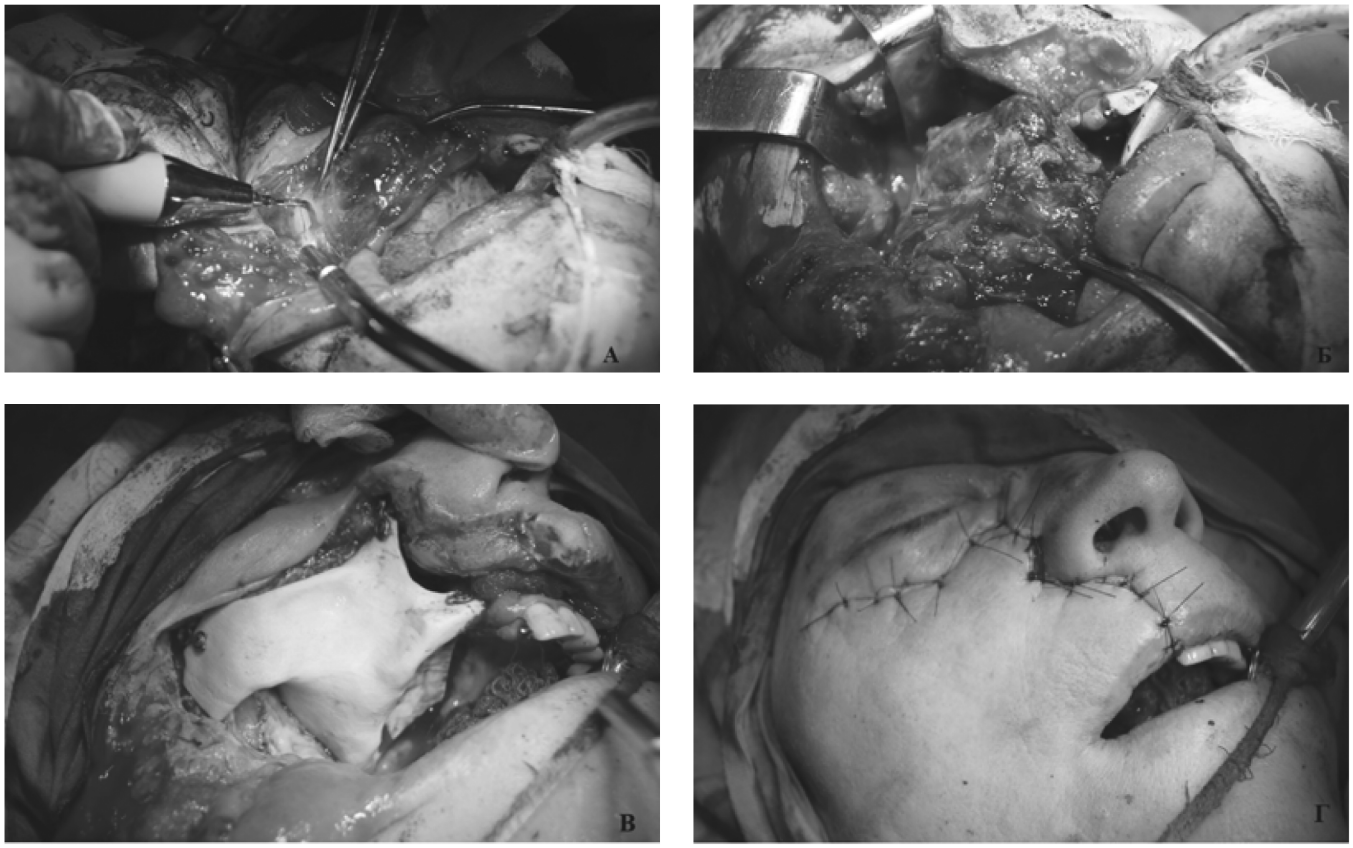


Рис. 2. А — резекция верхней челюсти, остеотомия в области скуловой кости, нижнего края орбиты выполняется пьезотомом; Б — удаленная опухоль верхней челюсти; В — индивидуальный имплантат из PEEK в зоне дефекта; Г — внешний вид раны после наложения швов

Клиническое наблюдение 1. Пациентка Л., с диагнозом остеобластокластома верхней челюсти. Выполнена резекция правой верхней челюсти (рис. 1), дефект замещен индивидуальным имплантатом из полиэфирэфиркетона (PEEK) (рис. 2).

Клиническое наблюдение 2. Пациентка Б., с диагнозом — адамантинома нижней челюсти (рис.3). Выполнено оперативное вмешательство — резекция нижней челюсти с экзартикуляцией, с одномоментной реконструкцией индивидуальным полимерным имплантатом из PEEK (рис.4).

Выводы

1. Применение пьезотома в реконструктивной челюстно-лицевой хирургии — является максимально щадящим, наименее травматичным и вызывающим меньшее количество субъективных болевых ощущений у пациентов в послеоперационном периоде, чем с использованием традиционного инструментария, что подтверждается как данными литературы, так и собственными наблюдениями.
2. Сроки заживления раны, сроки восстановления функций не показали достоверных различий в группах сравнения.

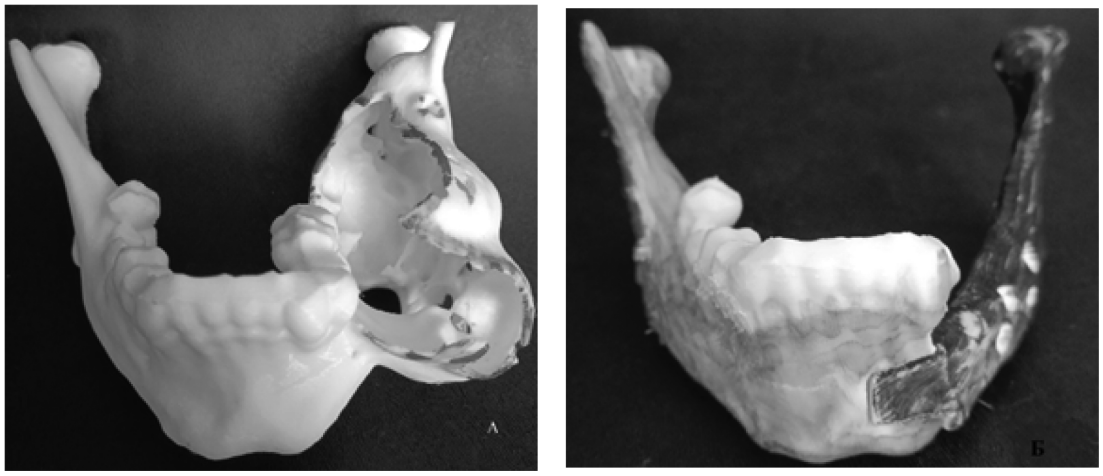


Рис. 3. А — опухоль нижней челюсти пациентки Б., на полимерной модели; Б — прототип имплантата (темно-серый) с выступом для ретенционного пункта (в ментальном отделе)

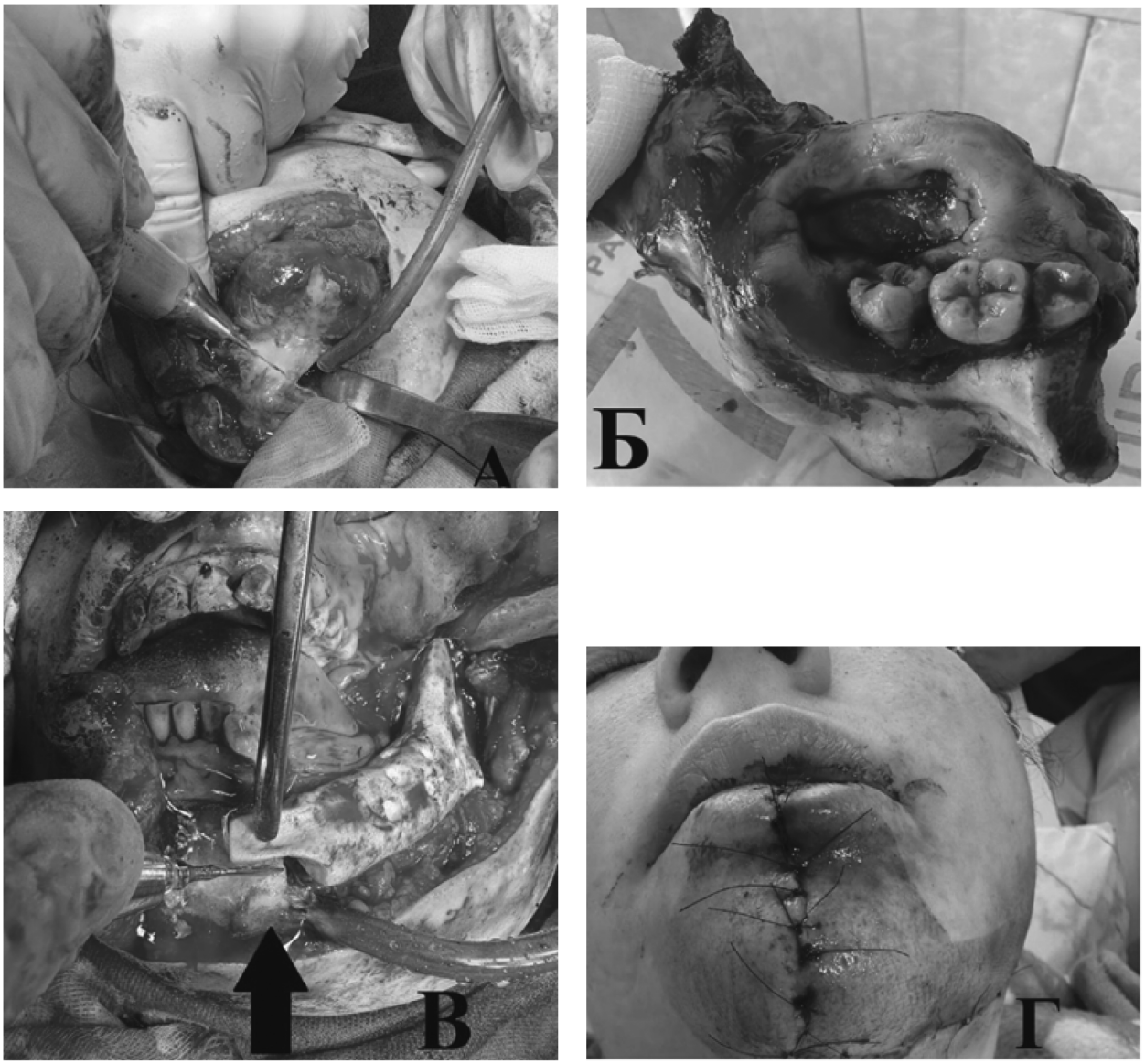


Рис. 4. А — этап остеотомии нижней челюсти с помощью пьезотома; Б — резецированная половина нижней челюсти с опухолью; В — остеотомия в ментальном отделе птезотомом, для создания ретенционного пункта (указано стрелкой); Г — внешний вид раны после наложения швов

3. Удобство хирургической техники, возможность применения пьезотома при проведении щадящих и деликатных вмешательств в области важных анатомических образований, с минимизацией риска их травмировать — позволяет рекомендовать его внедрение в широкую хирургическую практику.
4. Данное исследование свидетельствует о необходимости дальнейшего научного поиска и разработке методологии новых оперативных вмешательств с применением пьезоэлектрической медицинской аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сельский Н.Е. Использование аллогенных трансплантатов и дентальных имплантатов при комплексной реабилитации пациентов /Н.Е. Сельский, А.В. Трохалин, Л.А. Мусина // Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. — 2016. — № 2. — С. 50–61.
2. Шумилова А.А. Материалы для восстановления костной ткани /А.А. Шумилова, Е.И. Шишацкая // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. — 2014. — Т. 7, № 2. — С. 209–221.
3. DeStefano V., Khan S., Tabada A. Applications of PLA in modern medicine. Eng. Regen. 2020;1:76–87.
4. Barbotti A, Szathmari A, Vinchon M, Beuriat PA, Di Rocco F. Piezosurgery in endoscopic-assisted trigonocephaly correction: a technical note. Childs Nerv Syst. 2024 Sep;40(9):2825–2828.
5. Yang L, Chen Y, Fang W. Piezosurgery versus conventional osteotomy: a randomized clinical trial on pain and anxiety in children with unerupted mandibular third molars. Clin Oral Investig. 2023 Dec 21;28(1):9.
6. Maihemaiti M, Ainiwaer A, Wang L. A clinical study of the piezosurgery, high-speed contra-angle handpiece, and the combined application of both for extraction of embedded supernumerary teeth. BMC Oral Health. 2023 Mar 12;23(1):147.
7. Ильин С.В. и соавт. Патофизиологические аспекты регенерации костной ткани при увеличении ширины тонкого альвеолярного гребня челюстей с применением пьезохирургической техники // Человек и его здоровье. 2022. №1. — С.4–7.)
8. Bayram F, Demirci A. A randomized controlled trial comparing conventional and piezosurgery methods in mandibular bone block harvesting from the retromolar region. BMC Oral Health. 2023 Dec 9;23(1):986.
9. Rolek A. Enhancing precision and safety in dental surgery — the advantages of piezosurgery. Pol Merkur Lekarski. 2024;52(4):462–465.
10. Kisel J, Khatib M, Cavale N. A Comparison Between Piezosurgery and Conventional Osteotomies in Rhinoplasty on Post-Operative Oedema and Ecchymosis: A Systematic Review. Aesthetic Plast Surg. 2023 Jun;47(3):1144–1154.
11. Mirza AA, Alandejani TA, Al-Sayed AA. Piezosurgery versus conventional osteotomy in rhinoplasty: A systematic review and meta-analysis. Laryngoscope. 2020 May;130(5):1158–1165.
12. Bertossi D, Albanese M, Nocini R, Mortellaro C, Kumar N, Nocini PF. Osteotomy in Genioplasty by Piezosurgery. J Craniofac Surg. 2021 May 1;32(3):e317-e321.
13. Oth O, Orellana MF, Glineur R. The Minimally Invasive-Guided Genioplasty Technique using Piezosurgery and 3D printed surgical guide: An innovative technique. Ann Maxillofac Surg. 2020 Jan-Jun;10(1):178–181.
14. Cascino F, Aboh IV, Giovannoni ME, Pini N, Zerini F, Del Frate R, Carangelo BR, Xu J, Gabriele G, Gennaro P, Iannetti G. Orthognathic surgery: a randomized study comparing Piezosurgery and Saw techniques. Ann Ital Chir. 2021;92:299–304.
15. Ferroli P, Iess G, Bonomo G, Raccuia G, Broggi M. Neuronavigation Applied to Piezosurgery: Toward Robotic Image-Aided Craniotomy? A Technical Note. World Neurosurg. 2022 Feb;158:148–151.
16. Steiert C, Masalha W, Grauvogel TD, Roelz R, Klingler JH, Heiland DH, Beck J, Scheiwe C, Grauvogel J. Piezosurgery for safe and efficient petrous bone cutting in cerebellopontine angle and petroclival meningioma surgery. J Clin Neurosci. 2021 Jul;89:319–328.
17. Wang X, Kim BS, Zhang Z, Wang HC, Zhang Y, Chai G. Piezosurgery in hemifacial microsomia: a promising exemption from conventional peri-osteotomy suffering. Front Pediatr. 2023 Jun 30;11:1149710.
18. Liu X, Zhang Z, Kim BS, Lin L, Han W, Chai G, Xu H, Yang X. Comparison of Piezosurgery and Conventional Osteotomy for Orbital Hypertelorism Surgical Correction. J Craniofac Surg. 2023 Mar-Apr 01;34(2):817–819.
19. Furtado LMF, da Costa Val Filho JA, de Guimarães Mourão RTN, Dos Santos Júnior LC, de Macedo Machado Filho G, Pedrosa LD. Technical Strategy Using Piezosurgery to Correct Flattened Supraorbital Rim in Unilateral Coronal Craniosynostosis. J Craniofac Surg. 2021 Jan-Feb 01;32(1):97–100.
20. Küçükkurt S, Değerliyurt K. Does Piezosurgery Decrease Patient Morbidity in Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion Compared With Saw and Burrs? J Oral Maxillofac Surg. 2020 Jun;78(6):1019.e1–1019.e10.
21. McGuire C, Boudreau C, Prabhu N, Hong P, Bezuhly M. Piezosurgery versus Conventional Cutting Techniques in Craniofacial Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. Plast Reconstr Surg. 2022 Jan 1;149(1):183–195.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.25

ИНТИМНО-БЫТОВЫЕ И ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РИСКА РЕЦИДИВИРУЮЩИХ ВУЛЬВОВАГИНАЛЬНЫХ ИНФЕКЦИЙ

INTIMATE-HYGIENIC RISK FACTORS FOR RECURRENT VULVOVAGINAL INFECTIONS

L. Osipova

Summary. Inflammatory and non-inflammatory infections of the lower urogenital tract remain a serious medical problem, accounting for 55 to 80 % of reproductive system diseases. Main symptoms include discomfort, discharge, itching, dyspareunia, and an unpleasant odor. Despite the variety of diagnostic and treatment methods, recurrences of vulvovaginal infections continue to be a relevant and complex challenge, leading to pathologies in the reproductive, psycho-emotional, and sexual spheres. The importance of scientific research lies in identifying recurrence risk factors, but even excluding known factors does not always prevent repeated cases of vaginal dysbiosis. Therefore, today's priority is the scientific search aimed at identifying the causes (risk factors) of disease recurrence.

Keywords: recurrent vulvovaginal infections, anaerobic vaginitis, bacterial vaginosis, risk factors for recurrent vulvovaginal infections, intimate hygiene, contraceptive methods, prevention.

Осипова Людмила Кирилловна
Аспирант,
ФГБОУ ВО «КубГМУ» Минздрава России (г. Краснодар)
milka82@list.ru

Аннотация. Воспалительные и невоспалительные инфекции нижних отделов урогенитального тракта остаются серьезной медицинской проблемой, составляя от 55 до 80 % заболеваний репродуктивной системы. Основные симптомы включают дискомфорт, выделения, зуд, диспареунию и неприятный запах. Несмотря на разнообразие методов диагностики и лечения, рецидивы вульвовагинальных инфекций остаются актуальной и сложной задачей, приводящей к патологиям в репродуктивной, психоэмоциональной и сексуальной сферах. Важность научного поиска заключается в выявлении факторов риска рецидивирования, однако даже исключение известных факторов не всегда предотвращает повторные случаи дисбиоза влагалища. Поэтому особую актуальность сегодня приобретает научный поиск, направленный на выявление причин (факторов риска) рецидивирования заболевания.

Ключевые слова: рецидивирующие вульвовагинальные инфекции, анаэробный вагинит, бактериальный вагиноз, факторы риска рецидивирующих вульвовагинальных инфекций, интимная гигиена, методы контрацепции, профилактика.

Введение

Общеизвестно, что генитальный дискомфорт у женщин, включающий такие симптомы, как выделения, зуд, диспареунию и неприятный запах, представляет собой ключевой признак вульвовагинальных инфекций (ВВИ). Эти состояния являются распространенной медицинской проблемой, служащей одной из основных причин обращения за медицинской помощью. Вульвовагинальные инфекции затрагивают миллионы женщин по всему миру, независимо от их социального или экономического статуса. Инфекционные заболевания половых органов у женщин занимают значительную часть в общей статистике гинекологических заболеваний, достигая 55–80 % [1]. При этом вульвовагинальные инфекции (ВВИ) не всегда проявляются в виде классического воспалительного процесса, а могут иметь характер дисбиоза. Они сопровождаются микробиологическим синдромом, который характеризуется изменениями в микрофлоре и воспалительными процессами слизистой оболочки вульвы и влагалища. Кроме того, нередко отмечаются повторные случаи вагинальных инфекций, объединяемых под термином рецидивирующий вульвовагинит (РВВ) или рецидивирующие вульвовагинальные инфекции (РВВИ), что в настоящее время представляет собой серьезную проблему, требующую комплексного подхода к лечению и профилактике.

РВВИ представляют собой значимую медико-социальную проблему. Длительное наличие обильных белей может приводить к выраженным психосоматическим расстройствам, ухудшать качество половой жизни, негативно сказываться на трудоспособности пациенток и в целом значительно снижать качество жизни женщин [2,3]. Кроме того, часто рецидивирующие ВВИ могут способствовать развитию восходящего уретрита, воспалительных заболеваний органов малого таза, а также повышают вероятность заражения инфекциями, передаваемыми половым путем (ИППП), ВИЧ и вирусными гепатитами, активации латентной вирусной инфекции, и, как следствие, повышая риск развития неопластических процессов в шейке матки, влагалище и вульве [4–6]. Так, в результате многочисленных исследований была установлена значимая взаимосвязь между РВВИ и различными репродуктивными осложнениями. Эти осложнения включают бесплодие, повышенный риск выкидыша и преждевременных родов, а также несвоевременное излитие околоплодных вод. Кроме того, РВВИ

может способствовать внутриутробному инфицированию плода, что в свою очередь может привести к тяжелым последствиям для его здоровья. Воспалительные процессы, возникающие в послеродовом периоде, также имеют связь с наличием РВВИ, что подчеркивает необходимость тщательного мониторинга и лечения таких инфекций у женщин репродуктивного возраста [7–11].

Анализ большого количества научных публикаций подтверждает, что рецидивирующие вагинальные инфекции (РВВИ) — это не кратковременное состояние, а группа заболеваний, которые могут привести к серьезным негативным последствиям для физического и психического здоровья женщин [12]. Эффективное лечение этих инфекций представляет собой сложную задачу для врачей, чему способствует множество факторов, влияющих на течение заболевания. Частота рецидивов может достигать 75 % [13,14], что подчеркивает необходимость углубленного изучения проблемы. Несмотря на значительные успехи медицины, терапия вульвовагинитов и вагинозов не всегда дает желаемый результат. Настоящее исследование направлено на изучение влияния бытовых и гигиенических факторов риска на рецидивирующее течение вульвовагинальных инфекций. Полученные данные помогут лучше понять механизмы возникновения этих заболеваний и разработать меры для их профилактики.

Цель исследования: выявить статистически значимые клинико-анамнестические факторы, влияющие на риск развития рецидивирующих вульвовагинальных инфекций.

Дизайн: одномоментное когортное сравнительное исследование «случай — контроль».

Материалы и методы

На базе кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии №2 ФГБОУ ВО «КубГМУ» Минздрава России и ЛДЦ ООО «Клиника Преображенская» г. Краснодар, произведено одномоментное когортное сравнительное исследование. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО «КубГМУ» Минздрава России. Участницами было подписано информированное согласие на сбор и обработку анамнестических данных, проведение общеклинического и гинекологического обследования, а также других диагностических процедур, необходимых в рамках проводимого исследования.

В рамках исследования типа «случай-контроль» участвовали 190 женщин в возрасте от 18 до 40 лет. Основываясь на анамнезе, результатах объективного обследования, а также данных микроскопического и молекулярно-биологического анализов, все участницы были распределены на две основные группы. Первая группа состояла из пациенток с рецидивирующими формами ВВИ, которые, в свою очередь, были поделены на три подгруппы согласно установленным диагнозам: подгруппа с рецидивирующим бактериальным вагинозом (РБВ), включающая 62 женщины; подгруппа с рецидивирующим аэробным вульвовагинитом (РАВ), состоящая из 36 женщин; и подгруппа с рецидивирующим кандидозным вульвовагинитом, включившая 26 женщин. Во вторую группу вошли 66 женщин, у которых не было обнаружено заболеваний вульвы и влагалища.

Критерии включения пациенток в обследование:
- возраст 18-40 лет;
- наличие рецидивирующей ВВИ;
- наличие информированного согласия пациенток на исследование.

Критерии исключения из исследования:
- наличие вирусных инфекций (вирус папилломы человека, вирус простого герпеса),
- наличие инфекций, передаваемых половым путем,
- наличие онкологического процесса,
- наличие сопутствующих аутоиммунных заболеваний,
- наличие патологии шейки матки,
- наличие острых или обострения хронических воспалительных заболеваний органов малого таза,
- беременность,
- нежелание пациентки участвовать в исследовании.

На основе анкетирования женщин из основной и контрольной групп был проведен сравнительный анализ гигиенических и интимно-бытовых анамнестических факторов риска развития рецидивирующих вульвовагинальных инфекций по ряду категориальных показателей, характеризующих особенности половой жизни, интимной гигиены, выбора нижнего белья и других аспектов. Пациенткам проводился общий и специальный гинекологический осмотр. С целью определения критериев включения и исключения, при обследовании пациенток использовались следующие лабораторные исследования: цитологические исследования, включающие микроскопический анализ отделяемого из мочеполовых органов женщин (микрофлора) из трех локализаций; молекулярно-биологические — полимеразная цепная реакция (ПЦР) в режиме реального времени для определения инфекций, передаваемых половым путем, в том числе ВПГ-1,2, ВПЧ; молеклярно-биологическое исследование — «Фемофлор-16»; цитологическое исследование — исследование мазка на онкоцитологию из шейки.

Статистические методы включали использование программного обеспечения Microsoft Excel 2016

с применением статистической программы «GraphPad Prism 6.0» (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA) и программы Statistica 13.3 (USA, Tibco). Статистический анализ бытовых и гигиенических анамнестических данных исследуемых проводился с использованием непараметрического критерия Краскела-Уолииса. Для оценки статистической значимости взаимосвязи между категориальными переменными («да» или «нет») применялся критерии хи-квадрат Пирсона, М-П Хи-квадрат (при уровне значимости $p < 0,05$ взаимосвязь считалась статистически значимой). Силу, или степень взаимосвязи исследуемых параметров с показателем заболеваний характеризовали статистиками: ФИ, коэффициентом сопряженности, Крамера (при абсолютной величине больше 0,25 взаимосвязь между категориальными показателями считалась статистически значимой).

Результаты и обсуждение

Небольшой объем данных в исследуемых группах не позволил проверить соответствие количественных показателей нормальному распределению, поэтому наряду со средним арифметическим и стандартным отклонением были определены медиана, минимум, максимум, нижняя и верхняя квартиль. Чтобы оценить влияние установленных значимых клинико-анамнестических данных ($p < 0,05$) на риск развития РВВИ, проводилось сравнение средних значений количественных показателей в группах больных с РВВИ и контрольной группе. Средний возраст дебюта заболевания составил 23,80±4,552 лет для группы с рецидивирующим бактериальным вагинозом, 23,44±4,743 года — для группы с рецидивирующими вагинитами и 25,69±5,677 лет — для группы с кандидозными вульвовагинитами.

Сравнительный анализ интимно-бытовых анамнестических факторов риска развития рецидивирующих вульвовагинальных инфекций (РВВИ) проводился на основе опроса женщин из обеих групп по ключевым параметрам, отражающим аспекты половой жизни, соблюдение правил интимной гигиены, использование определенного типа нижнего белья и другие характеристики. При этом данные собирались за всю жизнь пациенток (или хотя бы за взрослый период), а не ограничивались исключительно моментом проведения исследования.

Большинство пациенток с РВВИ в основной группе не использовали для интимной гигиены фармацевтические средства с молочной кислотой и другими ингредиентами, положительно влияющими на микрофлору и кожу вульвы. В частности, 26 пациенток из группы с рецидивирующим бактериальным вагинозом (РБВ) (86,67 %), 28 из группы с рецидивирующими вульвовагинитами (РАВ) (77,78 %) и 18 из группы с рецидивирующими кандидозными вульвовагинитами (РКВВ) (69,23 %) не применяли эти средства. В то же время, 22 женщины (66,67 %) из контрольной группы регулярно использовали такие средства.

Небольшое число пациенток с заболеваниями влагалища использовали для гигиены только воду, без применения моющих средств. В частности, в группе с РБВ таких пациенток было 3,33 %, в группе с РАВ — 5,56 %, а в группе с РКВВ — 0,00 %. В контрольной группе этот показатель составил 25 %.

Значительное количество пациенток с РВВИ использовали для интимной гигиены парфюмерные средства (гели для душа, пенки и т.п.), что превышает аналогичные показатели в контрольной группе. В частности, в группе с РБВ таких пациенток было 66,67 %, в группе с РАВ — 61,54 %, а в группе с РКВВ — 27 %. В контрольной группе этот показатель составил 21,21 %. Аналогичная тенденция прослеживается и в отношении использования мыла для гигиены наружных половых органов. В контрольной группе мыло использовали только две пациентки (3,03 %), тогда как в группах с заболеваниями влагалища этот показатель был выше: 16 пациенток (26,67 %) в группе с РБВ, 2 пациентки (5,56 %) в группе с РАВ и 8 пациенток (30,77 %) в группе с РКВВ.

Фактор несоблюдения гигиены, выражающийся в проведении гигиенических процедур реже одного раза в день, был выявлен в различных группах. В контрольной группе этот фактор отсутствовал. В группе с РБВ он присутствовал у 16,67 % пациенток (10 человек), в группе с РАВ — у 17,65 % (6 пациенток), а в группе с РКВВ этот фактор не был обнаружен ни у одной из пациенток (0 %).

Установлено, что в группе больных с РВВИ большинство обследованных регулярно проводили удаление волос в области вульвы либо прибегали к другим видам депиляции. В частности, 44 (73,33 %) пациентки в группе с РБВ, 32 (88,89 %) в группе с РАВ и 24 (92,31 %) в группе с РКВВ следовали этим процедурам. В то же время, 24 (36,36 %) женщины из контрольной группы предпочитали не проводить подобные процедуры регулярно. Отсутствие или редкое проведение бритья/депиляции волос в области вульвы чаще встречалось в контрольной группе (27,27 %), в сравнении с группой с РБВ (6,67 %), группой с РАВ (16,67 %) и группой с РКВВ (15,38 %).

Что касается лазерной эпиляции, то отмечается положительная корреляция с заболеваниями вульвы. Лазерная эпиляция использовалась в следующих случаях: 36,67 % в группе с РБВ (22 пациентки), 50,0 % в группе с РАВ (18 пациенток) и 53,85 % в группе с РКВВ (28 пациенток). В контрольной группе данный метод депиляции применялся в 42,42 % случаев (28 пациенток). Это позволяет предположить, что использование лазерной эпиляции может при определенных условиях являться фактором риска развития рецидивирующих вульвовагинальных инфекций (РВВИ).

Восковая депиляция проводилась в небольших процентах случаев во всех группах исследуемых: 20,0 % в группе с РБВ (12 пациенток), 11,11 % в группе с РАВ (2 пациентки) и 15,38 % в группе с РКВВ (4 пациентки). В контрольной группе никто не использовал этот метод депиляции. Только 14 (21,21 %) женщин из контрольной группы предпочитали носить нижнее белье с грубыми швами и/или кружевами. В то же время, в группе больных РВВИ процент таких женщин был заметно выше: 24 (40 %) в группе с РБВ, 26 (72,22 %) в группе с РАВ и 14 (53,85 %) в группе с РКВВ. Большинство пациенток с РВВИ (РБВ — 44 (73,33 %), РАВ — 22 (61,11 %), РКВВ — 16 (61,54 %)) в основном носили нижнее белье с узкой ластовицей, а 52 (78,99 %) женщины группы контроля, напротив, — с широкой. Пациентки с рецидивирующими вульвовагинальными инфекциями (РВВИ) чаще выбирали нижнее белье из синтетических материалов. В частности, в группе с РБВ 44 (73,33 %) пациентки, в группе с РАВ — 32 (88,89 %) и в группе с РКВВ — 16 (61,54 %). В отличие от них, женщины из контрольной группы в большинстве (58 человек, или 87,88 %) предпочитали натуральные ткани. Частота использования ежедневных прокладок значительно различалась между группами. В контрольной группе этот показатель составлял всего 12,50 % (8 пациенток), тогда как в группах с РВВИ он был существенно выше. В частности, в группе с РБВ ежедневные прокладки использовались в 60,00 % случаев (36 пациенток), в группе с РАВ — в 50,00 % (18 пациенток), а в группе с РКВВ — в 61,54 % (16 пациенток). Использование тампонов также было более распространенным явлением в группах с заболеваниями влагалища по сравнению с группой контроля. В последней применение тампонов отмечалось лишь у 12,50 % пациенток (8 человек). В группе с РБВ этот показатель достигал 63,33 % (38 пациенток), в группе с РАВ — 72,22 % (26 пациенток), а в группе с РКВВ — 69,23 % (18 пациенток).

При проведении статистического анализа влияния различных методов контрацепции на развитие рецидивирующих вульвовагинальных инфекций (РВВИ) было установлено, что применение презервативов широко распространено среди всех исследуемых групп. В контрольной группе этот показатель составил 45,45 % (30 пациенток). В группе с рецидивирующим бактериальным вагинозом также наблюдался высокий уровень использования презервативов — 50,0 % (30 пациенток). В группе с рецидивирующими вульвовагинитами данный метод контрацепции применяли 44,44 % женщин (16 пациенток), тогда как в группе с рецидивирующими кандидозными вульвовагинитами презервативы использовали лишь 23,08 % участниц исследования (3 пациентки).

Анализ показал противоположную тенденцию при оценке частоты использования прерванного полового акта в качестве метода контрацепции. В контрольной группе этот метод применялся в 18,75 % случаев (12 пациенток), в группе с рецидивирующим бактериальным вагинозом — в 20,0 % (12 пациенток), в группе с рецидивирующими вульвовагинитами — в 27,78 % случаев (10 пациенток). Однако наиболее высокая частота использования данного метода была зафиксирована в группе с рецидивирующими кандидозными вульвовагинитами, где она составила 61,54 % (16 пациенток). Использование комбинированных оральных контрацептивов (КОК) варьировалось между группами. В группе с рецидивирующим бактериальным вагинозом КОК применялись в 6,67 % случаев (2 пациентки), в группе с рецидивирующими вульвовагинитами — в 16,67 % (6 пациенток), а в группе с рецидивирующими кандидозными вульвовагинитами — в 7,69 % (2 пациентки). В контрольной группе доля женщин, использующих КОК, составила 9,09 % (6 пациенток). Курение оказалось фактором, который встречался в обеих группах с высокой частотой. В контрольной группе курение наблюдалось у 45,45 % пациенток (30 человек), тогда как в группах с РВВИ этот показатель колебался следующим образом: в группе с рецидивирующим бактериальным вагинозом — 40,0 % (24 пациентки), в группе с рецидивирующими вульвовагинитами — 50,0 % (18 пациенток), и в группе с рецидивирующими кандидозными вульвовагинитами — 53,85 % (14 пациенток).

Для оценки влияния интимно-бытовых и гигиенических факторов на риск развития рецидивирующих вульвовагинальных инфекций (РВВИ) был проведен статистический анализ полученных данных. Результаты анализа представлены в Таблице 1, где перечислены ключевые факторы, оказывающие значительное влияние на вероятность возникновения РВВИ. Все указанные факторы демонстрируют статистически значимую корреляционную связь ($p < 0,05$), что подтверждает их важность в контексте изучения патогенеза РВВИ.

В ходе статистического анализа были идентифицированы анамнестические факторы интимно-бытовой гигиены, которые оказались статистически значимыми в контрольной группе. Эти данные указывают на возможное положительное воздействие указанных факторов на предотвращение развития вульвовагинальных инфекций. В таблице 2 представлены факторы, снижающие вероятность возникновения рецидивирующих вульвовагинальных инфекций.

Величина коэффициента сопряженности (Фи) отражает степень значимости каждого фактора в развитии заболеваний: чем выше значение Фи, тем большее влияние оказывает соответствующий фактор на возникновение патологии.

Таким образом, наиболее статистически значимыми бытовыми и гигиеническими факторами риска развития

Таблица 1.

Статистически значимые интимно-бытовые и гигиенические факторы риска РВВИ

Фактор риска	Группы				Статистические показатели		
	Контроль (n=66), %	РБВ (n= 62), %	РКВВ (n=26), %	РАВ (n=36), %	Фи	Коэфф. сопряженности (Кч)	p
Ношение нижнего белья преимущественно из синтетических тканей	18,18	86,67	61,54	88,89	0,644	0,542	p < 0,05
Использование тампонов	12,50	63,33	69,23	72,22	0,524	0,464	p < 0,05
Регулярное бритье/различные виды депиляции волос в области вульвы	36,36	73,33	92,31	88,89	0,482	0,434	p<0,001
Ношение нижнего белья преимущественно с узкой ластовицей	21,21	73,33	61,54	61,11%	0,450	0,410	p < 0,05
Использование ежедневных прокладок	12,50	60,0	61,54	50,0	0,439	0402	p < 0,05
Интимная гигиена парфюмерными средствами (гели, пенки и т.п.)	21,21	66,67	61,54	66,67	0,425	0,391	p < 0,05
Ношение нижнего белья преимущественно с грубыми швами, кружевами	21,21	40,0	53,85	72,22	0,378	0,354	p < 0,05
Интимная гигиена мылом	3,03	26,67	30,77	5,56	0,338	0,321	p < 0,05
Контрацепция нет, ППА	18,75	20,0	61,54	27,78	0,324	0,308	p < 0,05
Гигиена реже 1 р.д	0,0	16,67	0,0	17,65	0,302	0,289	p < 0,05
Регулярная восковая депиляция в области вульвы	0,0	20,0	11,11	15,38	0,273	0,263	p < 0,05

Таблица 2.

Статистически значимые интимно-бытовые и гигиенические факторы, снижающие риск развития РВВИ

Ношение нижнего белья преимущественно из натуральных тканей	87,88	26,67	38,46	11,11	0,626	0,530	p < 0,05
Интимная гигиена фармацевтическими средствами (с молочной кислотой и т.п.)	66,67	13,33	30,77	22,22	0,481	0,434	p < 0,05
Интимная гигиена водой, без моющих средств	25,0	3,33	0,0	5,56	0,337	0,319	p < 0,05

рецидивирующих форм ВВИ следует считать следующие: ношение нижнего белья из синтетических тканей, с грубыми швами, узкой ластовицей; использование тампонов и ежедневных прокладок; регулярное бритье/различные виды депиляции волос в области вульвы, в том числе, восковая депиляция; интимная гигиена парфюмерными средствами или мылом, гигиена реже 1 раза в день; контрацепция прерванным половым актом. Кроме того, определены бытовые и гигиенические факторы, снижающие риск развития и прогрессирования рецидивирующих вульвовагинальных инфекций: ношение нижнего белья из натуральных тканей, интимная гигиена фармацевтическими средствами с молочной кислотой, интимная гигиена водой, без моющих средств.

Полученные данные о влиянии бытовых и гигиенических факторов, методов контрацепции на риск развития и характер течения ВВИ, помогают с большей долей вероятности своевременно выявлять группу риска пациентов по данным заболеваниям и предупредить возникновение рецидивирующих форм заболевания влагалища, путем устранения факторов риска. Устранение негативных триггеров и соблюдение благоприятных бытовых и гигиенических условий может стать основой профилактики возникновения вульвовагинальных инфекций и развития рецидивирующих форм данных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелец И.О., Гречканев Г.О. Опыт успешной комбинированной терапии часто рецидивирующего бактериального вагиноза. Медицинский аль манах. 2021;3(68): С. 66–69
2. Thomas-White K., Navarro P., Wever F., King L., Dillard L.R., Krapf J. Psychosocial impact of recurrent urogenital infections: a review. Womens Health (Lond). 2023;19:17455057231216537. doi: 10.1177/17455057231216537
3. Brusselmans J., De Sutter A., Devleesschauwer B., Verstraelen H., Cools P. Scoping review of the association between bacterial vaginosis and emotional, sexual and social health. BMC Womens Health. 2023 Apr 7;23(1):168. doi: 10.1186/s12905-023-02260-z
4. Ntuli L., Mtshali A., Mzobe G., Liebenberg L.J., Ngcapu S. Role of Immunity and Vaginal Microbiome in Clearance and Persistence of Human Papillomavirus Infection. Front Cell Infect Microbiol. 2022 Jul 7;12:927131. doi: 10.3389/fcimb.2022.927131
5. Nicolò S., Tanturli M., Mattiuz G., Antonelli A., Baccani I., Bonaiuto C., Baldi S., Nannini G., Menicatti M., Bartolucci G., et al. Vaginal Lactobacilli and Vaginal Dysbiosis-Associated Bacteria Differently Affect Cervical Epithelial and Immune Homeostasis and Anti-Viral Defenses. IJMS. 2021;22:6487. doi: 10.3390/ijms22126487
6. Holdcroft A.M., Ireland D.J., Payne M.S. The Vaginal Microbiome in Health and Disease-What Role Do Common Intimate Hygiene Practices Play? Microorganisms. 2023 Jan 23;11(2):298. doi: 10.3390/microorganisms11020298
7. Mulinganya G., De Vulder A., Bisimwa G., Boelens J., Claeys G., De Keyser K., De Vos D., Hendwa E., Kampara F., Kujirakwinja Y., Mongane J, Mubalama I, Vaneechoutte M, Callens S, Cools P. Prevalence, risk factors and adverse pregnancy outcomes of second trimester bacterial vaginosis among pregnant women in Bukavu, Democratic Republic of the Congo. PLoS One. 2021 Oct 25;16(10): e0257939. doi: 10.1371/journal.pone.0257939
8. Козлова А.А., Николаева А.В., Припутневич Т.В., Баранов И.И., Мешалкина И.В. Микробиом влагалища женщины во время беременности и в послеродовом периоде: динамика, взаимосвязь с кишечной микрофлорой, влияние на становление микробиоты новорожденного // Акушерство и гинекология: новости, мнения, обучение. 2021. Т. 9, № 4. С. 71–78. DOI: https://doi.org/10.33029/2303-9698-2021-9-4-71-78
9. Haggerty C.L., Totten P.A., Tang G., Astete S.G., Ferris M.J., Norori J., et al. (2016). Identification of novel microbes associated with pelvic inflammatory disease and infertility. Sex Transm. Infect. 92 (6), 441–446. 10.1136/sextrans-2015-052285
10. Лобанова Е.Н., Комзин К.В., Соловьева М.И. и др. Особенности микробиоценоза влагалища при различных клинических вариантах невынашивания беременности. Акушерство, Гинекология и Репродукция. 2019;13(1):13–19. DOI: https HYPERLINK «https://doi.org/10.17749/2313-%207347.2019.13.1.013-019»HY PERLINK
11. Soper D.E. Bacterial vaginosis and surgical site infections. American Journal of Obstetrics and Gynecology. 2020; 222(3):219-23. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.09.002
12. Гутикова Л.В. Современные аспекты эффективного ведения бактериального вагиноза у женщин репродуктивного возраста /. Гутикова Л.В., Станько Д.Э., Станько Н.В. // Репродуктивное здоровье. Восточная Европа. — 2014. — № 2(32). — С. 23–33. — EDN SBJHZJ
13. Javed A., Parvaiz F., Manzoor S. (2019). Bacterial vaginosis: an insight into the prevalence, alternative treatments regimen and it's associated resistance patterns. Microb. Pathog. 127, 21–30. 10.1016/j.micpath.2018.11.046
14. Дикке Г.Б. Бактериальный вагиноз: новые аспекты этиопатогенеза и выбора терапевтических стратегий // РМЖ. Мать и дитя. 2019. №2(4). С. 307–313. DOI: 10.32364/2618-8430-2019-2-4-307-313

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.29

ХРОНИЧЕСКАЯ ОБСТРУКТИВНАЯ БОЛЕЗНЬ ЛЕГКИХ (ХОБЛ) И ВИЧ-ИНФЕКЦИЯ. ВОЗМОЖНЫЕ КЛИНИКО-ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

CLINICAL AND IMMUNOLOGICAL VARIANTS (PHENOTYPES) OF COPD IN PATIENTS WITH HIV-INFECTION

E. Serdtseva
V. Lavrenyuk
A. Kravchenko
A. Korsak
N. Samedova

Summary. The relevance of this study is due to the fact that the study, diagnosis and prevention of chronic obstructive pulmonary disease as one of the most common concomitant pathologies in human immunodeficiency virus is one of the conditions that influence the increase in life expectancy of HIV-infected patients. Analysis of publications of Russian and foreign researchers on possible clinical and immunological variants (phenotypes) of chronic obstructive pulmonary disease in patients with HIV infection allows us to conclude that the determination of the possible influence on risk factors is a promising direction in the prevention of COPD in people with HIV infection.

Keywords: HIV infection, chronic obstructive pulmonary disease, clinical and immunological variants of COPD.

Сердцева Елена Николаевна
врач-инфекционист, ГБУЗ «Краевая клиническая больница №2», г. Владивосток
Serdteva82@internet.ru
Лавренюк Владимир Валерьевич
Ассистент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный Медицинский Университет»;
врач-инфекционист, заведующий инфекционным отделением, ГБУЗ «Краевая клиническая больница №2», г. Владивосток
lavrenyuk_90@bk.ru
Кравченко Анастасия Александровна
ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный Медицинский Университет»
kravchenko_ana@list.ru
Корсак Анастасия Геннадьевна
ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный Медицинский Университет»
nastya2002korsak@mail.ru
Самедова Назбар Исмаил Кызы
ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный Медицинский Университет»
nazya.samedova@mail.ru

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена тем, что изучение, диагностика и предупреждение хронической обструктивной болезни легких как одной из наиболее распространенных сопутствующих патологий при вирусе иммунодефицита человека, является одним из условий, влияющих на увеличение продолжительности жизни ВИЧ-инфицированных. Анализ публикаций российских и зарубежных исследователей о возможных клиническо-иммунологических вариантах (фенотипах) хронической обструктивной болезни легких у пациентов с ВИЧ-инфекцией позволяет сделать вывод, что определение возможного влияния на факторы риска представляет собой перспективное направление в предупреждении ХОБЛ у лиц с ВИЧ-инфекцией.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция, хроническая обструктивная болезнь легких, клиническо-иммунологические варианты ХОБЛ.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) является одной из наиболее распространенных сопутствующих патологий при вирусе иммунодефицита человека (ВИЧ), что в условиях увеличения продолжительности жизни ВИЧ-инфицированных посредством терапии определяет актуальность изучения возможных клиническо-иммунологических вариантов (фенотипов) указанной коморбидной патологии [1, 5, 21, 40]. Обсуждаются вопросы воздействия на дыхательные пути и легочную ткань как самого вируса иммунодефицита, так и представителей разнообразного микробиома у ЛЖВ, особенности иммунного отклика, воздействие необходимой антиретровирусной терапии, наличие иного коморбидного фона и другое [14, 20, 31]. Помимо более раннего дебюта ХОБЛ у пациентов с ВИЧ, ее течение характеризуется ускоренным падением легочных функций, что играет ключевую роль в присоединении иных сопутствующих заболеваний, тесно связанных с риском возникновения обострений ХОБЛ, значительно меняющих прогноз жизни для ЛЖВ. Это предотвратимое и из-

лечимое заболевание, однако неправильная диагностика и несвоевременное или ошибочно назначенное лечение определяют его высокую распространенность и опасность для здоровья и жизни людей.

Поиск возможных клинико-патогенетических взаимодействий ХОБЛ и ВИЧ-инфекции является предпосылкой для выделения вариантов (фенотипов) течения ХОБЛ у ЛЖВ и формирования наиболее оптимальных диагностических и лечебных программ.

В редакции GLOBAL Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2023 года ХОБЛ впервые обозначена как «гетерогенное состояние легких, характеризующееся наличием хронических респираторных симптомов (одышка, кашель, выделение мокроты, наличие обострений) и развивающееся вследствие аномалии дыхательных путей (бронхит, бронхиолит) и/или альвеол (эмфизема), вызывающих частую, прогрессирующую обструкцию дыхательных путей» [34]. Гетерогенность ХОБЛ прежде всего связана с разнообразными причинами ее возникновения или выделенными этиотипами ХОБЛ, среди которых имеется ХОБЛ у ВИЧ-инфицированных пациентов.

Согласно данным GOLD, ХОБЛ является конечным результатом сложных динамических, кумулятивных взаимодействий генов человека и окружающей среды на протяжении всей жизни, способных повреждать ткань легких и/или изменять нормальное развитие и старение легочной ткани в процессе онтогенеза. Наличие ВИЧ-инфекции является фактором, определяющим повышенный риск возникновения и прогрессирования ХОБЛ, предположительно, вследствие нарушения процессов метилирования в эпителии дыхательных путей [20, 34]. ХОБЛ более распространена среди ЛЖВ, чем среди населения в целом, и приводит к увеличению заболеваемости и смертности в этой группе населения [22].

Механизмы развития и прогрессирования ХОБЛ у ЛЖВ полностью не выяснены. К настоящему времени имеются разрозненные исследования, анализирующие особенности коморбидности ВИЧ и ХОБЛ. Так, обнаружено, что при воздействии ВИЧ-инфекции на организм, в том числе на легочную ткань, нарушаются механизмы иммунного ответа. У ВИЧ-инфицированных отмечается бронхиальная гиперреактивность, что позволяет предположить наличие более высокой чувствительности к негативным последствиям курения. Как следствие, ХОБЛ развивается более интенсивно в случае присутствия ВИЧ-инфекции [41]. Кроме того, ВИЧ-инфекция изменяет клеточный профиль альвеолярного пространства легких. Данный механизм обусловлен тем, что клетки легких, в первую очередь альвеолярные макрофаги, являются важными резервуарами ВИЧ-инфекции. Иммунный ответ организма, развивающийся в результате обнаружения ВИЧ-инфицированных клеток, формирует стойкую воспалительную среду в альвеолярном пространстве, что ставит под угрозу реакцию организма хозяина на инфекционные патогены. В паренхиме легких нарушены врожденные и адаптивные иммунные реакции на вдыхаемые микроорганизмы, включая приток нейтрофилов, лимфоцитарные реакции и гуморальный иммунитет. ВИЧ-инфекция изменяет мукоцилиарную функцию, а также важные компоненты секрета дыхательных путей [44].

У пациентов с ВИЧ-инфекцией, при наличии ХОБЛ, в легких снижено количество клеток CD4+ [42]. ВИЧ-инфекция вызывает интенсивную инфильтрацию легких CD8+-лимфоцитами, которые, как известно, участвуют в развитии ХОБЛ. Кроме того, в легких ВИЧ-инфицированных больных на разных стадиях заболевания увеличивается продукция гамма-интерферона. Относительно недавно было обнаружено, что у ВИЧ-положительных здоровых субъектов с неопределяемой вирусной нагрузкой в плазме альвеолярные макрофаги содержат провирусную ДНК ВИЧ. Как следствие, наличие вирусной ДНК в ткани легких может способствовать появлению уникальных фенотипов, наблюдаемых в популяции ЛЖВ [25].

Антиретровирусная терапия, назначаемая при ВИЧ-инфекции, способствует восстановлению популяции CD4+ Т-клеток в легких. Кроме того, антиретровирусная терапия связана со значительным снижением количества лимфоцитов бронхоальвеолярного лаважа и увеличением количества и функциональности В-клеток, что приводит к улучшению иммунного ответа на вакцинацию [26].

В нормальном состоянии паренхима здорового легкого и трахеобронхиальное дерево человека сохраняют стерильность в условиях повторяющегося воздействия микробного инокулята при дыхании. Наличие ВИЧ-инфекции дополнительно ухудшает течение и прогноз ХОБЛ. В свою очередь, ХОБЛ рассматривается как независимый фактор риска развития туберкулеза, бактериальных пневмоний и пневмоцистоза у ВИЧ-инфицированных пациентов [11].

Цикл ХОБЛ обусловлен повышением восприимчивости легких к повторным острым инфекциям, вирусным и бактериальным, слизистой оболочки дыхательных путей, что приводит к эпизодическому усилению воспаления и усугублению симптомов, клинически диагностируемых как обострение ХОБЛ. При хроническом инфекционном цикле ХОБЛ микробная колонизация нижних дыхательных путей вызывает хроническое воспаление и разрушение легочной ткани вследствие закрепления в них микробных патогенов, которые дополнительно нарушают мукоцилиарный клиренс и защиту легких вслед-

ствие нарушения активности ресничек, повышенной секреции слизи, повреждения эпителия дыхательных путей. Хроническое присутствие патогенных микроорганизмов вызывает воспаление и может способствовать хронической обструкции нижних дыхательных путей и повреждению легких [30, 32, 35, 36, 43, 47].

Окислительный стресс может оказывать решающую роль в прогрессировании и развитии ХОБЛ, особенно у пациентов с ВИЧ-инфекцией. Повышенный окислительный стресс проявляется системно и встречается у курящих пациентов с ВИЧ-инфекцией гораздо чаще, чем у здоровых курильщиков. Снижение способности поддерживать антиоксидантную защиту может повышать восприимчивость к ХОБЛ. Снижение антиоксидантной защиты у ВИЧ-позитивных пациентов возникает вследствие развития системного и легочного оксидантно-антиоксидантного дисбаланса, что проявляется снижением супероксиддисмутазы и глутатиона, а также повышением уровня липидов в сыворотке крови и таких продуктов перекисного окисления липидов, как малоновый диальдегид и гидропероксид. Активация иммунных клеток и дисбактериоз дополнительно увеличивают риск развития ХОБЛ у ВИЧ-инфицированных [12–14, 27, 31].

ХОБЛ, проявляемая фиксированной обструкцией верхних дыхательных путей, встречается у ЛЖВ с частотой от 6 % до 21 % [3, 4, 42]. Широкий разброс обусловлен различным возрастом ВИЧ-инфицированных, принявших участие в исследованиях, различным количеством в исследованиях курильщиков и лиц, употребляющих внутривенно наркотические вещества, различное количество ЛЖВИЧ с инфекцией гепатита С в анамнезе (факторы риска ХОБЛ). Отмечено снижение объема форсированного воздуха у курильщиков (не менее чем на 80 мл/год) [39]. К другим факторам снижения функции легких относятся мужской пол, пожилой возраст, ухудшение исходной функции легких, употребление внутривенных наркотических веществ, с достоверным преобладанием показателей снижения объема форсированного воздуха в когорте ВИЧ-позитивных пациентов [2, 37].

В развитие ХОБЛ может быть вовлечена колонизация *Pneumocystis jirovecii*, вызывающая воспалительную реакцию и стимулирующая выработку в легких металлопротеиназ. Колонизация легких *Pneumocystis jirovecii*, ответственным за развитие пневмоцистной пневмонии у человека, выявляется с большей частотой у ВИЧ-позитивных курящих пациентов по сравнению с ВИЧ-инфицированными некурящими пациентами [23, 38, 41].

Еще один фенотип ХОБЛ — снижение диффузионной способности легких по монооксиду углерода. Это одно из наиболее часто встречаемых нарушений легочной функции у ЛЖВ. Следствием данного процесса является меньшая способность легких переносить газ из вдыхаемого воздуха в эритроциты в легочных капиллярах. ЛЖВИЧ с нарушением диффузионной способности легких более часто сообщают о наличии у них респираторных симптомах, таких как одышка, кашель, выделение мокроты [8, 15, 33]. Предшествующая бактериальная или пневмоцистная пневмония, низкий ИМТ ЛЖВ, а также прогрессирующая ВИЧ-инфекция и употребление внутривенных наркотиков дополнительно снижают диффузионную способность легких [6, 38].

Следующий фенотип ХОБЛ у ЛЖВ — рентгенологически выявляемая эмфизема. При этом патология является одним из основных проявлений ХОБЛ у ВИЧ-инфицированных пациентов до начала антиретровирусной терапии. Вследствие увеличения общей продолжительности жизни ВИЧ-позитивных лиц соответственно увеличивается и вероятность развития эмфиземы. Рентгенологические признаки эмфизематозной, буллезной или кистозной болезни легких встречались примерно у 40 % ВИЧ-позитивных больных. Однако остается до конца неясным, какой из факторов — ВИЧ-инфекция или курение — определяют развитие эмфиземы [5, 10, 27].

Сочетание ХОБЛ с другими сопутствующими патологиями как фенотип ХОБЛ у ЛЖВ обусловлено наличием сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза, легочной гипертензией, общей слабостью. Так, у ЛЖВ отмечается более высокий риск сердечно-сосудистых заболеваний, обусловленный, скорее всего, наличием хронического воспалительного процесса в организме ВИЧ-инфицированного, являющегося также предрасполагающим фактором к развитию ХОБЛ [1, 9, 10, 24]. Остеопороз, возникающий вследствие снижения минеральной плотности тканей при наличии ХОБЛ и эмфиземы, связан с повышенным риском переломов, что более выражено среди ЛВЖ относительно здоровой популяции вследствие, с одной стороны, более выраженной количественно эмфиземы, а с другой — как побочный эффект от применения препаратов антиретровирусной терапии [16, 39]. Развитие сердечно-сосудистых заболеваний на фоне ВИЧ-инфекции может быть связано также непосредственным воздействием самого вируса на ткани сердца и сосудов, побочным действием препаратов антиретровирусной терапии и средств для лечения оппортунистических инфекций и их осложнений [18]. ХОБЛ в сочетании с ВИЧ-инфекцией значительно увеличивает слабость пациента, т.н. «ускоренное старение», вызванное истощением иммунной системы, возможно, вследствие присутствия воспалительных процессов в организме [17, 21, 29, 45]. Проявляется коморбидность ХОБЛ и ряда заболеваний (ИБС, анемия, диабет, МС, остеопороз, артрит, обструктивное апноэ во сне, депрессия) [28].

В настоящее время ХОБЛ рассматривается не только как легочное заболевание, но и как системный синдром, вызванный и поддерживаемый наличием

стойкого воспаления в организме, связанного с присутствием ВИЧ-инфекции [40]. Обнаружено, что маркеры ХОБЛ (обструкция дыхательных путей, степень тяжести, эмфизема более 10 %) ассоциированы со смертностью у ВИЧ-инфицированных, вне зависимости от фактора курения. Отмечается, что ВИЧ-инфицированные пациенты имеют более выраженные симптомы ХОБЛ, относительно чаще возникают рецидивы и госпитализации, связанные с ХОБЛ [19, 46].

По результатам анализа исследований российских и зарубежных ученых выяснили, что на сегодняшний день имеет место патологическое влияние как непосредственно ВИЧ-инфекции на повышение восприимчивости пациентов к ХОБЛ и ее лечением препаратами антиретровирусной терапии, так и наличием сопутствующих факторов риска (курение, внутривенное употребление наркотиков), а также возникающий в результате ВИЧ-инфицирования иммунный ответ. В настоящее время выделяют такие клиническо-эпидемиологические варианты ХОБЛ у ВИЧ-инфицированных пациентов: фиксированная обструкция верхних дыхательных путей, низкая диффузионная способность легких по монооксиду углерода, наличие эмфиземы, а также сочетание ХОБЛ с рядом сопутствующих заболеваний. Возможность определения влияния на факторы риска представляет собой перспективное направление в предупреждении ХОБЛ у лиц с ВИЧ-инфекцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багишева Н.В., Мордык А.В., Моисееева М.В., Ситникова С.В., Антропова В.В., Небесная Е.Ю., Бахшиева Л.И. Опыт применения β2-агонистов длительного действия у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких и впервые выявленным туберкулезом, в том числе ассоциированным с ВИЧ-инфекцией: вопросы эффективности и безопасности // Медицинский альянс. — 2020. — № 8(2). — С. 32–39.
2. Багишева Н.В., Мордык А.В., Нестерова К.И., Гольтяпин В.В., Ароян А.Р., Руденко С.А., Ширинская Н.В. Факторный анализ социально-демографических предпосылок формирования туберкулеза у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких // Вестник современной клинической медицины. — 2021. — № 1. — С. 7–15.
3. Бедулева Л.В., Меньшиков И.В., Иванов П.В. Роль аутоиммунной реакции против cd4 в патогенезе СПИДа // Вестник Удмуртского университета. — 2013. — № 3. — С. 64–77.
4. Бозоян А.А., Пузырева Л.В. Особенности бактериальной пневмонии у ВИЧ-инфицированных // Крымский терапевтический журнал. — 2019. — № 2. — С. 28–32.
5. Боровицкий В.С., Овчинникова Е.В., Халявина А.А., Тюлькин С.А., Игонина О.П. Особенности диагностики хронической обструктивной болезни легких у лиц, инфицированных вирусом иммунодефицита человека, отбывающих наказание в учреждениях Федеральной службы исполнения наказаний России в Кировской области // Пульмонология. — 2016. — № 26 (6). — С. 715–718.
6. Бродская О.Н., Поливанов Г.Э. Буллезная эмфизема и буллезная болезнь легких // Практическая пульмонология. — 2019. — № 1. — С. 15–21.
7. Василевский И.В. Потенциальные биомаркеры поражения легких при ВИЧ-инфекции // Актуальные вопросы ВИЧ-инфекции. Охрана здоровья матери и ребенка. — 2021. — С. 145–147.
8. Василевский И.В. Респираторный прогноз у детей и подростков, инфицированных ВИЧ // Актуальные вопросы ВИЧ-инфекции. Охрана здоровья матери и ребенка. — 2021. — С. 143–145.
9. Голышко В.С., Снежицкий В.А., Матиевская Н.В., Савицкий С.Э. Патология сердечно-сосудистой системы у пациентов с впервые диагностированной ВИЧ-инфекцией (клинические случаи) // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. — 2017. — № 47 — С. 458–462.
10. Горячева О.Г., Козиолова Н.А. Факторы риска развития тяжелой хронической сердечной недостаточности у больных, инфицированных вирусом иммунодефицита человека // Российский кардиологический журнал. — 2021. — № 1. — С. 65–72.
11. Кодиров Д.К., Гулямов М.А. Особенности течения хронических заболеваний легких при ВИЧ-инфекции // Экономика и социум. — 2023. — № 1-2 (104). — С. 309–312.
12. Костенко Д.Ю., Зайкова-Хелимская И.В. Влияние пневмоцистной инфекции на клинические проявления хронической обструктивной болезни легких // Дальневосточный медицинский журнал. — 2020. — № 3. — С. 90–95. http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2020-3-60-95
13. Костенко Д.Ю., Зайкова-Хелимская И.В. Оценка влияния и коррекции пневмоцистной инфекции на клинико-лабораторные характеристики хронической обструктивной болезни легких // Бюллетень физиологии и патологии дыхания // — 2020. — №.78. — С. 23–30. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-78-23-30
14. Купаев В.И., Гусаров К.В. Распространенность табакокурения, как основной причины развития ХОБЛ у пациентов с ВИЧ инфекцией // Актуальные проблемы дополнительного профессионального образования и здравоохранения: Материалы межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 30-летию Института последипломного образования Самарского государственного медицинского университета, Самара, 14 марта 2013 года / под ред. Г.П. Котельникова, С.Н. Измалкова. — Самара: Самарский государственный медицинский университет, 2013. — С. 262–263.
15. Мишин В.Ю., Эргешов А.Э., Мишина А.В. Диагностика и дифференциальная диагностика диссеминированных поражений легких у больных с ВИЧ-инфекцией (обзор) // Consilium Medicum. — 2018. — № 3. — С. 8–13.
16. Нугманова Ж.С., Габдуллина Г.Х., Токарев А.Г., Куржангулова А.М., Ахметова Г.М., Калжанбаева Г.Р., Курмангалиева Г.С., Ковтуненко Н.Г. Минеральная плотность костной ткани при ВИЧ инфекции // Вестник Казанского Национального медицинского университета. — 2017. — № 3. — С. 51–56.
17. Нугманова Ж.С., Рамазанова Б.А. ВИЧ-инфекция и старение (обзор) // Вестник Казанского медицинского университета. — 2015. — № 4. — С. 67–72.
18. Чернова О.Л., Милютина Е.С. Легочная артериальная гипертензия как один из вариантов сердечно-сосудистых заболеваний, ассоциированных с ВИЧ-инфекцией // Практическая медицина. — 2018. — № 6. — С. 169–173.

19. Besutti G., Santoro A., Scaglioni R. et al. Significant chronic airway abnormalities in never-smoking HIV-infected patients // HIV Med. — 2019. — Vol. 20 (10). — P. 657–667. Doi: 10.1111/hiv.12785
20. Bigna J.J., Kenne A.M., Asangbeh S.L. Prevalence of chronic obstructive pulmonary disease in the global population with HIV: a systematic review and meta-analysis // Lancet Glob Health. — 2018. — Vol. 6 (2).
21. Bloch M. Frailty in people living with HIV // AIDS Res Ther. — 2018. — Vol. 15. — P. 19.
22. Byanova K., Kunisaki K.M., Vasquez J., Huang L. Chronic obstructive pulmonary disease in HIV // Expert Rev Respir Med. — 2021. — Vol. 15 (1). — P. 71–87. Doi: 10.1080/17476348.2021.1848556.
23. Calderon E., de la Horra C., Medrano F.J. Pneumocystis jiroveci isolates with dihydropteroate synthase mutations in patients with chronic bronchitis // Eur J Clin Microbiol Infect Dis. — 2004. — Vol. 23 (7). — P. 545–549.
24. Chandra D., Gupta A., Leader J.K. et al. Assessment of coronary artery calcium by chest CT compared with EKG-gated cardiac CT in the multicenter AIDS cohort study // PloS One. — 2017— Vol. 12.
25. Cribbs S.K., Lennox J., Caliendo A.M. Healthy HIV-1-infected individuals on highly active antiretroviral therapy harbor HIV-1 in their alveolar macrophages // AIDS Res Hum Retroviruses. — 2015. — Vol. 31. — P. 64–70. Doi:10.1089/aid.2014.0133.
26. Cribbs S.K., Fontenot A.P. The Impact of Antiretroviral Therapy on Lung Immunology // Semin Respir Crit Care Med. — 2016. — Vol. 37 (2). — P. 157–65. Doi: 10.1055/s-0036-1572554. Epub 2016 Mar 14. PMID: 26974295.
27. Crothers K. Chronic obstructive pulmonary disease in patients who have HIV infection // Clin Chest Med. — 2007. — Vol. 28. — P. 575–587.
28. Corlateanu A., Covantev S., Mathioudakis A.G. et al. Prevalence and burden of comorbidities in Chronic Obstructive Pulmonary Disease // Respiratory investigation. — 2016. — Vol. 54 (6). — P. 387–396. http://dx.doi.org/10.1016/j.resinv.2016.07.001
29. da Silva I.M., de Almeida V.P., Medeiros D.M. Development of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) in Patients Infected with Human Immunodeficiency Virus (HIV) // Journal of AIDS and HIV Infections. — 2020. — Vol. 5(2).
30. Ditz B., Christenson S., Rossen J. et al. Sputum microbiome profiling in COPD: beyond singular pathogen detection // Thorax. — 2020. — Vol. 75 (4). — P. 338–344. Doi: 10.1136/thoraxjnl-2019-214168.
31. Fitzpatrick M.E., Kunisaki K.M., Morris A. Pulmonary disease in HIV-infected adults in the era of antiretroviral therapy // AIDS. — 2018. — Vol. 32 (3). — Vol. — P. 277–292. Doi: 10.1097/QAD.0000000000001712
32. Huang Y.J., Boushey H.A. The Sputum Microbiome in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Exacerbations // Ann Am Thorac Soc. — 2015. — Vol. 12 (2). — P. 176–80. Doi: 10.1513/AnnalsATS.201506-319AW.
33. Gingo M.R., He J., Wittman C. et al. Contributors to diffusion impairment in HIV-infected persons // Eur Respir J. — 2014. — Vol. 43. — P. 195–203.
34. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) // Report. — 2023.
35. Kayongo A., Wosu A.C., Naz T. et al. Chronic Obstructive Pulmonary Disease Prevalence and Associated Factors in a Setting of Well-Controlled HIV, A Cross-Sectional Study // COPD. — 2020. — Vol. 17 (3). — P. 297–305. Doi: 10.1080/15412555.2020.1769583.
36. Kayongo A., Bartolomaeus T.U.P., Birkner T. et al. Sputum Microbiome and Chronic Obstructive Pulmonary Disease in a Rural Ugandan Cohort of Well-Controlled HIV Infection // Microbiol Spectr. — 2023. — Vol. 11 (2). Doi: 10.1128/spectrum.02139-21
37. Li Y., Nouraie S.M., Kessinger C. et al. Factors associated with progression of lung function abnormalities in HIV-infected individuals // J Acquir Immune Defic Syndr. — 2018. — Vol. 79. — P. 501–509.
38. Morris A., Kingsley L.A., Groner G. Prevalence and clinical predictors of Pneumocystis colonization among HIV-infected men // AIDS. — 2004. — Vol. 18 (5). — P. 793–798.
39. Petraglia A., Leader J.K., Gingo M. et al. Emphysema is associated with thoracic vertebral bone attenuation on chest CT scan in HIV-infected individuals // PloS One. — 2017. — Vol. 12.
40. Neri S., Leung J., Besutti G. et al. Chronic Lung Disease in HIV Patients // AIDS Rev. — 2018. — Vol. 20 (3). — P. 150–157. Doi: 10.24875/AIDSRev.18000002
41. Raynaud C., Roche N., Chouaid C. Interactions between HIV infection and chronic obstructive pulmonary disease: Clinical and epidemiological aspects // Respiratory research. — 2011. — Vol. 12. — P. 117.
42. Ronit A., Lundgren J., Afzal S. et al. Airflow limitation in people living with HIVand matched uninfected controls // Thorax. — 2018. — Vol. 73. — P. 431–438.
43. Sethi S. Infection as a comorbidity of COPD // European respiratory journal. — 2010. — Vol. 35. — P. 1209–1215. https://doi.org/10.1183/09031936.00081409
44. Shellito J.E. Failure of host defenses in human immunodeficiency virus // Semin Respir Crit Care Med. — 2004. — Vol. 25. — P. 73–84. doi:10.1055/s-2004—822307
45. Singhvi D., Bon J., Morris A. Obstructive Lung Disease in HIV-Phenotypes and Pathogenesis // Curr HIV/AIDS Rep. — 2019. — Vol. 16. — P. 359–369.
46. Triplette M., Justice A., Attia E.F. et al. Markers of chronic obstructive pulmonary disease are associated with mortality in people living with HIV // AIDS. — 2018. — Vol. 32 (4). — P. 487–493. Doi: 10.1097/QAD.0000000000001701
47. Yang C.Y., Li S.W., Chin C.Y. et al. Association of exacerbation phenotype with the sputum microbiome in chronic obstructive pulmonary disease patients during the clinically stable state // J Transl Med. — 2021. — Vol. 19 (1). — P. 121. Doi: 10.1186/s12967-021-02788-4

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04-2.35

ИНФИЦИРОВАНИЕ ТКАНЕЙ ПАРОДОНТА HELICOBACTER PYLORI ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕНЕРАЛИЗОВАННОГО ПАРОДОНТИТА

INFECTION OF PERIODONTAL TISSUES WITH HELICOBACTER PYLORI IN PATIENTS WITH VARYING DEGREES OF SEVERITY OF CHRONIC GENERALIZED PERIODONTITIS

N. Yashnova
A. Yashnov
M. Katman
T. Nikitina
D. Golikova

Summary. Infection with the bacterium *Helicobacter pylori* in Europe and North America is observed in 35–50 % of the population. At the same time, in the countries of Asia, Africa, and Latin America, the prevalence reaches up to 90 %, in Russia the percentage of occurrence of the disease ranges from 70–92 %. Along with this, it is of particular interest to study the colonization of *H. Pylori* periodontal pockets with varying degrees of severity of chronic generalized periodontitis. *Objective*: to assess the degree of infection of the periodontal pocket with *Helicobacter pylori* in patients with varying degrees of severity of chronic generalized periodontitis. *Materials and methods*: 126 patients with various degrees of severity of chronic generalized periodontitis were examined at an outpatient appointment with a dentist — surgeon: the first group (n=39) patients with mild severity; the second group (n= 42) with moderate severity and the third group (n=45) with severe severity and the group The control group consisted of 39 patients with healthy periodontitis. Based on the conducted research, it can be concluded that with an increase in inflammatory and destructive changes in periodontal tissues, the frequency of detection of IG G to *Helicobacter Pylori* in capillary blood also increases.

Keywords: *Helicobacter pylori*, chronic periodontitis, periodontitis, dentistry, bacteria.

Яшнова Надежда Борисовна
ассистент, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»
nadezhday1990@yandex.ru
Яшнов Алексей Александрович
д. м. н., ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»
Катман Мария Александровна
К. м. н., ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»
Никитина Татьяна Владимировна
ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»
Голикова Дарья Антоновна
ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»

Аннотация. Инфицирование бактерией *Helicobacter pylori* в странах Европы и Северной Америке наблюдается у 35–50 % населения. При этом, в станах Азии, Африки, латинской Америке распространённость достигает до 90 %, в России процент встречаемости заболевания составляет от 70–92 %. Наряду с этим, особый интерес представляет изучение колонизации *H. Pylori* пародонтальных карманов при различной степени тяжести хронического генерализованного пародонтита. *Цель работы:* оценить степень инфицирования *Helicobacter pylori* пародонтального кармана при различной степени тяжести хронического генерализованного пародонтита. *Материалы и методы:* обследовано 126 пациентов, находящихся на амбулаторном приеме у стоматолога-хирурга с различной степенью тяжести хронического генерализованного пародонтита: первая группа (n= 39) больные с легкой степенью тяжести; вторая группа (n= 42) со средней степенью и третья группа (n=45) с тяжелой степенью и группа контроля — 39 пациентов со здоровым пародонтом. На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что при увеличении воспалительно-деструктивных изменений в тканях пародонта возрастает и частота выявления IG G к *Helicobacter Pylori* в капиллярной крови.

Ключевые слова: *Helicobacter pylori*, хронический пародонтит, пародонт, стоматология, бактерия.

По данным научных исследований отечественных и зарубежных ученых одним из основных факторов в этиологии хронического генерализованного пародонтита является микробный, в частности пародонтопатогенная микрофлора зубного налета. Установлено, что наиболее агрессивными микроорганизмами являются *Porphyromonas gingivalis, Treponema denticola, Tannerella forsythia, Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, а также наличие ассоциаций, которые вызывают воспалительно-деструктивные процессы в тканях пародонта, проявляющиеся в клинической картине средней и тяжелой степенями тяжести пародонтита [1].

На сегодняшний день присутствует множество зарубежных и отечественных исследований о верификации *Helicobacter pylori* в полости рта. Несомненно, что в по-

лости рта для данного микроорганизма присутствуют благоприятные условия для роста и жизнедеятельности. При этом условием активного роста и размножения бактерии в полости рта служит нейтральная Ph. *Helicobacter pylori* представляет собой макроаэрофильную, спиралевидной формы бактерию, на поверхности которой расположены 4–5 жгутиков помогающие ей перемещаться. При наличии неблагоприятных условий микроорганизм трансформируется в коковидную форму. Вместе с тем, при нахождении в данной форме у бактерии снижается обмен веществ и отсутствует размножение, однако повышается устойчивость к неблагоприятным условиям. Инфицирование бактерией *Helicobacter pylori* в странах Европы и Северной Америке составляет 35–50 % населения. При этом, в станах Азии, Африки, латинской Америке распространённость достигает до 90 %, а в России процент встречаемости заболевания составляет от 70–92 % [2,3,4].

Благодаря факторам патогенности: уреазе, хемотаксису, белам внешней мембраны, спиралевидной форме, данный микроорганизм активно колонизирует желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Продуцируемая бактерией уреаза защищает ее от неблагоприятных факторов внешней среды, оказывает влияние на дифференцировку клеток, индуцирует провоспалительные эффекты, способствует секретированию активных форм кислорода и активированию липоксигеназы. Последняя обуславливает возникновение воспалительного процесса. Вместе с тем, уреаза связывается с молекулами II класса комплекса гистосовместимости, что приводит к апоптозу клеток. Для благополучной колонизации слизистой оболочки *Helicobacter pylori* имеет жгутики, которые помогают активно передвигаться на поверхности слизистой. Наряду с этим, данная бактерия покрыта наружной мембраной, состоящая из двух ассиметричных слоев: внутренний состоит из фосфолипидов, а внешний преимущественно из белков внешней мембраны. Данные белки оказывают содействие в адгезии, инвазии микроорганизма через защитный барьер, а также обеспечивают защиту от иммунных клеток. В процессе адгезии *Helicobacter pylori* секретирует белки: антигенсвязывающий адгезин группы крови (BabA), адгезин связывающий сиаловую кислоту (SabA), наружный воспалительный белок и др. При этом, данные адгезины связываются с клетками эпителия слизистой и обеспечивают доступ к питательным веществам и доставку бактериальных токсинов к клеткам. Установлено, что белок BabA имеет важную роль на начальном этапе колонизации *H. Pylori.,* оказывая преимущественное значение в фиксации бактерии к клеткам эпителия и связывание с эритроцитарными антигенами. Наряду с этим, белок вирулентности OipA обеспечивает прикрепление микроорганизма к эпителиальным клеткам, что в конечном итоге заканчивается деструкцией их цитоскелета и стимулированием секреции провоспалительных цитокинов с блокированием интерлейкина 10. Поверхностные мембранные белки Hop (*H. pylori* outer membrane proteins) снижают активность клеток иммунитета в процессе заселения слизистой оболочки [5, 6, 7].

H. Pylori имеет около 1600 генов, но наиболее вирулентными генами считаются гены CagA и VacA, которые оказывают непосредственное влияние на повреждение клеток эпителия. Цитотоксин-ассоциированный ген A (CagA) является один из наиболее изученных факторов вирулентности бактерии, располагающимся на одном конце острова патогенности cag-PAI (cytotoxin-associated gene pathogenicity island). Так остров патогенности cag-PAI кодирует бактериальную систему IV типа (T4SS) и цитотоксин CagA. Данная система взаимодействует с клетками эпителия и транспортирует белок CagA и пептогликан в клетку. Цитотоксин внутренней поверхности мембраны способствует протеканию процессов фосфорилирование тирозиновыми протеинкиназами с нарушением структуры цитоскелета эпителия. Цитотоксин VacA (vacuolating-associated cytotoxin) после внедрения в клетку эпителия вызывает вакуолизацию клеток, деполяризацию мембранного потенциала, высвобождение цитохром из митохондрий, стресс эндоплазматического ретикулума и процессы апоптоз клетки. При этом, данный цитотоксин оказывает влияние на гены, которые регулируют клеточный цикл, что способствует нарушению баланса пролиферации и гибели клеток. Наряду со сказанным, данный цитотоксин оказывает влияние на секрецию интерлейкина-8 клетками эпителия и, как следствие, приводит к возникновению острых воспалительных процессов. *H. Pylori* вызывает иммунный ответ с повреждением тканей при первом контакте посредством того, что антигены микроорганизма активно взаимодействуют с рецепторами эпителия клеток и Toll-подобными рецепторами с высвобождением ИЛ-8, ИЛ-17. Наряду с этим, особый интерес представляет изучение колонизации *H. Pylori* пародонтальных карманов при различной степени тяжести хронического пародонтита. Верификация данной бактерии в пародонтальном кармане позволит улучшить диагностику и прогнозирование степени тяжести течения хронического пародонтита [3,7.8].

Цель работы: оценить степень инфицирования *Helicobacter pylori* пародонтального кармана при различной степени тяжести хронического генерализованного пародонтита.

Материалы и методы

Обследовано 126 пациентов, находящихся на амбулаторном приеме у стоматолога-хирурга с различной степенью тяжести хронического генерализованного пародонтита. Вместе с тем, пациенты разделены на 3 группы исследования в зависимости от степени тяжести:

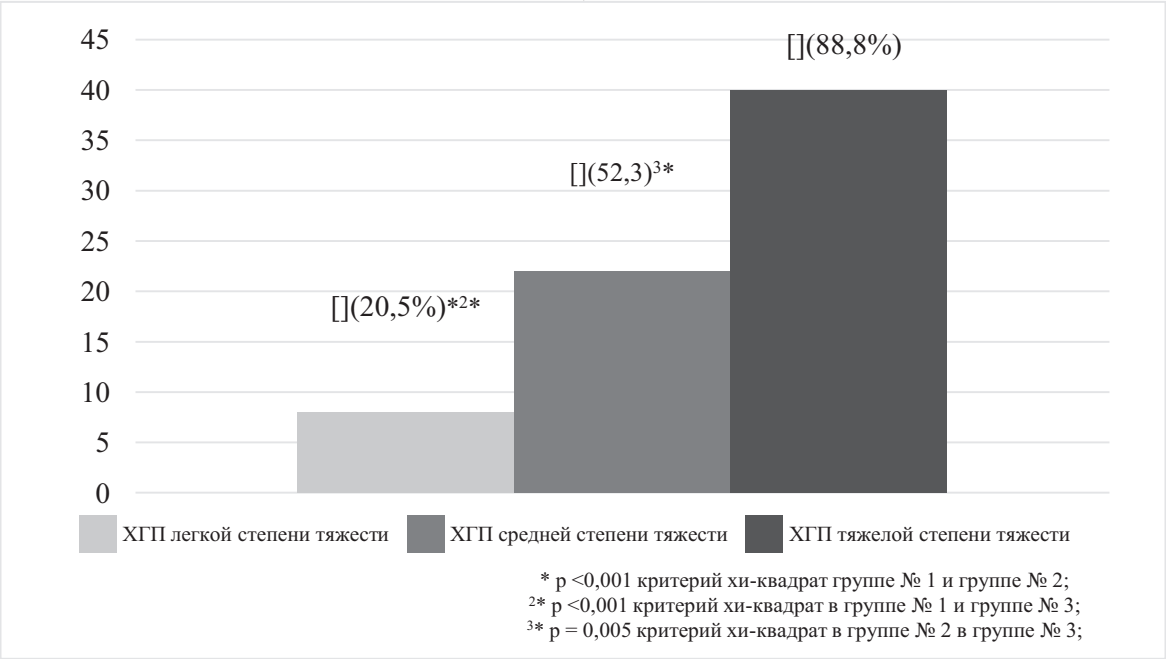


Рис. 1. IG G к Helicobacter Pylori при различной степени тяжести хронического генерализованного пародонтита

первая (n= 39) с легкой степенью тяжести; вторая (n= 42) со средней степенью и третья (n=45) с тяжелой. В группу контроля вошли 39 пациентов со здоровым пародонтом. Всем группам исследования выполнялось взятие капиллярной крови из дистальной фаланги пальца. Далее взятый биоматериал исследовался с помощью набора реагентов для иммунохроматографического выявления антител к *Helicobacter pylori* (HP) в сыворотке (плазме) и цельной крови («ИммуноХром-анти HP-Экспресс).

Результаты

В ходе проведённого научного изыскания установлено, что IG G к *Helicobacter Pylori* обнаружен в группе № 1 у 8 (20,5 %) пациентов, что меньше частоты обнаружения в других группах: в 2,5 раза в сравнении со средней степенью (p <0,001) и в 4,3 раза с тяжелой степенью тяжести (p <0,001). Так в группе №2 частота встречаемости составила 52,3 % (n=22), что меньше в 1,7 раза относительно группы №3 (p = 0,005). В группе №3 IG G к *Helicobacter Pylori* выявлены у 40 больных (88,8 %). Наряду с этим, у лиц со здоровым пародонтом IG G к *Helicobacter Pylori* не обнаружено. При этом, установлена прямая сильная корреляционная связь между степенью хронического пародонтита и частотой обнаружения IG G *Helicobacter Pylori* в капиллярной крови (коэффициент корреляции равен 0.986 p <0,05). Результаты исследования приведены на рисунке 1.

Вместе с тем, можно предположить, что бактерия *Helicobacter Pylori* влияет на интенсивность течения деструктивных процессов в пародонте. Верфикация IG G к Helicobacter Pylori в капиллярной крови — важный критерий в диагностике степени тяжести ХГП. Данный критерий диагностики поможет оптимизировать лечение этой патологии и спрогнозировать его течение.

Вывод

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что при увеличении воспалительно-деструктивных изменений в тканях пародонта возрастает и частота выявления IG G к *Helicobacter Pylori* в капиллярной крови.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елизова Л.А., Атрушкевич В.Г., Орехова Л.Ю. Новая классификация заболеваний пародонта. Пародонтит / Пародонтология. — 2021. — Т. 26, № 1. — С. 80–82.
2. Яшнова Н.Б., Катман М.А. Инфицирование пародонтальных карманов Helicobacter Pylori при хроническом генерализованном пародонтите / Евразийский Союз Ученых. Медицинские науки. — 2020. — 75(5). — С.72–75.
3. Анисимова, Т.А., Ларионова Д.В. Роль Helicobacter pylori в развитии заболеваний полости рта / Биология и интегративная медицина. — 2024. — № 5(70). — С. 56–64. doi 10.24412/cl-34438-2024-570-56-64
4. Shodieva, M.S. Problems of distribution, pathogenesis, diagnosis of chronic gastritis and peptic ulcer disease associated with Helicobacter pylori infection / New Day in Medicine. — 2022. — № 1(39). — P. 212–216.

5. Альпер, Г.А. Павлович И.М., Чумак Б.А. Современное представление о факторах вирулентности Helicobacterpylori / Клиническая патофизиология. — 2022. — Т. 28, № 2. — С. 24–34.
6. Гудуева Е.Н., Сорокин В.М. Генетические маркеры патогенности Helicobacter pylori / Проблемы медицинской микологии. — 2020. — Т. 22, № 3. — С. 67.
7. Орлова Е.С. Ротовая полость как внегастральный резервуар реинфицирования Helicobacter pylori / Академический журнал Западной Сибири. — 2021. — Т. 17, № 4(93). — С. 3–4.
8. Ли Ч., Цянь С., Чжан Чж., Цзян Цз. Влияние Helicobacter Pylori и эрадикации Helicobacter Pylori на микробиоту налета языка / BMC Microbiology. — 2024. — Т. 24, № 1. — С. 416.

Наши авторы

Alekseeva N. — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Donbass Agrarian Academy

Alieva Z. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Pedagogical University named after R. Gamzatov (Makhachkala)

Amosov V. — Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Arhangelsky A. — Senior Researcher, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky

Arsenyev I. — Candidate of Medical Sciences, Traumatologist-orthopedist, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Boyko A. — RTU «MIREA», Moscow, Russia

Brel D. — Bauman Moscow State Technical University

Chekanov I. — Postgraduate student, Lecturer, RSSU — Russian State Social University

Chekulaev A. — Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin

Danilova M. — Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saratov State Law Academy»

Daudova R. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Pedagogical University named after R. Gamzatov (Makhachkala)

Demin I. — MIREA — Russia Technological University (Moscow)

Dmitriev D. — Applicant, Samara State Medical University

Dolzhanov P. — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Donbass Agrarian Academy

Dubrovsky A. — Russian University of transport, Moscow

Epishkin I. — Ogarev Mordovian State University

Gapanyuk Yu. — candidate of technical Sciences, associate Professor, Moscow State Technical University names Bauman

Golikova D. — Chita State Medical Academy

Our authors

Gorpinich A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, State University of Education, Moscow

Goryachkin B. — candidate of technical Sciences, associate Professor, Moscow State Technical University names Bauman

Haddad Nekoula — Postgraduate student, Bauman Moscow State Technical University

Huseynov L. — Assistant, Azerbaijan Medical University

Ichetovkin E. — Postgraduate student, Chief Scientist of Laboratory of Computer Security Problems at St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

Idiatov I. — Ogarev Mordovian State University

Izotova V. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saratov State Law Academy»

Kanunikova E. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Karapetyan G. — Candidate of Medical Sciences, Traumatologist-orthopedist, Federal State Budgetary Institution «N. N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Karelova O. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Moscow State Linguistic University; Presidential Academy (Moscow)

Katman M. — Candidate of Medical Sciences, Chita State Medical Academy

Kesyan G. — Doctor of Medical Sciences, Traumatologist-orthopedist, Head of the 8th Traumatology and Orthopedic Department, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Kesyan O. — Candidate of Medical Sciences, Traumatologist-orthopedist, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Khabieva B. — Senior Lecturer, North Ossetian State medical Academy

Kisieva Z. — Associate Professor, North Ossetian State medical Academy

Kolchugina G. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Korotkov N. — Moscow State Technical University names Bauman,

Korsak A. — Pacific State Medical University

Kravchenko A. — Pacific State Medical University

Kurovsky S. — Head of the Research Department LLC «Higher School of Education»

Kuznetsov A. — PhD, Associate Professor, RSSU - Russian State Social University

Latyrova T. — Intern, Traumatologist-orthopedist, Resident, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Lavrenyuk V. — Assistant, Pacific State Medical University; Head of the Infectious Diseases Department, infectious diseases specialist, GBUZ «Regional Clinical Hospital No. 2»

Lazareva V. — PhD in Medical sciences, Associate Professor of the Department of General Medical Practice and Zemstvo Medicine, Russian State Social University

Makarov M. — Moscow State Linguistic University

Maleshina L. — PhD of technical sciences, associate professor, Russian University of transport, Moscow

Mashkov I. — Bauman Moscow State Technical University

Mironenko O. — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Donbass Agrarian Academy

Mishin D. — Head of the Editorial and Publishing Department LLC «Higher School of Education»

Nafikov R. — Assistant, Kazan (Volga Region) Federal University

Nikanorov Yu. — Candidate of Medical Sciences, GBU DNR Central City Clinical Hospital No. 1 of Donetsk, Head of the Department of Maxillofacial

Nikitina T. — Chita State Medical Academy

Nikulin V. — Lecturer, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Ogarev Mordovian State University

Nurmagomedova S. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University (Makhachkala)

Osinkina T. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Osipova L. — Postgraduate student, Kuban State Medical University (Ministry of Health of Russia) (Krasnodar city)

Parfentiev K. — Candidate of Technical Sciences, Bauman Moscow State Technical University

Pashkov F. — Postgraduate student, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Perkova E. — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Donbass Agrarian Academy

Petrov A. — Senior Lecturer, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Piskunov I. — Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University»

Rashkueva Z. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Pedagogical University named after R. Gamzatov (Makhachkala)

Rogunov I. — Assistant, Kazan (Volga Region) Federal University

Rysin M. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, MIREA – Russia Technological University (Moscow)

Sakovich N. — Doctor of technical sciences, associate professor, Bryansk State Agrarian University

Samedova N. — Pacific State Medical University

Semenova N. — Candidate of Biological Sciences, All-Russian State University of Justice (Moscow)

Serdtseva E. — infectious disease specialist, GBUZ «Regional Clinical Hospital No. 2»

Shabalin A. — Moscow Polytechnic University

Shepeleva O. — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, A.S. Pushkin Leningrad State University (Saint Petersburg)

Shipulin G. — PhD in Law, Associate Professor, Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow

Shulgin I. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Smolentseva V. — Russian State University of Social Technologies (Moscow)

Solovykh G. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Sotov G. — Ogarev Mordovian State University

Spevakova S. — Assistant, Moscow Polytechnic University

Teterin N. — RTU MIREA (Moscow)

Tikhomirova G. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Urazgildeev R. — Doctor of Medical Sciences, Traumatologist-orthopedist, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov»

Vanyan E. — Postgraduate student, Federal State Budgetary Institution «N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics»

Verezubova N. — Candidate of economic sciences, associate professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin

Vinnikov S. — Moscow State Technical University names Bauman

Voropaeva E. — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, A.S. Pushkin Leningrad State University (Saint Petersburg)

Yamzukov A. — Kazan (Volga Region) Federal University

Yashnov A. — MD, Chita State Medical Academy

Yashnova N. — Assistant, Chita State Medical Academy

Yukhimuk R. — Researcher, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky

Zinnatov A. — Resident, Kazan (Volga Region) Federal University

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале

Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе "Антиплагиат".

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением ".doc", или ".rtf", шрифт 14 Times New Roman.
- Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Правила написания математических формул.

- В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

Правила оформления графики.

- Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» (e-mail: redaktor@nauteh.ru).